



Nuevos retos de la ganadería extensiva: un agente de conservación en peligro de extinción

Abeltzaintza estentsiboaren erronka berriak: galtzeko arriskuan dagoen kontserbazio eragilea

**ROSA MARIA CANALS TRESSERRAS
LETICIA SAN EMETERIO GARCIANDÍA**



ÍNDICE

Primera parte **SISTEMAS Y RECURSOS SILVOPASTORALES**

Segunda parte **BOTÁNICA Y ECOLOGÍA DE PASTOS**

Tercera parte **PRODUCCIÓN ANIMAL CON BASE A PASTOS**

Cuarta parte **PRODUCCIÓN VEGETAL DE PASTOS**

Índice

COMITÉ CIENTÍFICO	IX
COMITÉ ORGANIZADOR	X
ENTIDADES COLABORADORAS	X
PRESENTACIÓN	XI

Primera parte
**SISTEMAS Y RECURSOS
SILVOPASTORALES**

CAPÍTULO INTRODUCTORIO	
Las facerías internacionales en el Pirineo: historia, actualidad y futuro M. M. RAZQUIN LIZARRAGA / E. ARANGUREN IBAÑEZ / M. TAULL TAULL / J.A. FERNANDEZ OTAL / V. FERRER LORÉS / P. GASCOUAT / R.M. CANALS TRESSERRAS	3
Efectos de la aplicación de fertilizantes de nueva generación en la dehesa toledana: producción y diversidad de pastos herbáceos C. LÓPEZ-CARRASCO / M. J. GÓMEZ / J. M. CARPINTERO / J. BRAÑAS / S. ROIG	29
Producción de los pastos en la dehesa y su relación con la precipitación y el suelo F. GONZÁLEZ / S. SCHNABEL / P. M. PRIETO / M. PULIDO-FERNÁNDEZ / J. GRAGERA-FACUNDO	37
Reflexiones sobre las técnicas de mejora de la dehesa extremeña J. GRANDA MÁRQUEZ DE PRADO / C.G. HERNÁNDEZ DÍAZ-AMBRONA	45
Influencia de la presión de pastoreo en el contenido de nutrientes en hoja de encina en la dehesa A.M. GARCÍA MORENO / M.D. CARBONERO MUÑOZ / F. MORENO ELCURE / J.R LEAL MURILLO / M.T. HIDALGO FERNÁNDEZ / P. FERNÁNDEZ REBOLLO	51
Caracterización del comportamiento vecero de la encina mediante distintos índices M.D. CARBONERO MUÑOZ / A. GARCIA MORENO / P. FERNÁNDEZ REBOLLO	59
Las enmiendas calizas como estrategia para disminuir la podredumbre radical de <i>Quercus sp.</i> en la dehesa J.R. LEAL MURILLO / P. DE VITA / M.S. SERRANO MORAL / M.E. SÁNCHEZ HERNÁNDEZ / P. FERNÁNDEZ REBOLLO	67
Producción herbácea, calidad del pasto y carga ganadera en diferentes tipologías de rodales adehesados en Catalunya: efecto del arbolado M.TAULL / T. BAIGES / P. CASALS	75
Recuperación de pastos en un encinar desbrozado y aclarado en el Parque Natural del Montseny C. MADRUGA-ANDREU / J. BARTOLOMÉ FILELLA / J. PLAIXATS BOIXADERA	81

© Los autores
© De la presente edición
1ª edición 2012

Edita: Sociedad Española para el Estudio de los Pastos
Edición coordinada: Rosa María Canals Tresserras
Leticia San Emeterio Garciandia

Maquetación: Pretexto
Imágenes portada: Consultoría Belardi, Rosa María Canals, Iosu Vergara
Impresión: Ona Industria Gráfica

Depósito legal: NA-739-2012
ISBN: 978-84-9769-277-9

Sistemas silvopastorales y balance de carbono en la selva Lacandona, Chiapas, México G. JIMÉNEZ-FERRER / L. SOTO-PINTO / V. AGUILAR / E. EZQUIVEL / J. PLAIXATS BOIXADERA ...	89
Características de la vegetación herbácea en mezclas pratenses y crecimiento del arbolado en sistemas silvopastorales en Asturias J.A. OLIVEIRA-PRENDES / J.P. MAJADA-GUIJO / E. AFIF-KHOURI / P. PALENCIA-GARCIA / J.J. GORGOSO-VARELA	95
Comparación de costes de control del matorral con desbroce y pastoreo de ganado caprino en un área cortafuegos de la Comunitat Valenciana C. DOPAZO / A.E. LAHIGUERA / J. SUÁREZ / V. MARTÍNEZ / A.B. ROBLES / J.L. GONZÁLEZ-REBOLLAR	103
Caracterización de la sequía en pastos anuales en dehesas J.A. ESCRIBANO RODRÍGUEZ / A.E. GLIGA / J.F. LLORENTE MARTÍNEZ / C.G. HERNÁNDEZ DÍAZ-AMBRONA	111
Comparación de dos métodos para la estimación de los daños por sequía en pastos de dehesa A.E. GLIGA / J.A. ESCRIBANO RODRÍGUEZ / C.G. HERNÁNDEZ DÍAZ-AMBRONA	117
Respuesta de la composición florística y la diversidad biológica de pastizales a las estrategias de manejo en una dehesa de la Sierra de Guadarrama, Madrid T. MARTÍNEZ / J. URQUIA / J.I. TEJERINA / J.M. DE MIGUEL	123

Segunda parte

BOTÁNICA Y ECOLOGÍA DE PASTOS

CAPÍTULO INTRODUCTORIO	
Biodiversidad y servicios ecosistémicos en pastos: distribución y respuesta al cambio global M.T. SEBASTIÀ / R. LLURBA / F. GOURIVEAU / X. DE LAMO / A. RIBAS / N. ALTIMIR	133
Efecto alelopático de la esparceta (<i>Onobrychis viciifolia scop.</i>) sobre diferentes especies forrajeras C. CHOCARRO / J. LLOVERAS	149
Efecto del estrés hídrico sobre el contenido de compuestos fenólicos en <i>Festuca rubra</i> B.R. VÁZQUEZ DE ALDANA / B. GONZÁLEZ RODRÍGUEZ / A. GARCÍA CIUDAD / A. ÁLVAREZ PASCUA / B. GARCÍA CRIADO	155
Respuesta del crecimiento de <i>Trifolium repens</i> a la presencia de hojarasca de diversas especies del bosque de ribera B.R. VÁZQUEZ DE ALDANA / P. DE LAS HERAS / M.E. PÉREZ-CORONA	163
Los pastos de <i>Carex brevicollis</i> hospedan un patógeno del haya I. ZABALGOGEAZCOA / J. GÓMEZ / S. SÁNCHEZ / J. PEDRO / R.M. CANALS	171
Respuesta del maíz (<i>Zea mays</i>) en suelos contaminados por metales pesados después de crecer una comunidad de pasto J. PASTOR / M. J. GUTIÉRREZ-GINÉS / A. J. HERNÁNDEZ	177
Cambios mediados por abandono de pastoreo e incremento de temperatura en pastos mediterráneos oligotrofos del Parque Natural de Doñana B. OJEDA DOMÍNGUEZ / M.J. LEIVA MORALES	185

Efectos de una quema prescrita sobre el suelo y la vegetación de un pasto altimontano del Pirineo navarro L. SAN EMETERIO / E. RUPÉREZ / J.M. SENOSIAIN / J. PEDRO / R.M. CANALS	193
¿Cómo influye la fertilidad del suelo sobre la diversidad funcional edáfica y florística a escala de prado? I. MIJANGOS AMEZAGA / I. ALBIZU BEITIA / S. MENDARTE AZKUE / J.A. GONZÁLEZ-OREJA / J. ZAPATERO MARTITEGUI / C. GARBISU CRESPO	199
Estudio de la mejora de fertilidad de suelos cultivados con maíz forrajero al aplicarse biosólidos mediante la valoración de artrópodos edáficos L. FLORES-PARDAVÉ / A. J. HERNÁNDEZ	205
Efecto del pastoreo por diferentes especies ganaderas sobre la estructura vegetal de pajonales en los Andes centrales del Perú J. BARTOLOMÉ / E. QUISPE / O. SIGUAS / J. CONTRERAS / W. ARANA / M. ESPINOZA	213
Patrón temporal de recuperación de semillas de seis especies herbáceas consumidas por el ganado caprino D. GRANDE / J.M. MANCILLA-LEYTÓN / M. DELGADO-PERTÍÑEZ / A. MARTÍN VICENTE	219
Resultados preliminares del papel del ganado caprino en la dispersión de cinco especies de matorral mediterráneo D. GRANDE / J.M. MANCILLA-LEYTÓN / M. DELGADO-PERTÍÑEZ / A. MARTÍN VICENTE	225
Caracterización florística y fitosociológica de los pastizales del complejo lagunar de Villacañas (Toledo) incluidos en la directiva hábitat J. ROJO / R. PÉREZ-BADIA / C. VAQUERO / F. FERNÁNDEZ-GONZÁLEZ	231
Listado de los tipos de pastizales y prados presentes en Navarra A. BERAESTEGI / J. PERALTA / M. LORDA / J.L. REMÓN / I. GARCÍA-MIJANGOS / I. BIURRUN	239
Cartografía 1:25.000 de los pastos de Navarra: aplicaciones para la gestión V. FERRER / A. IRIARTE / I. ITURRIAGA / M. SALVATIERRA	247
Desarrollo de un plan de gestión sostenible de pastos comunales a escala municipal I. MENÉNDEZ ARTIME / I. VÁZQUEZ FERNÁNDEZ / J. BUSQUÉ MARCOS / E. BAYARRI GARCÍA ...	255

Tercera parte

PRODUCCIÓN ANIMAL CON BASE A PASTOS

CAPÍTULO INTRODUCTORIO	
Gestión técnico-económica de explotaciones de rumiantes en Navarra: evolución y perspectivas J.M. INTXAURRANDIETA / J.M. MANGADO / J.M. LASARTE / P. PÉREZ / I. MUJICA / J.A. ERBURU	265
Calidad de la leche de cabra de raza payoya durante el verano, en sistemas de pastoreo tipo arbus-tivo-mediterráneo M. DELGADO-PERTÍÑEZ / A. SILES / E. VALENCIA / Y. MENA / V.M. FERNÁNDEZ-CABANÁS / D. LABEYRIE	287
Cuantificación del trabajo en explotaciones de ovino de leche en Navarra. Incidencia de la estacionalidad ligada al pastoreo P. EGUINO / J.M. INTXAURRANDIETA / J.M. LASARTE / P. LAZCANOTEGUI / M. ANCIN	295

Efecto del sistema de alimentación de corderos y del sexo sobre la composición de su carne en ácidos grasos y en vitamina E V. CAÑEQUE / O. LÓPEZ / C. LÓPEZ CARRASCO / I. MUIÑO / M. RAMOS / C. PÉREZ / M.T. DÍAZ / S. LAUZURICA / J. DE LA FUENTE	303
Revisión de los procesos de alimentación en producción de ovino ecológico en montaña J. L. SÁEZ ISTILART	311
Efecto del manejo y del estado fisiológico de ovejas de raza latxa en relación al gasto energético por locomoción N. MANDALUNIZ / N.A. LASKURAIN / A. ALDEZABAL	319
Factores determinantes del uso del espacio por parte del ganado vacuno y equino en pastos de montaña A. ALDEZABAL / N.A. LASKURAIN / N. MANDALUNIZ	325
Aprovechamiento ganadero de rastrojos de cultivos hortícolas y extensivos en Navarra J.M. MANGADO / P. IRIBARREN	331
Análisis de las variables que influyen en la eutrofización de las explotaciones lecheras en Cantabria G. SALCEDO	339
Efecto de la fecha y del número de parto de las vacas sobre la producción y calidad de la leche en pastoreo A. I. ROCA-FERNÁNDEZ / A. GONZÁLEZ-RODRÍGUEZ / O. P. VÁZQUEZ-YÁÑEZ	347
Sistema de apoyo a la toma de decisiones (graze'in) validación externa para ganado vacuno en pastoreo A. I. ROCA-FERNÁNDEZ / R. DELAGARDE / L. DELABY / M. E. LÓPEZ-MOSQUERA / A. GONZÁLEZ-RODRÍGUEZ	355
Predicción de la calidad de la dieta del rebeco (<i>Rupicapra pyrenaica</i>) mediante NIRS A.L. GÁLVEZ CERÓN / E. SERRANO FERRON / J. BARTOLOMÉ FILELLA / G. MENTABERRE / X. FERNÁNDEZ AGUILAR / L. FERNÁNDEZ SIRERA / N. NAVARRO GONZALEZ / J.R. LÓPEZ OLVERA / S. LAVÍN / I. MARCO / E. ALBANELL	363
Especies toxigénicas del género <i>Fusarium</i> presentes en precosecha de maíz forrajero para ensilado en Galicia M.J. SAINZ / O. AGUÍN / M.J. BANDE / C. PINTOS / J.P. MANSILLA	369
Evolución en la calidad de los ensilados de maíz: profesionalización de las explotaciones lecheras B. DE LA ROZA DELGADO / A. SOLDADO / M. A. GÓNZÁLEZ / M. PELÁEZ / A. MARTÍNEZ FERNÁNDEZ	377

Cuarta parte

PRODUCCIÓN VEGETAL DE PASTOS

CAPÍTULO INTRODUCTORIO

Abandono de tierras y cubiertas vegetales orientadas a la producción de pastos en zonas áridas y semiáridas de la cuenca media del Ebro I. DELGADO ENGUITA	387
Evaluación del estado de nutrición nitrogenada de cultivos forrajeros de invierno en la cornisa cantábrica J. BUSQUÉ MARCOS / A.L. GONZÁLEZ HOYOS	401

Influencia de la densidad de siembra, el corte y la dosis de nitrógeno en el desarrollo del triticale de doble aptitud F. LLERA CID / V. CRUZ SOBRADO / A. M. RIVERA MARTÍN	409
Curvas de dilución de la proteína en un triticale de doble aptitud: influencia de la densidad de siembra, la dosis de nitrógeno y el número de cortes F. LLERA CID / A. DE SANTIAGO ROLDÁN / A. M. RIVERA MARTÍN / R. A. GALLEGO OLIVENZA / V. CRUZ SOBRADO	417
Evaluación agronómica de maíz tras aplicación de combinaciones de productos de calcio en terrenos ácidos A. MARTÍNEZ FERNÁNDEZ / R. PELÁEZ / A. ARGAMENTERÍA / A. SOLDADO / A. GÓNZÁLEZ / B. DE LA ROZA DELGADO	425
Evolución de las propiedades químicas del suelo y producción de una pradera fertilizada con purín de vacuno mezclado con concha de mejillón M.D. BÁEZ BERNAL / J.F. CASTRO INSUA / A. LOURO LÓPEZ / J. VALLADARES ALONSO	431
Influencia de los equipos de aplicación sobre el valor fertilizante de la fracción líquida del purín de vacuno de leche y la compactación de los suelos en cultivos forrajeros monófitos anuales en ambiente atlántico J.M. MANGADO / G. JAUREGI / E. ZUDAIRE / E. IRUJO	439
Proyecto piloto para valorar la adaptación de máquinas específicas de producción y recolección de forrajes en zonas de montaña. Resultados de Navarra J.A. ERBURU / G. JAUREGUI	447
Producción de pastos herbáceos en el municipio de Tavertet (Barcelona) C. CASAS ARCARONS / A. MARCÉ PUJOL / A. PLA SANZ	453
Calidad de prados en el Pirineo de Huesca: valoración mediante análisis botánicos y químicos R. REINÉ / C. VILCHEZ / A. BROCA / M. MAESTRO / O. BARRANTES / C. CHOCARRO / A. JUÁREZ / C. FERRER	461
Evolución del valor nutritivo del forraje en dehesa de cuatro cultivos tras la cosecha S. RODRIGO / M.J. POBLACIONES / N. PINHERO / O. SANTAMARÍA / L. PÉREZ-IZQUIERDO / T. GARCÍA-WHITE / T.B. CUELLO-HORMIGO / L. OLEA	469
Influencia de la fertilización con magnesio, calcio, azufre y potasio junto a fósforo, sobre la producción, composición botánica y calidad de pasto de dehesa F.J. SÁNCHEZ-LLERENA / S. RODRIGO / M.J. POBLACIONES / O. SANTAMARÍA / T. GARCÍA-WHITE / L. OLEA.	475
Efecto del régimen hídrico y del número de cortes en la producción de biomasa y la eficiencia en el uso de agua en un cultivo de zulla (<i>Hedysarum coronarium</i> L.) en condiciones mediterráneas J. CIFRE / V. GARÍ / J. JAUME / J. GULÍAS	481
Pastoreo versus siega de una pradera de esparceta en regadío I. DELGADO / F. MUÑOZ / S. DEMDOUM	489
Potencial agronómico y ambiental de las mezclas forrajeras R. LLURBA / A. RIBAS / N. ALTIMIR / C. BOUBEKEUR / F. GOURIVEAU / J. PLAIXATS / D. VENTURA / J. CONNOLLY / M.T. SEBASTIÀ	497

Evaluación de la aptitud combinatoria específica de líneas (EC136 x EC151)F2 para la producción de maíz forrajero	
L. CAMPO / A. MONTEAGUDO / J. MORENO-GONZÁLEZ	505
Evaluación de la aptitud combinatoria específica de líneas (EC136 x EC151)F2 para la producción de maíz grano	
L. CAMPO / J. MORENO-GONZÁLEZ	511
Respuesta de la cebada a la inoculación con micorrizas combinada con la fertilización mineral	
A. GARCÍA-CIUDAD / M.A. JIMÉNEZ MATEOS / B.R. VÁZQUEZ-DE-ALDANA / L. GARCÍA-CRIADO / B. GARCÍA-CRIADO	517
La producción y el valor nutritivo del primer corte de la alfalfa crecida en invernaderos de gradiente térmico en condiciones de cambio climático varían con la cepa de <i>Sinorhizobium meliloti</i>	
A. SANZ-SÁEZ / G. ERICE / J. AGUIRREOLEA / F. MUÑOZ / M. SÁNCHEZ-DÍAZ / J.J. IRIGOYEN ...	523
Producción forrajera del cultivo de especies autóctonas de Canarias	
E. CHINEA / C. BATISTA / J.L. MORA / A. GARCÍA-CIUDAD / B. GARCÍA-CRIADO	529
Producción y calidad de biomasa del switchgrass (<i>Panicum virgatum L.</i>) en Candás (Asturias)	
J.A. OLIVEIRA-PRENDES / E. AFIF-KHOURI / P. PALENCIA-GARCIA / J.J. GORGOSO-VARELA	535
Calibración y evaluación de dos métodos no destructivos de estimación de la producción en praderas polifitas con <i>Lolium sp.</i>	
J.L. SÁEZ ISTILART / I. VERGARA HERNANDEZ / R. M. CANALS TRESSERRAS	543
ÍNDICE DE AUTORES	551

Comité Científico

ALBIZU BEITIA, Isabel (Neiker-Tecnalia)
 ALDEZABAL ROTETA, Arantza (Universidad del País Vasco)
 ARREGUI ODERIZ, Luis Miguel (Universidad Pública de Navarra)
 BAEZ BERNAL, Dolores (CIAM Xunta Galicia)
 BARTOLOMÉ FILELLA, Jordi (Universitat Autònoma de Barcelona)
 CALLEJA SUÁREZ, Alfredo (Universidad de León)
 CANALS TRESSERRAS, Rosa Maria (Universidad Pública de Navarra)
 CHINEA CORREA, Eduardo (Universidad de La Laguna)
 CHOCARRO GÓMEZ, Cristina (Universitat de Lleida)
 DE LA ROZA DELGADO, Begoña (SERIDA Asturias)
 FERNÁNDEZ REBOLLO, Pilar (Universidad de Córdoba)
 GÓMEZ CABRERA, Augusto (Universidad de Córdoba)
 GARCÍA CRIADO, Balbino (IRNASA-CSIC)
 GÓMEZ GARCÍA, Daniel (IPE-CSIC)
 GARCÍA GONZÁLEZ, Ricardo (IPE-CSIC)
 GARCÍA NAVARRO, Ricardo (Universidad de León)
 GONZÁLEZ RODRÍGUEZ, Antonio (CIAM Xunta Galicia)
 IRIGOYEN IPARREA, Juan José (Universidad de Navarra)
 LLOVERAS VILAMANYA, Jaume (Universitat de Lleida)
 LÓPEZ-CARRASCO FERNÁNDEZ, Celia (JC Castilla La Mancha)
 MANGADO URDÁNIZ, Jesús Mari (INTIASA Navarra)
 MARTÍNEZ FERNÁNDEZ, Adela (SERIDA Asturias)
 MARTÍNEZ MARTÍNEZ, Teodora (IMIA Alcalá de Henares)
 MOSQUERA LOSADA, María Rosa (Universidad de Santiago)
 OLEA MÁRQUEZ PRADO, Leopoldo (Universidad de Extremadura)
 OLIVEIRA PRENDES, José Alberto (Universidad de Oviedo)
 PERALTA DE ANDRÉS, Javier (Universidad Pública de Navarra)
 PIÑEIRO ANDIÓN, Juan (CIAM Xunta Galicia)
 PLAIXATS BOIXADERA, Josefina (Universitat Autònoma de Barcelona)
 REINÉ VIÑALES, Ramón (Universidad de Zaragoza)
 RODRÍGUEZ VÁZQUEZ DE ALDANA, Beatriz (IRNASA-CSIC)
 ROIG GÓMEZ, Sonia (Universidad Politécnica de Madrid)
 SÁEZ ISILART, José Luis (INTIASA Navarra)
 SÁNCHEZ DÍAZ, Manuel (Universidad de Navarra)
 SAN EMETERIO GARCIAINDIA, Leticia (Universidad Pública de Navarra)
 SAN MIGUEL AYANZ, Alfonso (Universidad Politécnica de Madrid)
 SORET LAFRAYA, Beatriz (Universidad Pública de Navarra)
 URIZ OLAIZ, José Manuel (Universidad Pública de Navarra)

**Comité Organizador de
la 51 Reunión Científica
de la SEEP**

Rosa Maria Canals Tresserras
Leticia San Emeterio Garciandia
Javier Peralta de Andrés
José Manuel Úriz Olaiz

Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos
UNIVERSIDAD PÚBLICA DE NAVARRA

Presentación

Reciban mi más cordial bienvenida a Navarra, una tierra en la que descubrirán una gran diversidad geográfica, climática y cultural. En sólo 10.400 km² abarcamos un amplísimo abanico biogeográfico que incluye altas cumbres pirenaicas, brumosos hayedos atlánticos, cuencas cerealistas, carrascales mediterráneos, fértiles huertas regadas y desiertos bardeneros.

Nuestra Comunidad es el único territorio europeo en el que están presentes tres de las cinco regiones biogeográficas de Europa, la alpina, la atlántica y la mediterránea. Es un orgullo, y también una gran responsabilidad, gestionar con criterios sostenibles esta riqueza heredada. Desde las áreas más intensificadas, destinadas a producir alimentos para una población demandante y en crecimiento, hasta las más extensificadas, destinadas a equilibrar y salvaguardar la balanza del desarrollo humano y a aportar servicios ecosistémicos, precisan de una planificación y una gestión basada en la sostenibilidad

Los pastos alimentan a nuestras cabañas ganaderas de forma segura, sana y trazable, siendo el alimento más económico y el más adecuado para el sustento del ganado. Los animales herbívoros han coevolucionado a lo largo de 25 millones de años con los pastos herbáceos. Los unos deben su existencia a los otros y, por ello, no se entiende el pasto sin el herbívoro, ni el herbívoro sin el pasto.

En las últimas décadas, el fuerte receso de la cabaña ganadera y el descenso de la ganadería extensiva pastoreadora están contribuyendo al cambio en el paisaje y Navarra no es ajena a esta situación. Esto unido al riesgo de incendios forestales hace que debamos actuar y busquemos soluciones y alternativas, un ámbito donde la ganadería extensiva tiene mucho que aportar, por un lado, como desbrozador biológico y, por otro, como elemento de vertebración al mantener una población rural vigilante, estrechamente ligada al medio natural.

Está claro que la ganadería extensiva es un agente de conservación del medio rural y natural, algo que debemos proteger. Se trata de conservar un intangible, que incluye animales y razas distintas, y engloba también un modo de vida, y a las personas que la llevan a cabo. Sin duda, es un nuevo reto de conservación y promoción, más indefinido que otros, pero no por ello menos importante.

Desde estas líneas, quiero animar a la Sociedad Española para el Estudio de los Pastos en su tarea divulgativa. Estoy segura de que el congreso nacional servirá también para concienciar a nuestra sociedad sobre el valor de la ganadería extensiva ligada al uso de los recursos naturales. Espero que su visita sea muy productiva y confío en que muy pronto vuelvan a Navarra para tratar asuntos de tanto interés como el que en este 51 Congreso han planteado.

Lourdes Goicoechea Zubelzu
*Consejera de Desarrollo Rural, Industria,
Empleo y Medio Ambiente,
Gobierno de Navarra*

Entidades colaboradoras: Instituto Navarro de Tecnologías e Infraestructuras Agroalimentarias (INTIASA); Consultoría Belardi; Departamento de Desarrollo Rural, Industria, Empleo y Medio Ambiente, Gobierno de Navarra; Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA); Ayuntamiento de Pamplona; Junta de Bardenas; Ayuntamiento de Garde; Caja Rural de Navarra

Primera parte

Sistemas y recursos silvopastorales

S.E.E.P.
PAMPLONA/IRUÑA 2012

CAPÍTULO INTRODUCTORIO

Las facerías internacionales en el Pirineo: historia, actualidad y futuro

M. M. RAZQUIN LIZARRAGA / E. ARANGUREN IBAÑEZ / M. TAULL TAULL / J.A. FERNANDEZ OTAL / V. FERRER LORÉS / P. GASCOUAT / R.M. CANALS TRESSERRAS

Efectos de la aplicación de fertilizantes de nueva generación en la dehesa toledana: producción y diversidad de pastos herbáceos

C. LÓPEZ-CARRASCO / M. J. GÓMEZ / J. M. CARPINTERO / J. BRAÑAS / S. ROIG

Producción de los pastos en la dehesa y su relación con la precipitación y el suelo

F. GONZÁLEZ / S. SCHNABEL / P. M. PRIETO / M. PULIDO-FERNÁNDEZ / J. GRAGERA-FACUNDO

Reflexiones sobre las técnicas de mejora de la dehesa extremeña

J. GRANDA MÁRQUEZ DE PRADO / C.G. HERNÁNDEZ DÍAZ-AMBRONA

Influencia de la presión de pastoreo en el contenido de nutrientes en hoja de encina en la dehesa

A.M. GARCÍA MORENO / M.D. CARBONERO MUÑOZ / F. MORENO ELCURE / J.R LEAL MURILLO / M.T. HIDALGO FERNÁNDEZ / P. FERNÁNDEZ REBOLLO

Caracterización del comportamiento vecero de la encina mediante distintos índices

M.D. CARBONERO MUÑOZ / A. GARCIA MORENO / P. FERNÁNDEZ REBOLLO

Las enmiendas calizas como estrategia para disminuir la podredumbre radical de *Quercus sp.* en la dehesa

J.R. LEAL MURILLO / P. DE VITA / M.S. SERRANO MORAL / M.E. SÁNCHEZ HERNÁNDEZ / P. FERNÁNDEZ REBOLLO

Producción herbácea, calidad del pasto y carga ganadera en diferentes tipologías de rodales adhesados en Catalunya: efecto del arbolado

M.TAULL / T. BAIGES / P. CASALS

Recuperación de pastos en un encinar desbrozado y aclarado en el Parque Natural del Montseny

C. MADRUGA-ANDREU / J. BARTOLOMÉ FILELLA / J. PLAIXATS BOIXADERA

Sistemas silvopastorales y balance de carbono en la selva Lacandona, Chiapas, México

G. JIMÉNEZ-FERRER / L. SOTO-PINTO / V. AGUILAR / E. EZQUIVEL / J. PLAIXATS BOIXADERA

Características de la vegetación herbácea en mezclas pratenses y crecimiento del arbolado en sistemas silvopastorales en Asturias

J.A. OLIVEIRA-PRENDES / J.P. MAJADA-GUIJO / E. AFIF-KHOURI / P. PALENCIA-GARCIA / J.J. GORGOSO-VARELA

Comparación de costes de control del matorral con desbroce y pastoreo de ganado caprino en un área cortafuegos de la Comunitat Valenciana

C. DOPAZO / A.E. LAHIGUERA / J. SUÁREZ / V. MARTÍNEZ / A.B. ROBLES / J.L. GONZÁLEZ-REBOLLAR

Caracterización de la sequía en pastos anuales en dehesas

J.A. ESCRIBANO RODRÍGUEZ / A.E. GLIGA / J.F. LLORENTE MARTÍNEZ / C.G. HERNÁNDEZ DÍAZ-AMBRONA

Comparación de dos métodos para la estimación de los daños por sequía en pastos de dehesa

A.E. GLIGA / J.A. ESCRIBANO RODRÍGUEZ / C.G. HERNÁNDEZ DÍAZ-AMBRONA

Respuesta de la composición florística y la diversidad biológica de pastizales a las estrategias de manejo en una dehesa de la Sierra de Guadarrama, Madrid

T. MARTÍNEZ / J. URQUIA / J.I. TEJERINA / J.M. DE MIGUEL

Las facerías internacionales en el Pirineo: historia, actualidad y futuro

International grassland communal (facerías) in the Pyrennees: history, current situation and future prospects

M. M. RAZQUIN LIZARRAGA¹ / E. ARANGUREN IBAÑEZ² / M. TAULL TAULL³ /
J.A. FERNANDEZ OTAL⁴ / V. FERRER LORÉS⁵ / P. GASCOUAT⁶ /
R.M. CANALS TRESSERRAS²

¹Dpto. Derecho Público. Universidad Pública de Navarra. Campus Arrosadia s/n. 31006 Pamplona

²Dpto. Producción Agraria. Universidad Pública de Navarra. Campus Arrosadia s/n. 31006 Pamplona

³Grup d'Ecologia i Gestió de Sistemes Silvopastorals. Centre Tecnològic Forestal de Catalunya. Cerretera de Sant Llorenç, Km. 2. Solsona (Lleida)

⁴I.E.S. Baltasar Gracián. Camino Coscolla, 13. 22430 Graus (Huesca)

⁵Consultoría Belardi. C/Batondoa. 3. 31600 Burlada (Navarra)

⁶Lycée des Métiers de la Montagne. 1052 route du Gave d'Aspe. 64 400 Oloron Ste Marie (France)

Resumen: La ponencia define el concepto de facería internacional pirenaica y realiza en sus primeros apartados una síntesis histórica de sus orígenes y de su evolución a lo largo de sus ocho siglos de existencia. Se realiza posteriormente una recopilación de las facerías existentes en el Pirineo y de su estado actual de vigencia y se comentan los aspectos más peculiares y particulares de las mismas. En la segunda parte de la ponencia se describe el nuevo marco político-jurídico de las facerías internacionales pirenaicas, se detalla un ejemplo de evolución de una facería actual, plenamente vigente y acorde a los tiempos actuales, la facería de Aezkoa-Cize, y se reflexiona sobre los retos y posibilidades a futuro de estos acuerdos internacionales de origen ancestral.

Palabras clave: comunidad de pastos, acuerdos fronterizos, aprovechamiento de pastos, cordillera pirenaica.

Abstract: *Facería* is a land of grass in the boundaries of two valleys, which is used in common. This presentation defines the concept of international grassland communal in the Pyrenees and describes its ancient origin and its evolution along the last eight centuries. Further, a compilation of international grassland communal along the Pyrenees is done, describing their main traits and particular characteristics and indicating their degree of relevance nowadays. The second part of the manuscript is devoted to analyze the current, political and legal, framework of these entities, and to describe the evolution of a modernized *facería*, that involves the Spanish valley of Aezkoa and the French valley of Cize. Eventually, we reflect on the challenges and on the future prospects of these international grassland communal in an European context.

Key words: grassland community, international agreements, grassland use, Pyrenean range.

FACERÍAS, PATZERIAS, FASSERIAS O PAISSERIES: ORIGEN Y CREACIÓN DE UNA IDENTIDAD PIRENAICA PROPIA

En los Pirineos, los valles han sido la unidad geográfica, económica y política sobre la que han girado las relaciones entre los pueblos de montaña. Durante siglos, el grado de ocupación humana de estas montañas ha sido muy elevado en una y otra vertiente. Ello, junto con la inexistencia de un fuerte poder centralizado ha conducido a que los valles hayan llevado a cabo una política montañesa propia, desarrollando una conciencia de pertenecer a un entorno común que los ha diferenciado de forma significativa de los habitantes del llano (Gorría, 1995).

La propiedad de la mayor parte de las montañas pirenaicas se estableció tras las concesiones reales otorgadas a lo largo del siglo XIV, constituyéndose las delimitaciones de muchos valles y adjudicándose su uso. Los primeros acuerdos faceros conocidos datan de ese siglo. A partir de entonces, se desarrolló abundante normativa local (face-

rías, concordias, sentencias arbitrales, tratados...) para regular la vida en los valles, protegiendo sus principales intereses económicos y sociales. Las facerías, por tanto, han sido consideradas transacciones inviolables, no modificables por ninguna autoridad, a menos que se produzca un convenio libre y recíproco por las dos partes afectadas por el acuerdo. La inviolabilidad de estos tratados queda patente en la solemnidad de su establecimiento, con un procedimiento prefijado, ratificado por los delegados reunidos de ambas partes, autenticado por notarios y con un régimen de control y sanciones en caso de incumplimiento del acuerdo.

El origen de la palabra facería es controvertido. Para algunos autores este término viene de las palabras *paix*, *paz* o *patz*, para otros significa *paisson*, es decir, pasto. Probablemente el término alude tanto a un “acuerdo internacional de paz” como a un “acuerdo internacional de uso de pastos”. Dado que la ganadería ha sido siempre la principal actividad económica de los valles pirenaicos y la base de su subsistencia, asegurar su continuidad y el buen uso de los pastos es asegurar la paz, y viceversa. En su inicio, los tratados faceros eran acuerdos que excedían, en algunos casos, la regulación del aprovechamiento de los pastos fronterizos, existiendo cláusulas de regulación de otros usos importantes (de paso, de agua, de maderas...) y otras de carácter socio-político (ayuda en caso de guerra, protección de hospitales...). Estos amplios objetivos perduraron hasta finales del siglo XVIII, desapareciendo en la época moderna para convertirse en convenios de reglamentación del aprovechamiento pacífico de pastos vecinos.

El origen de las facerías se hunde en la historia, con los problemas que plantea en muchos casos la conservación de documentos que prueben el momento histórico concreto del nacimiento de muchas de ellas y que ayuden a entender mejor su origen. Así por ejemplo, en el siglo XVI se produjo un hecho crucial que afectó de forma relevante a los Pirineos Occidentales, la división del Reino de Navarra. La mayor parte de las merindades de Navarra pasaron a formar parte de la Corona de Castilla, mediante unión “*aequae-principale*”, y la merindad de Ultrapuertos quedó desgajada, siendo anejada finalmente a Francia. Consecuentemente, tal como indica Arvizu (1992), en Aldudes la frontera apareció a raíz de la separación de las dos Navarras, lo que explica parte de los complejos acontecimientos relacionados con esta facería.

Los dos tratados más importantes de los Pirineos fueron firmados en 1513 y 1514, tras un periodo convulsivo (poco después de la Guerra de Navarra). El primer **Tratado d'Arrem** (en el límite entre Haute Garonne y el valle de Arán), escrito en occitano y en aranés, se firmó en 1513 entre los representantes de los valles del Pirineo Central Oriental (valles franceses de Aure, Nestes, Louron, Larboust, Oueil, Luchon, Frontignes, Saint-Béat, Aspet, Castillonais y Couserans, y valles españoles de Bielsa, Gistaín, Benasque, Ribagorza, Barrabés, Arán, Pallars, Vilamur y la cuenca de Orcau). Este tratado buscaba fundamentalmente asegurar la paz de los valles en caso de guerra entre los reinos de Francia y Aragón, y recogía y ampliaba acuerdos de siglos anteriores, a fin de continuar las relaciones pastoriles, comerciales y la posibilidad de pasar la frontera entre los valles, para asegurar la propia supervivencia. El segundo tratado, firmado

en 1514, concernió a los Pirineos Centrales Occidentales (los valles bearnese de Ossau, Aspe y Barétous, y los aragoneses de Tena, Canfranc, Villanúa, Aragüés, Hecho y Ansó). Se puede asegurar que estos dos tratados fijaron un cuadro general para otros acuerdos, creando verdaderas “*federaciones pirenaicas*” y estableciendo una suerte de seminacionalidad limitada (Bourret, 1995).

Los acuerdos faceros son pues un fenómeno jurídico muy complejo, que han integrado tradicionalmente convenciones sobre cuestiones públicas, económicas, de mutuo auxilio, franquicia y protección de las relaciones comerciales, pastos, pasos, aguas, etc. entre Francia y España, y que lograron, sorprendentemente, que las altas cumbres pirenaicas llegaran a ser un fuerte nexo de unión, y no una barrera, entre valles pertenecientes a distintos países (Descheemaeker, 1947).

Las facerías constituyen instituciones jurídicas históricas que son difíciles de categorizar jurídicamente si se las pretende encasillar en los esquemas jurídicos actuales. Debido a que afectan a dos países distintos, el Derecho aplicable es el Derecho Internacional¹, y éste no contiene ninguna regulación concreta sobre la propiedad y menos aún sobre las facerías. No obstante, es importante tener en cuenta el valor preeminente que tiene la costumbre como fuente del Derecho Internacional, con lo cual estas facerías se rigen en primer lugar por el contrato (acuerdo, concordia, sentencia arbitral o documento similar), y en segundo lugar por la costumbre².

ESTABLECIMIENTO DE LAS FRONTERAS PIRENAICAS EN LA ÉPOCA MODERNA: LOS TRATADOS DE BAYONA

El nacimiento de los Pirineos como frontera se produjo con la instauración de los modernos Estados Centrales del siglo XVII y, sobre todo, con la firma de los Tratados de Límites, al que hay que añadir como tercer hito, el cierre de la frontera con motivo de la guerra civil española (Gorría, 1995).

La frontera franco-española se extiende a lo largo de 656,3 kilómetros. Su trazado formal se remonta a la firma del Tratado de los Pirineos entre España y Francia el 7 de noviembre de 1659 en la Isla de los Faisanes. Este tratado siguió la frontera geográfica como criterio determinante, aunque esto planteó diversos problemas dado que la frontera geográfica elevada a frontera jurídica no coincidía con la frontera de los intereses económicos que, en los siglos XVII, XVIII y XIX era el disfrute de los pastos (Arvizu,

1. Arvizu (2001) ha advertido del error de pretender dar soluciones de Derecho Civil cuando se está ante cuestiones o instituciones de Derecho Internacional.

2. En el orden interno es ilustrativa la cita que Aizpún (1958) y Zubiri (2004) realizan de la Ley XXVI de las últimas Cortes de Navarra de 1828-1829 donde se disponía que “los terrenos o montes donde haya facería o goce promiscuo entre dos o más pueblos o vecinos particulares, hayan de continuar como hasta aquí las convenciones, concordias y demás pactos que tengan entre sí”, lo que muestra la singularidad de esta institución. Y así Alli (1989) expone las distintas opiniones sobre la caracterización jurídica de la facería internacional entre el Valle de Roncal y Barétous, bien como comunidad de derechos o como gravamen con reciprocidad.

1997). Posteriormente, a lo largo del siguiente siglo, se produjeron otros acuerdos sobre zonas puntuales: el tratado de Llivia, por el que se transfería a Francia la soberanía de varios pueblos del valle de Querol, el convenio de Perpiñán, que establecía los límites del Ampurdán, o el tratado de Elizondo de 1785, por el que se demarcaban los límites entre el valle de Alduides y Valcarlos.

La delimitación precisa y definitiva, que en su mayor parte todavía sigue vigente, se llevó a cabo con la firma de los Tratados de Bayona entre 1856 y 1868³. Estos tratados fueron elaborados y firmados durante los reinados de Isabel II en España y el emperador Napoleón III en Francia, y básicamente establecen los límites de la frontera pirenaica occidental (1856), central (1862) y oriental (1866) y el acta final del arreglo de límites (1868). Los Tratados perseguían formalmente la fijación de la frontera entre España y Francia, pero detrás de ellos latían los intereses locales en los disfrutes de los pastos, es decir, los verdaderos intereses económicos que dieron lugar a un procedimiento tan largo como conflictivo. Así los Tratados en su primera parte son un recorrido sobre el territorio para fijar la frontera jurídica, pero pasan seguidamente a contener una serie de artículos referidos a los disfrutes de pastos y a los acuerdos faceros vigentes en el momento de elaboración del tratado.

El principal objetivo del **Tratado de Límites firmado en Bayona el 2 de diciembre de 1856** fue el de establecer los límites entre Francia y España en la porción de frontera correspondiente a las provincias de Guipuzcoa (desde desembocadura del Bidasoa) y Navarra (collado de Añalarra). Para realizar el trazado fronterizo, se analizaron antiguas escrituras, sentencias de amojonamiento, convenios de facería y compascuidad, sentencias arbitrales, tratados y distinta documentación presentadas por las partes afectadas, a fin de esclarecer, con precisión, los intereses económicos en juego. Los primeros artículos de dicho tratado (1-11) se destinan a definir los límites fronterizos y establecer el amojonamiento. Los siguientes artículos (12-17), tratan sobre los acuerdos faceros existentes. Las principales regulaciones que incluyen son:

1. Se consideran comunes los caminos, aguas y fuentes que han servido para fijar la línea divisoria y, por tanto, su uso es libre para los ganados y habitantes de ambos lados de la frontera (art. 12).
2. Se anulan todos los contratos faceros existentes en virtud de antiguos convenios por tiempo indeterminado a excepción de dos: el contrato facero de Aezkoa-Cizé y el contrato facero de Roncal-Baretous, que se regulan por las sentencias arbitrales ya existentes, de 1556 y 1375 respectivamente (art. 13).
3. Se mantiene el derecho de los habitantes de estas zonas fronterizas a establecer nuevos acuerdos faceros pero: a) se señala un límite temporal para estos convenios no superior a 5 años (con anterioridad estos convenios podían tener

3. Estos Tratados reflejan de forma clara las tres etapas en el desarrollo de la frontera que apunta Fernández de Casadevante (1985): fijación o determinación, decisión y ejecución. La primera etapa de negociaciones fue muy larga, en gran parte debido a la afectación a los intereses ganaderos contenidos en las facerías.

incluso duración indefinida), y b) se obliga a que estos convenios estén ratificados por los gobiernos respectivos (art. 14). Fernández de Casadevante (1985) destaca la importancia de este artículo por lo que supone para el desarrollo futuro de las relaciones de vecindad.

4. Los artículos 15 y 16 se refieren al Quinto Norte, la zona fronteriza más conflictiva en el momento de la firma del Tratado. En estos artículos se ratifican las fronteras establecidas en el tratado de límites de Elizondo de 1785 en la zona de Alduides. Su historia pasada común, las menores altitudes alcanzadas por sus cumbres y collados y la mayor densidad poblacional en la vertiente francesa, favorecieron numerosas incursiones a lo largo de los siglos, haciendo la línea de frontera fluida y fluctuante. En 1785 se estableció una frontera en línea recta, ajena al criterio utilizado en el resto de la cordillera pirenaica, y que discurre a media ladera en la vertiente norte⁴. El Tratado de Bayona ratificó dicha frontera pero convino que los habitantes del valle francés de Baigorri tuvieran el goce exclusivo y perpetuo de 2.500 ha de pastos españoles en Alduides (vertiente norte de Quinto Real) a cambio de un canon o arrendamiento anual de 30.400 reales de vellón. En la actualidad este canon está vigente y es de unos 68.500 euros que se reparten entre el valle de Erro (52%) y el valle de Baztán (48%). Se trata de unos pastos muy utilizados debido a los escasos terrenos propios que dispone el municipio de Baigorri. El resto de hectáreas que mugan con los valles españoles (como los pastos de Sorogain, en la vertiente sur de Quinto Real), son compartidas en su aprovechamiento con los baigorranos en virtud de nuevos contratos prorrogables establecidos al amparo del Tratado.

La finalidad del **Tratado de Límites firmado en Bayona el 14 de Abril de 1862** fue la de dar continuidad al Tratado anterior, estableciendo los límites fronterizos desde el extremo oriental de Navarra hasta el valle de Andorra, así como dar solución a las distintas contiendas fronterizas muy conocidas en la zona, como, por ejemplo, las seculares disputas entre los valles de Broto y Barèges. La forma de trabajo fue similar a la anterior, examinando la documentación disponible, tratando de respetar los usos y costumbres y escuchando las distintas partes interesadas. Los primeros artículos (1-9) establecen en detalle los límites fronterizos y las condiciones del amojonamiento. A partir del artículo 10 se tratan los acuerdos faceros. Las regulaciones que incluyen al respecto son las siguientes:

1. Se regula la facería Borce-Ansó. Los franceses disfrutarán un año de cada seis de la montaña de Astanés, perteneciente al pueblo español de Ansó. Los anso-tanos, durante los cinco años que disponen de Astanés, pueden pastar sus ga-

4. Los motivos que impulsaron este trazado separado del propio de una frontera natural han sido expuestos por Arvizu (2001). Radican en la preservación de los intereses de Baigorri que no aceptó nunca los límites del Tratado de 1785 y que por tanto logró que se produjera una protección de sus intereses tanto de forma muy genérica en el Tratado de 1856 como sobre todo en los convenios anejos que se formalizaron mediante canje de notas.

nados y proveerse de madera y leña en dos fajas de territorio francés contiguas a esta montaña.

2. Se regula el uso de la montaña de Aspé, titularidad de los ansotanos, por los habitantes de los valles de Aspe y Ansó. Los franceses tendrán derecho a pasto un año de cada tres.
3. Se regula el uso en común de montañas propias de la ciudad de Jaca (Astún, la Raca y La Raqueta) y de los comunales septentrionales propiedad del valle de Aspe. Se establecen algunos límites temporales y de pernocta y se ratifica el pago de un canon de la ciudad de Jaca a la vecinal de Aspe.
4. Se confirma el uso de albergues recíprocos para pastores entre el valle de Tena y el valle de Ossau.
5. Se ratifica el acuerdo facero entre el Quiñón de Panticosa, en el valle de Tena, y el valle de Saint Savin por el uso de la montaña de Jarret mediante subasta pública.
6. Se ratifica la propiedad común entre el valle de Broto y el de Barèges de siete quintos de la montaña de Usona y se establece una indemnización por el abandono definitivo de ciertos derechos del valle de Broto en Gavarnie.
7. Se establecen numerosos acuerdos entre el valle de Luchon y el valle de Aran, que incluyen derechos de pasto, de madera y de acceso.
8. Se mantiene el derecho de los habitantes de estas zonas fronterizas a establecer nuevos acuerdos faceros pero: a) se señala un límite temporal para estos convenios no superior a 5 años, y b) se obliga a que estos convenios estén ratificados por los gobiernos respectivos.

El **Tratado Franco-Español de Límites firmado en Bayona el 26 de Mayo de 1866** fija la frontera entre Francia y España desde Andorra hasta el Mediterráneo (artículos 1 al 17). También se establecen los siguientes acuerdos:

1. Se regulan los acuerdos de servidumbre de paso, principalmente entre el pueblo español de Llivia, enclavado en territorio francés, y sus municipios vecinos, para el tránsito de personas, mercancías, materias primas y ganado en su traslado a los puertos pirenaicos españoles (monte Carlit).
2. Se mantiene la compascuidad entre el pueblo francés de Angustringa y Llivia para el uso de pastos comunales del terreno circundado por el límite de las dos jurisdicciones.
3. Se mantiene la facería entre el pueblo español de Guils y el francés de Tour de Carol y se establece un pago en metálico del gobierno francés al pueblo de Guils por la propiedad de algunos de estos terrenos.

EL MARCO POLÍTICO-ADMINISTRATIVO DE LAS FACERÍAS Y LAS CONSECUENCIAS DE LOS TRATADOS DE FIJACIÓN DE LÍMITES

Los Tratados de Fijación de Límites constituyeron un cambio sustancial sobre el régimen de relaciones entre los valles y pueblos pirenaicos, lo que afectó de forma notable a las facerías y supuso un antes y un después para la mayor parte de las facerías

existentes en el Pirineo. Los acuerdos, que hasta entonces habían sido orales o bien registrados por escrito a nivel local (concordias, sentencias arbitrales...) fueron tratados y publicados como documentos internacionales.

Es importante hacer referencia al marco político-jurídico en el que se celebraron dichos Tratados para entender las consecuencias que los mismos tuvieron en las facerías internacionales. En primer lugar, la realidad anterior al siglo XIX se mueve en un contexto que se caracteriza por las siguientes notas:

1. Los Pirineos constituyen un medio de separación natural entre territorios, pero a la vez esa separación natural no impide que la estructura política y administrativa sea la misma (caso de Navarra hasta 1512, por ejemplo) o que se mantengan relaciones de unión y vecindad entre los Valles y pueblos de cada vertiente de los Pirineos⁵.
2. En una primera fase histórica, no puede hablarse ni siquiera de Estados a cada lado de los Pirineos, porque la aparición del Estado moderno no se conoció hasta finales del s. XV (con los Reyes Católicos, paradigma de la creación del Estado moderno en España). Así, la primera fase conocida de las facerías se desarrolla en un Estado feudal, al que no cabe aplicar los parámetros del Estado moderno. Y una de las características del Estado feudal es el poder de las villas y ciudades, en muchos casos directamente vinculadas a los Reyes o que obtienen sus derechos por concesión real. Por tanto, los acuerdos se celebran entre villas o valles que defienden sus derechos de propiedad o de pastos frente a otras villas vecinas, que pertenecen al mismo u otro Reino, Condado o Señorío. Esto explica el poder de los Valles y Pueblos y el amplio alcance de los acuerdos y concordias, que exceden notablemente del aprovechamiento de pastos (Descheemaeker, 1947).
3. La creación del Estado moderno, no significa tampoco que exista un solo Reino a cada lado de los Pirineos. Centrándonos en el caso español, la unión de Navarra a la Corona de Castilla en 1512 supuso la división del Reino de Navarra, pero no su desaparición como tal, dado que continuaron en vigor sus instituciones propias (Cortes, Diputación del Reino, Cámara de Comptos, Consejo Real, etc.), salvo el Rey (representado por el Virrey). Finalmente, perdió su condición de Reino en la primera mitad del siglo XIX, cuando se incorporó al Reino de España como Provincia a todos los efectos, aunque con un régimen administrativo especial (Ley de Confirmación de Fueros de 1839 y Ley Paccionada de 1841)⁶

5. Cavallès (1986) ha señalado que ha existido una auténtica federación entre los pueblos de ambos lados de los Pirineos durante el Antiguo Régimen, que ha trascendido de las fronteras.

6. En el caso de Navarra debe tenerse en cuenta que su territorio como Reino antes de 1512 se extendía a ambas vertientes de los Pirineos. Incluso en documentos del siglo XIX se hace referencia a la Navarra Baja, en alusión a los municipios de la vertiente francesa que en su día pertenecieron al Reino de Navarra y del que fueron segregados en 1512.

El cambio radical en la situación política y administrativa de los Pirineos se produce en la primera mitad del siglo XIX (en Francia a partir de 1789) con el advenimiento del Estado liberal, que triunfa inmediatamente en Francia pero cuya implantación en España costará tiempo e incluso dará lugar a importantes conflictos como el de las guerras carlistas⁷. No hay que olvidar asimismo el papel que jugaron los Pirineos en la denominada Guerra de la Independencia, con la ocupación de parte de España por el ejército de Napoleón Bonaparte.

Para entender los cambios que los Tratados de Límites introducen respecto de las facerías, debemos detenernos brevemente sobre el significado del Estado liberal, bajo cuyo amparo se celebraron estos Tratados. El nuevo Estado liberal constituye un cambio de signo trascendental, por cuanto que introduce nuevas ideas básicas de concepción política, jurídica y administrativa. En lo que aquí interesa, cabe formular aquellas ideas básicas más relevantes:

1. El Estado moderno se fortalece como tal, se centraliza y simplifica el anterior esquema territorial con la creación de los Departamentos en Francia y las Provincias en España. Aparece por tanto un fuerte poder central, que tiene un Delegado en cada Departamento o Provincia, llamado el Prefecto o el Gobernador Civil. Son ellos los que controlan la vida política y administrativa de la provincia. Los municipios (y en general las entidades locales) son desapoderadas de sus antiguas atribuciones o a lo sumo el ejercicio de éstas es sometido al control de los nuevos “gobernantes”, que deben autorizar los acuerdos que los entes locales puedan adoptar, por ejemplo, en materia de bienes. Incluso Arvizu (1997) se ha referido a la existencia de tres niveles: el superior, el intermedio y el local, afirmando que los Tratados se culminaron cuando no intervino, o intervino poco, el nivel local.
2. El Estado liberal trae una nueva concepción de la propiedad, en especial de la propiedad agraria, que va a manifestarse en el Código Civil de Napoleón, adoptado luego por otros Estados, entre ellos España. El nuevo Código Civil napoleónico representa las ideas de la burguesía, la clase social triunfadora de la Revolución francesa, que respecto del derecho de propiedad se condensan en los siguientes principios:
 - a) La propiedad se configura como un derecho individual, el concepto de propiedad civil romana. Por tanto, se persigue la supresión del modelo de propiedad germánica⁸, lo que afectó de forma importante a los bienes comu-

nales⁹. Se introduce la acción de división (*actio communi dividundo*) como elemento desintegrador de la propiedad indivisa, cuya subsistencia hay que evitar¹⁰.

- b) Los bienes son un elemento que debe entrar en el comercio y, por tanto, hay que evitar que se encuentren en manos improductivas (las llamadas manos muertas). Los entes colectivos (valles, municipios, comunidades) deben deshacerse de ellos y fomentar su entrada en el comercio.
- c) El comercio se caracteriza por la transmisión, y ésta por el fomento de la venta de bienes, lo que llama a la temporalidad. Por ello, se reniega de los acuerdos sobre la propiedad de carácter perpetuo y se fomenta que la propiedad esté desvinculada a censos o gravámenes perpetuos.

En este contexto político-jurídico se insertaron las facerías en el siglo XIX y ello explica el duro régimen al que fueron sometidas por los Tratados de Límites. En ellos, se introdujeron las ideas liberales respecto de las propiedades (o facerías) afectadas por los nuevos linderos de cada Estado y pretendieron poner fin a los continuos conflictos de todo tipo existentes a lo largo de los Pirineos. Desde esta perspectiva jurídica, cabe señalar los siguientes aspectos que se desprenden de los Tratados de Límites respecto de las facerías:

1. Los Tratados ofrecen una visión negativa de los acuerdos sobre facerías. Resaltan que siempre han sido fuente de discordias y de enfrentamiento. Con el cumplimiento de los Tratados se pretende superar dicha posición de confrontación entre las entidades locales de ambos Estados. En algunos casos, los Tratados sí consiguieron poner punto y final a siglos de pleitos (como en la facería de Broto-Barèges, Pallaruelo, 1988).
2. Los Tratados pretenden hacer tabla rasa de los acuerdos y convenios existentes. Sólo van a permanecer vigentes aquellos que expresamente se citan en los Tratados. Los demás se declaran extinguidos.
3. Se mantienen vigentes algunos convenios y se resalta su carácter perpetuo por su excepcionalidad. Los nuevos convenios ya no podrán ser perpetuos, sino que tendrán un plazo máximo de cinco años. Incluso en la práctica muchos convenios que se declaran vigentes son renovados de forma quinquenal, a pesar de que se permitía su carácter perpetuo.

Por tanto la realidad que ha sobrevivido a lo dispuesto por los Tratados puede ser clasificada en tres clases de facerías¹¹ (Fairén, 1956):

9. Las ideas liberales afectaron de forma notable a los bienes comunales en toda España, tanto por su desaparición (desamortización) como con el cambio de derechos y de usos como puede verse en los estudios sobre Navarra (Zabala, 2004) o sobre Aragón (Sabio, 2002).

10. Un ejemplo son los pleitos de diversos pueblos del norte de Navarra para separarse de los Valles, reclamando su *parte* de los bienes comunes, como ocurrió entre 1924-1929 en el Valle de Salazar (Hernández, 1990).

11. Descheemaeker (1947) afirmó que del Tratado de Bayona de 1856 se derivaba la subsistencia de dos clases de facerías: las facerías perpetuas excepcionadas por el Tratado y las facerías locales que se someten a los dictados del Tratado y para las que la Comisión de los Pirineos pretendió imponer un modelo de “contrato de facería” en 1899, que, sin embargo, no fue seguido por los municipios.

7. La situación política de España y Francia en el s. XIX era muy diferente. En numerosos escritos se destaca que en los Tratados de Fijación de Límites de los Pirineos, España hizo una “cesión” excesiva de terrenos y de derechos a favor de Francia, lo que se achaca a la debilidad política del nuevo Estado liberal español.

8. Galán y Zubiri (2005) dan cuenta del gran número de facerías existentes en la Merindad de Pamplona, lo que es muestra de su implantación como régimen ordinario de aprovechamiento de pastos en común entre diferentes pueblos o valles.

- a) Facerías históricas reconocidas expresamente por los Tratados.
- b) Facerías históricas que han sobrevivido a los Tratados, aunque éstos no las han contemplado. La realidad, en algunos casos, se ha impuesto a los Tratados.
- c) Nuevas facerías derivadas de lo dispuesto en los Tratados y con los límites expresamente establecidos por éstos.

RECOPIACIÓN DE ACUERDOS FACEROS Y SU ESTADO ACTUAL

A lo largo de este estudio recopilatorio hemos llegado a identificar un número elevado de acuerdos entre valles, cuyas relaciones se esquematizan en la tabla 1. La figura 1 indica gráficamente la ubicación de las facerías en terreno español.

Tabla 1. Valles pirenaicos españoles y franceses y acuerdos faceros acordados entre ellos (incluyen acuerdos de uso de pastos, de abrevada y/o de paso).

Valles Españoles		Valles Franceses	
Navarra	Valle de Baztán/Bidasoa	Lapurdi	Pyrénées Atlantiques
	Valle de Erro	Alduides-Baigorri	
	Valcarlos	Uhart-Cize	
	Valle de Aezkoa	Haute Soule	
	Valle de Salazar	Vallée de Baretous	
	Valle de Roncal	Vallée d'Aspe	
Aragón	Valle de Ansó	Vall d'Ossau	Hautes Pyrénées
	Valle de Hecho	Val d'Azun	
	Valle del Aragón	Vallée de Saint Savin	
	Valle de Tena	Luz-Gavarnie	
	Valle de Broto	Barèges	
	Valle de Bielsa	Vallée de Campan	
	Valle de Benasque	Vallée d'Aure	
	Valle de Barrabés	Vallée du Louron	
Catalunya	Val d'Aran	Bagneres de Luchon	Comminges/ Haute Garonne
	Vall de Boí	Le Couserans	Ariège
	Vall Fosca	Vallée d'Oust	
	Vall d'Espert	Vicdessos	
	Valls d'Àneu	Vallée d'Aston	
	Vall de Cardós	Ax les Thermes	
	Vall Ferrera	Vallée d'Ortu	
	Vall del Segre (Cerdanya)	Monts d'Olmes	
	Vall de Núria	Donezan	
	Vall de Camprodon	Capcir	Pyrénées Orientales
		Carlit	
	Cerdagne		
	Haut Conflent		

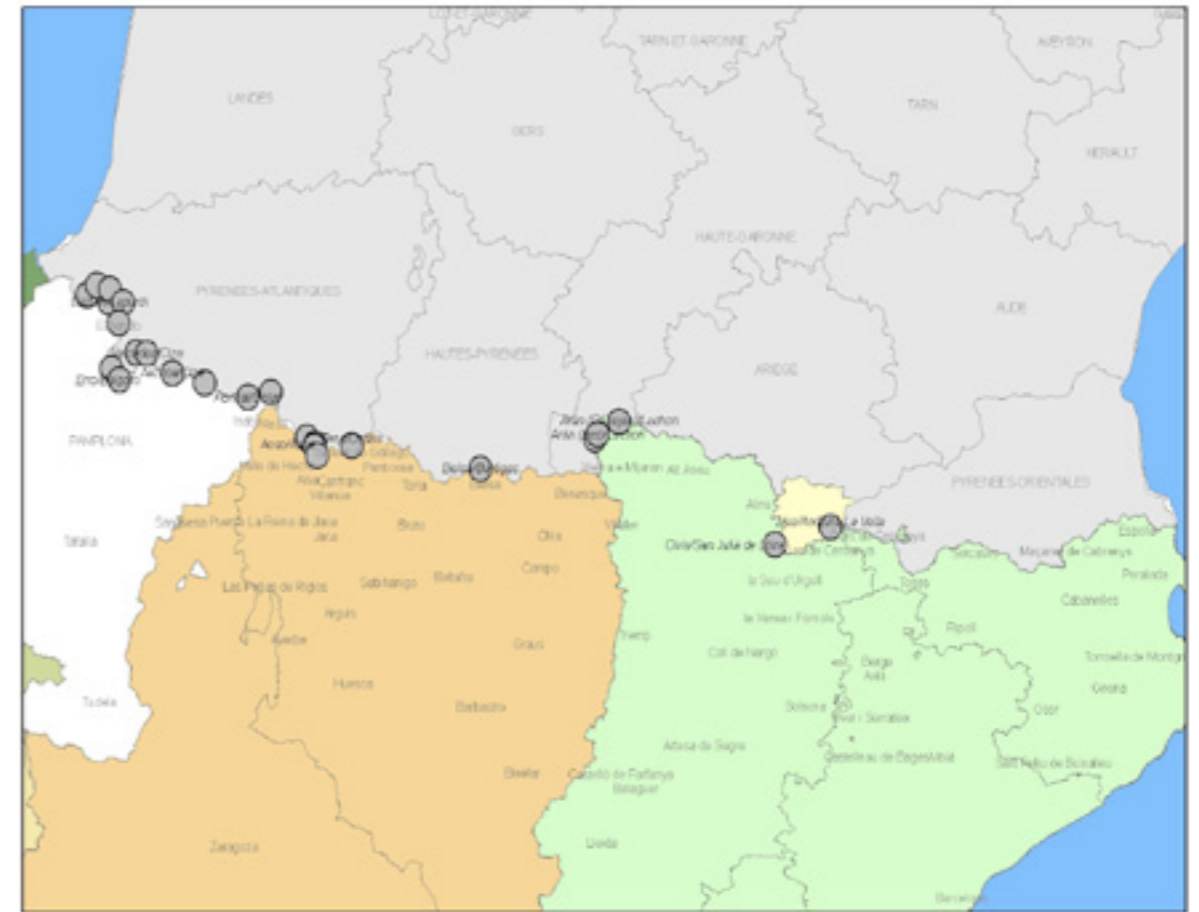


Figura 1. Localización de las facerías pirenaicas sobre terreno español.

Las siguientes tablas (2, 3 y 4) detallan los distintos acuerdos faceros suscritos entre valles ubicados en territorio español, francés y andorrano para regular el aprovechamiento de pastos de uso común o de otros usos (derechos de paso y abrevada, principalmente). La elaboración de estas tablas se basa en información recopilada en los propios Tratados de Bayona, en bibliografía existente (de matiz principalmente histórico) y en datos recogidos a través de distintos entes locales pirenaicos (Organismos, Juntas y Ayuntamientos principalmente).

Tabla 2. Facerías identificadas en terreno español. Año de los acuerdos más relevantes, localización y estado de vigencia.

Provincia	Años acuerdos	Valle/Comuna española	Valle/Comuna extranjera	Puerto	Vigencia
Navarra	1758-...-1959	Baztán	Lapurdi	5 km. de territorio baztanés fronterizo (7 acuerdos)	Sin uso
Navarra	1547-1614- 1856	Erro/Baztán	Baigorri	Alduides	Vigente
Navarra	1856	Erro	Baigorri (Urepel)	Sorogain	Vigente
Navarra	1800?	Valcarlos	Baigorri	Faja de 500m a cada lado de la frontera, de 8 km de largo	Sin uso
Navarra		Valcarlos	Cize (Arnéguy)	Barranco del Nive	Sin uso
Navarra	1556- 1856-...	Aezkoa	Cize	Puertos Grandes	Vigente
Navarra	1856	Salazar	Soule	Portillo de Jauregui-Sarrea, arroyo Ibarrondoa	Sin uso
Navarra	1375- 1856	Roncal	Baterous	Arlas	Vigente
Huesca	1535- 1862	Ansó	Aspe (Borce)	Estanés	Vigente (1993)
Huesca	1535- 1862	Ansó	Aspe	Aspé	Vigente (1993)
Huesca	1627	Aragón (Aisa)	Aspe	Candanchu, Espelunget, Rioseta	Vigente (1993)
Huesca	1526- 1862	Aragón (Jaca y Canfranc)	Aspe	Astún, La Raca, La Raqueta, Chinipres y Bordoseta	Vigente (1993)
Huesca	1328	Tena	Ossau	Sallent y Cueva de Saromons	Sin uso
Huesca	1384	Bielsa	Barèges		Sin uso
Lleida	1862	Arán (Canejan)	Luchon (Hòs)	Tartelong, Montanhòla, Cap de Canerilhes	Vigente
Lleida	1990	Arán (Les)	Luchon (Sòde)	Clòts de Coma, Còth de Bedurt de Coma, Plan dera Serra, Cap dera Tora, Tuc de Ponné	Vigente
Lleida	1995	Arán (Bossòst)	Luchon (Montauban)	Pales d'Estiuèra, Còth dera Montanheta	Vigente
Lleida	1355	Ferrera	Vicdessos		
Lleida	1494-1848	Valira (Civís)	Andorra (Sant Julià de Lòria)	Muntanya de Civís	Vigente
Lleida	1280	Cerdanya (Lles)	Andorra (Andorra La Vella)	Vallcivera	Sin uso

Tabla 3. Facerías identificadas en terreno francés. Año de los acuerdos más relevantes, localización y estado de vigencia.

Departamento	Años acuerdos	Valle/Comuna española	Valle/Comuna francesa	Puerto	Vigencia
Pyrénées Atlantiques	1758-...-1959	Baztán	Lapurdi	Comunas de Sare, St. Pee sur Nivelte, Ainhoa, Baigorri, Bidarroy, Espelette, Itxassou (7 acuerdos)	Sin uso
Pyrénées Atlantiques	1556- 1856-...	Aezkoa	Cize	Puertos Grandes	Sin uso
Navarra	1856	Roncal	Soule	Entre el portillo de Eraize y el portillo de Bimbalet	Sin uso (de paso)
Pyrénées Atlantiques	1627- 1818	Aragón (Aisa)	Aspe	Peyranere	Sin uso
Pyrénées Atlantiques	1862	Aragón (Jaca)	Aspe	Arnousse, Benou y Quitsoule (Aguachola)	Sin uso
Hautes Pyrénées	1328	Tena	Ossau	Portalet d' Anceu (Azun) y montaña de Turumon	Permitida (1995)
Hautes Pyrénées	1314- 1862	Tena (Quinón de Panticosa)	Saint-Savin	Marcadan, Jarret	Vigente (económico)
Hautes Pyrénées	1390- 1862	Broto	Barèges	Usona (7 montes: Puyasper, Espècières, Puirrabin, Secras, Plana la Coma, Puimorons y La Cuasta situados entre Viñamala y la Brecha de Roldán y los terrenos comunales de Gavarnie)	Vigente
Haute Garonne	- 1862	Arán (Canejan)	Luchon (Hòs)	Cap de Canerilhes, Serrat deth Pin, Plan de Piao, Terrèner, Potèria, Era Pica	Vigente
Haute Garonne	- 1862	Arán (Bossost)	Luchon	Ribassestes, Susartigues y Coradilles	Vigente
Haute Garonne	- 1862	Arán (Bossost)	Luchon	Pica deth Cric, Clòt de Sant Mamet, Soms de Regadès, Coret dera Clòta, Solan deth Portilhon	Sin vigencia
Haute Garonne	- 1862	Arán (Bossost)	Luchon	Hònt de berns, Es Lits	Vigente
Haute Garonne	- 1862	Arán (Bossost)	Luchon	Còth de Baretges, Pala Barrada, Aubas, Coma d'Arres	Vigente
Haute Garonne	- 1862	Arán (Bossost)	Luchon	Pales d'Estiuèra, Còth dera Montanheta	Vigente
Haute Garonne	- 1862	Arán (Aubert)	Luchon	Romingau	Sin vigencia (económica)
Haute Garonne	- 1862	Arán (Aubert)	Luchon	Còth de Ròies y dera Montjòia	Vigente
Haute Garonne	- 1862	Arán (Es Bordes)	Luchon	Polainer y Pales de Romingau	Vigente
Haute Garonne	- 1862	Arán (Es Bòrdes)	Luchon	Campsauze	Sin vigencia (económica)
Haute Garonne	- 1862	Arán (Vilamós)	Luchon	Còstes y Coma de Vilamòs, Pales de Romingau, Serrat de Vibores	Vigente
Haute Garonne	- 1862	Arán (Arró)	Luchon	Còstes y Hònts d'Arró, Pales de Campsaure, Serrat des Vibores	Vigente
Haute Garonne	- 1862	Arán (Arres)	Luchon	Còstes d'Arres, Pales d'Artigon	Vigente
Ariège	1293	Vall Ferrera (Alins y Tor)	Vic de Sos		Sin vigencia
Pyrénées Orientales	-1866	Cerdanya (Guils)	La Tour de Carol	Coll de la Somera, Roca de l'Àguila, bosc de Latour	Vigente
Pyrénées Orientales	-1866	Cerdanya (Llivia)	Angustringa	Cadira de capellà, Escubills, Sierra de Angustringa	Vigente
Pyrénées Orientales	-1866	Vall de Camprodón (Molló, Espinavell)	Py de Conflent	Montaña de Rojàs	Vigente

Tabla 4. Facerías identificadas en terreno andorrano. Año de los acuerdos más relevantes, localización y estado de vigencia.

Región	Año del acuerdo	Valle/Comuna española	Parroquia andorrana	Puerto	Vigencia
Andorra	-1856	Arcavell (Valls de Valira)	Sant Julia de Lòria	Solana d'Arcavell	Vigente
Andorra	1494-1848	Valira (Civís)	Sant Julià de Lòria	Comuna St. Julià	Vigente

DIVERSIDAD DE SITUACIONES, DIVERSIDAD DE ACUERDOS FACEROS

Del estudio de los diferentes acuerdos faceros, llama la atención la gran diversidad existente entre ellos. El aislamiento geográfico de los distintos valles pirenaicos, sus propias particularidades, y el transcurso del tiempo, han favorecido acuerdos peculiares, distintos unos a otros, con modos diferentes de entender la facería y afrontar su gestión. A continuación se exponen algunas de las diferencias observadas:

Respecto a la **propiedad del terreno** se producen tres situaciones distintas: 1) terrenos propios de un país en los que se permite pastar ganados de otro país, como los pastos de Arlés, en la facería Roncal-Baretous, 2) superficies de propiedad común de valles españoles y franceses, como las 7 000 ha. de propiedad indivisa gestionadas por la facería de Broto-Barèges, que corresponden administrativamente al municipio de Gavarnie, y 3) terrenos propiedad de un término municipal que se encuentran fuera de su territorio jurisdiccional. Es éste el caso del municipio de Panticosa, que tiene en propiedad la montaña de Jarret, ubicada en el valle francés de Saint Savin. Esta diversidad de situaciones conduce a que algunas facerías sean de uso recíproco, afectando a los rebaños de ambos estados, y otras sean de uso unilateral (permiso adquirido de un país sobre el otro). Si bien es cierto que, según se desprende de la información recogida, las cargas ganaderas casi siempre han sido mayores en la vertiente francesa, y por ello, muchas facerías recíprocas no lo son en la realidad, o lo son de un modo desequilibrado, existiendo mucha mayor carga pastante de ganado francés en territorio español que a la inversa.

La existencia de un **acuerdo económico** no se produce en todas las facerías. Y cuando estos acuerdos existen, son de diferente naturaleza. En algunos casos, los valles congozantes dan en arriendo el terreno, que se subasta públicamente, repartiéndose los beneficios a partes iguales (St.Savin-Panticosa; Broto-Barèges). En la actualidad, en St.Savin-Panticosa, por la localización de los terrenos faceros en la vertiente francesa, el pasto es subastado por las autoridades francesas a ganaderos franceses, pero el beneficio continúa repartiéndose al 50% con el municipio español. En el caso de Broto-Barèges, los pastos se han dejado de subastar y los ganaderos de ambos lados pastan los quintos más cercanos a sus lugares de origen¹². En otros casos, se paga un canon

por animal, que se establece según si es ganado mayor o menor (Aezkoa-Cize). En algunas facerías el pago en especies animales se ha traducido en el equivalente a su valor monetario en el mercado (Tributo de las Tres Vacas, Roncal-Baretous). Finalmente en algunos acuerdos faceros, se establece un contrato de explotación de los rebaños, en el que los animales son acogidos por pastores del valle vecino en régimen de “gazailhe” y se establecen pagos, que pueden ser en especies. Esta última práctica ya no está en uso en los acuerdos faceros vigentes, aunque, como veremos más adelante, se han realizado acuerdos similares hasta fechas recientes con ganado trashumante. Finalmente, en algunos casos, se han solucionado problemas ancestrales de propiedad de la tierra en terrenos vecinales mediante el pago de una indemnización de un país a otro y el mantenimiento de un acuerdo facero (registrado en los Tratados de Bayona).

La **temporalidad** del acuerdo es un asunto relevante en muchas facerías aunque, en ausencia de inspección, es difícil demostrar su cumplimiento, y ha sido, frecuentemente, fuente de conflictos entre valles. Las limitaciones estacionales son habituales (11 junio al 22 julio en Broto-Barèges, 10 de julio al 6 de agosto en Roncal-Baretous), probablemente porque lo que se pretende es que el ganado consuma las “primeras” o las “segundas yerbas”. En todo caso, las “segundas yerbas” (rebrote) en zonas de montaña, son muy dependientes de las condiciones climáticas reinantes (lluvias y temperaturas del mes de agosto), no estando las producciones de pasto garantizadas. Las limitaciones horarias o aprovechamientos “de sol a sol” también son frecuentes, en especial cuando se trata de ganado menor, que es habitualmente guiado en grandes rebaños y cuya estabulación nocturna puede resultar compleja (necesidad de grandes rediles). Muchos acuerdos faceros contemplan que el ganado debe partir de su término al salir el sol y regresar al mismo al finalizar el día. En ganado ovino de producción lechera, la vuelta del rebaño al redil posibilita también su ordeño. Finalmente, en algunos casos los acuerdos establecen un calendario interanual de aprovechamientos, como la facería Ansó-Borce, en la que el aprovechamiento de monte español por ganado francés sólo puede realizarse un año de cada seis, o el acuerdo Ansó-Aspé que establece un aprovechamiento un año de cada tres.

La existencia de **órganos reguladores** y de un **sistema de inspección** del cumplimiento de los acuerdos se contempla en la mayor parte de los tratados de compascuidad, sin embargo, en la actualidad, es habitual que no exista regulación ni inspección, y que se trate más de un evento tradicional con una relevante carga simbólica (y de interés turístico en algunos casos, Roncal-Baretous, Alós de Isil/Isil-Couflens) que de un acuerdo socioeconómico actualizado entre valles vecinos. En el Pirineo Occidental, los acuerdos faceros de Aezkoa-Cize y Erro-Baigorri establecen una fecha de entrada al pasto. A lo largo de ese día, considerado también un evento festivo, se cuenta el ganado y se inspecciona (marca de identificación y cartilla de vacunación), ratificándose entonces los acuerdos faceros existentes.

Eventualmente, aunque el principal objetivo de los acuerdos faceros es regular el uso de los pastos, también existen **otros aprovechamientos y derechos que regulan** algunos tratados. El derecho de abrevada y acceso al agua es uno de los más importantes, por estar estrechamente ligado al uso del pasto. En algunas facerías donde se per-

12. Según el Tratado de Bayona de 1862 se debían arrendar a subasta pública los siete quintos de la montaña de Usona por licitadores españoles y franceses y los beneficios y las cargas se repartían entre Broto y Barèges. En una última modificación, de 1954 se estableció que los españoles pastaran 4 de los 7 montes más próximos a la frontera española.

mite el aprovechamiento del pasto pero cuyas aguas naturales (ibones, fuentes, hoyas, regatas...) no están contempladas en la facería se han producido problemas serios de abrevada cuando las relaciones entre ambos países han sido tensas. En tiempos más modernos (siglo XIX), algunos acuerdos regulan incluso el aprovechamiento hidráulico del agua en territorio facero (ibón de Estanés, perteneciente a Ansó, aprovechado hidráulicamente por Borce) (Gorría, 1995).

El uso de maderas para la construcción de cabañas para pastores y el aprovechamiento de leñas para realización de fuegos (Valira-Sant Julià de Lòria) también es una constante en muchos acuerdos. En terrenos rasos, sin cubierta arbolada, se contempla el derecho de utilización de determinados refugios para el ganado, como cuevas y apriscos naturales (facería de Tena-Ossau) (Gorría, 1995).

En localidades geográficamente aisladas del resto de territorio nacional los derechos de paso han adquirido una importancia singular. En el valle de Arán, único valle español localizado en la vertiente septentrional del Pirineo, los acuerdos de derecho de paso han garantizado la libertad de tránsito a araneses y franceses, y el paso de animales y mercancías para acceder a superficies de pasto ubicadas en el otro país o a localidades de la propia nación. Estos acuerdos de paso son también frecuentes entre Andorra y la comarca del Alt Urgell en Lleida, y entre el pueblo español de Llivia, en la Cerdanya francesa, y sus convecinos. En este último ejemplo, el acuerdo incluso regula el uso agrícola de los suelos fronterizos entre Llivia y el pueblo francés de Angustringa, obligando a este último a dejar los suelos de cultivo en barbecho un año de cada dos, en concordancia con el paso de los ganados españoles. Indica el Tratado de Límites correspondiente que esta servidumbre quedará abolida tan pronto los habitantes de Angustringa ofrezcan a Llivia un camino permanente.

Finalmente, algunos tratados faceros muy antiguos, firmados en épocas de guerras (como la Guerra de los Cien Años, 1337-1453) recogen el compromiso de defenderse mutuamente de conflictos bélicos, comprometiéndose incluso a dar aviso de concentración de tropas (Bielsa-Barèges, Tena/Ossau-St.Savin). Según Gómez de Valenzuela (2006) las facerías más antiguas podrían entenderse como un primitivo sistema jurídico basado en la necesidad de supervivencia de ambas comunidades, que precisan la una a la otra y que hacen causa común frente al poder del estado naciente, que les impone guerras y prohibiciones indeseadas.

UN NUEVO MARCO POLÍTICO-JURÍDICO PARA LAS FACERÍAS INTERNACIONALES PIRENAICAS

Las facerías han sufrido los vaivenes comunes que afectan a la ganadería extensiva a raíz de la implantación de la sociedad industrial (primero) y de la sociedad industrializada y post-industrializada (después). En resumen, han sobrevivido a duras penas y sólo algunas facerías, las más conocidas, gozan aún de un estado de salud aceptable, aunque muchas otras han caído en un letargo o extinción, o cuando menos han sufrido diversas recaídas.

El siglo XX ha sido un siglo de mera supervivencia de algunas facerías. Por ello, según Fairén (1956), los estudios existentes sobre facerías son análisis históricos, de instituciones que parecen más “muertas” que “vivas”. Las cuestiones que surgen son: ¿Qué son las facerías hoy en día?, ¿deben seguir en esta situación de supervivencia y apego a la costumbre? La respuesta rotunda de los autores de esta ponencia es que las facerías tienen que cumplir un papel destacado y nuevo en el siglo XXI.

Esta respuesta obliga a exponer las coordenadas de la nueva situación política, administrativa, jurídica, económica y social en que deben desenvolverse hoy las facerías:

- a) **Situación política:** en lo que respecta a España, nos encontramos con un Estado social y democrático de Derecho y ante un Estado de las Autonomías, donde los municipios son piedra angular puesto que la Constitución les ha reconocido autonomía. Además nos encontramos dentro de la Unión Europea, a la pertenecen los Estados de España y Francia.
- b) **Situación administrativa:** las facerías se mueven en un entorno local, donde las entidades locales (municipios, valles, comunidades, mancomunidades, etc.) gozan de autonomía, es decir, de poder de decisión con un margen de libertad que supera notablemente los estrechos márgenes que les habían impuesto los Tratados de Límites (aún vigentes).
- c) **Situación jurídica:** ya no se admite un solo concepto de propiedad civil, e incluso la doctrina prefiere hablar de propiedades. En el caso español, la Constitución otorga además una protección especial a los comunales, vestigios actuales de la propiedad germánica o en común e indivisa. Por tanto, las facerías son bienes comunes e históricos que deben gozar de la mayor protección. La protección jurídica tiene, además, un añadido en el carácter transfronterizo de estas propiedades, aspecto que la Unión Europea potencia y es necesario resaltar.
- d) **Situación económica:** de nuevo se están haciendo notables esfuerzos, por diversas razones, a favor del desarrollo rural. Y la potenciación del desarrollo rural se encuentra en los textos jurídicos, planes, y programas económicos de la Unión Europea, de los Estados y de las Comunidades Autónomas. Asimismo la ganadería tiene un nuevo marco de referencia dentro de la normativa europea, estatal y autonómica.
- e) **Situación social:** nos encontramos ante un Estado participativo, donde los ciudadanos tienen derecho de participación y una conciencia social no sólo de su historia sino también de su presente y de la necesidad de revitalizar el mundo rural.

UN EJEMPLO DE MODERNIZACIÓN DE UNA FACERÍA: LOS VALLES DE AEZKOA Y DE CIZE

Según Arizkun (2004), el periodo de mayor vigencia y funcionamiento de los acuerdos faceros se produjo entre los siglos XV al XIX, debido, probablemente, a una mayor presión poblacional sobre la zona pirenaica y a la necesidad de regular el uso de las tierras comunales. Desde entonces, continúan firmándose diversos acuerdos fa-

ceros, pero su vigencia corresponde más a una inercia o costumbre que a una realidad meditada y de implicaciones socioeconómicas relevantes.

En consecuencia, la modernización de las facerías y su actualización no ha sido la tónica habitual en los últimos 150 años. Un caso inusual, ejemplarizante desde este punto de vista, es la facería existente entre el valle de Aezkoa, en Navarra, y el valle de Cize, en los Pirineos Atlánticos. Esta facería ha evolucionado de modo importante a lo largo de estos años, modernizándose y adaptándose a las necesidades de cada momento. Hemos tenido acceso a cinco tratados de compascuidad firmados en los últimos 168 años. A continuación se resume la evolución y los principales cambios registrados en estos acuerdos:

Año acuerdo	Principales características del acuerdo
1844 (antes del T.Bayona)	<ul style="list-style-type: none"> • Facería recíproca y de uso exclusivo para los habitantes de los dos valles implicados. • Se permite a 800 cabezas de ganado mayor francés, vacuno y caballo, pernoctar en zona española*. • Los franceses pagarán 3.900 reales/año por las 800 cabezas de ganado mayor. No se establecen pagos para el ganado menor. • Los animales fuera del territorio facero no deben ser prendados, sino se les debe hacer salir “con cuidado” para no romper la armonía entre ambas naciones. • Se establece la obligatoriedad de poner un guarda en terreno español, elegido por los españoles y pagado por los franceses. • El pastoreo de ovino continuará realizándose de <i>sol a sol</i>. Si pernocta de noche en terreno español y es prendado, deberá pagar una multa. • Duración del convenio de 4 años, pudiéndose alargar 4 años por acuerdo antes de que expire.
1861 (después T.Bayona)	<ul style="list-style-type: none"> • Marcación del ganado mayor francés que aprovechará la facería a primeros de julio. • El ganado mayor pagará 2,5 francos por cabeza. No se establecen pagos para el ovino. • Se podrá prender el ganado mayor francés no marcado y será objeto de multa. • Duración del convenio de 5 años. El convenio no será vigente hasta que no sea aprobado por las autoridades civiles superiores de cada nación.
1971	<ul style="list-style-type: none"> • Se establece un límite de 500 cabezas de ganado mayor y 5 000 cabezas de ovino adulto francés que puede aumentarse, previo acuerdo, en 2 000 ovejas más. • No hay límite censal para el ganado aezkoano en territorio francés. • Se establece una cuota de 75 ptas. por cabeza de ganado mayor francés o español, de 15 ptas. por cabeza de ovino adulto francés o español, y de 7,5 ptas. por cordero. • Los pastores deben indicar y avisar de las zonas de pastoreo elegidas. • Marcación del ganado mayor facero a fuego y solicitud de la guía de pastaje del ganado menor en una fecha señalada (mayo o primeros de junio). • Duración del convenio de 5 años.
1994	<ul style="list-style-type: none"> • Se establece un límite de 250 cabezas de vacuno, 35 cabezas de equino y 4850 cabezas de ovino adulto francés, que puede aumentarse, previo acuerdo, en 1400 ovejas más. • No hay límite censal para el ganado aezkoano en territorio francés. • Se establece una cuota de 6.608 ptas. por cabeza de ganado mayor francés o español, de 606 ptas. por cabeza de ovino adulto francés o español, y de 110 ptas. por cordero. Según ello, los ingresos esperados en el valle de Aezkoa son de 5.749.980 ptas y en el valle de Cize de 1.189.440 ptas. • Se establecen nuevos límites espaciales para el pastoreo del vacuno y el equino en terreno facero aezkoano. • Marcación del ganado mayor facero con collar y chapa y solicitud de la guía de pastaje del ganado menor en una fecha señalada (mayo o primeros de junio). • Se fijan unas multas por animal en caso de infracciones al acuerdo. • Duración del convenio de un año.

Año acuerdo	Principales características del acuerdo
2011	<ul style="list-style-type: none"> • Se establece un límite para el ganado francés de 350 cabezas de vacuno, 50 cabezas de equino, 6.700 cabezas de ovino y 1.170 corderos. • No hay límite censal para el ganado aezkoano en territorio francés. • Las cuotas anuales se incrementan según la media del IPC de los estados. Se acuerda una cuota base de 61,43 €/UGM de la que los ganados de Aezkoa abonan $\frac{1}{4}$ y los de Cize $\frac{3}{4}$ partes. Según ello, los ingresos esperados en el valle de Aezkoa son de 64.450,2 € y en el valle de Cize de 3.548 € • Se establecen también límites espaciales para el pastoreo del ganado ovino en terreno aezkoano y para el pastoreo del ganado aezkoano en territorio de Cize. • Marcación del ganado mayor facero con collar y chapa y solicitud de la guía de pastaje del ganado menor en una fecha señalada (mayo o primeros de junio). • Se exige la entrega de los justificantes de saneamiento del ganado vacuno (brucelosis y tuberculosis) y ovino (brucelosis y agalaxia) antes de acceder a la facería. • Se designan áreas para el suministro de sal y/o de complementos alimenticios al ganado. • Se fijan unas multas por animal en caso de infracciones al acuerdo y por maltrato animal. • Se acuerda estudiar conjuntamente medidas de mejora de pastos en las áreas faceras. • Duración del convenio de un año y redacción del tratado en tres idiomas (español, francés y euskera).

* Se establece este permiso para evitar los frecuentes roces entre franceses y españoles por la pernocta de ganado francés en terreno español y su consecuente prendamiento. El control de los movimientos en pastoreo de ganado mayor es más complicado que el del ganado menor, guiado siempre por un pastor.

El primer convenio estudiado (1844) establece un límite de cabezas pastantes y una cuota de pastoreo para el ganado mayor francés. A pesar de tratarse de una facería recíproca, ya desde estos acuerdos iniciales se comprueba que la carga pastante de ganado francés es mucho mayor que la de ganado español. Las limitaciones establecidas a los censos, los permisos de pernocta y la contratación de guardas españoles con dinero francés así lo indican. En el convenio de 1861 se obliga al marcaje de los animales de la facería en días determinados, para tener un mayor control censal. En el convenio de 1971 se definen límites numéricos para el ganado ovino y obligatoriedad de presentación de guías de pastaje para esta especie animal. También empiezan a controlarse las zonas de pastoreo, y más adelante, en 1994, se definen límites imaginarios para cada especie animal, a fin de ordenar el pastoreo dentro de la zona facera.

Los convenios de estos últimos decenios se han acordado y firmado anualmente. Las cuotas por animal pastante han aumentado de forma importante en estos últimos 30 años, obteniendo el valle aezkoano importantes ingresos que pueden revertir en mejoras (de pastos, infraestructuras...) en los propios comunales. Finalmente, el último acuerdo suscrito incluye importantes novedades que suponen un paso adelante en la modernización de la facería, como son: el control sanitario de las principales enfermedades que afectan al vacuno y al ovino, el bienestar animal (se contempla la denuncia por maltrato de animales) y la mejora de pastos (propuestas conjuntas de mejoras, adecuación de lugares específicos para el aporte de suplementos alimentarios, etc).

REFLEXIONES DE FUTURO

Tras analizar la historia y la situación actual de las facerías esta ponencia pretende abrir un nuevo marco de reflexión sobre el futuro de las mismas. Por ello, planteamos para su debate algunas reflexiones, analizando cuestiones generales que puedan afectar a todas o casi todas ellas.

1.ª reflexión: hacia la valorización de las facerías

Para valorizar las facerías es preciso actualizar su régimen jurídico a las nuevas circunstancias, pero sobre todo es necesario modernizarlas a fin de que constituyan un ejemplo de explotación ganadera de pastos dentro de un entorno ambiental adecuado. Hay que devolver al municipio su papel decisor y apoyarle desde el exterior (Europa, España y Francia, Comunidades Autónomas y Regiones, Departamentos y Provincias) y promover la potenciación de sus valores y fomentar su modernización desde todos los puntos de vista.

Como aspectos concretos de valorización de las facerías, cabe apuntar los siguientes:

- a) Creación de una conciencia pirenaica común sobre las facerías a ambos lados de los Pirineos. No se trata de uniformizar el régimen de cada facería, porque corresponderá a cada grupo de entidades locales decidir su régimen específico, pero sí crear esa “conciencia” de singularidad, de pervivencia, de perseverancia y de potenciación continua y continuada hacia el futuro. No se trata de crear más estructuras administrativas pero tal vez algún tipo de Asociación de Facerías Pirenaicas en orden a potenciar estos valores y defender sus intereses comunes pudiera ser conveniente.
- b) Necesidad de valorización de las facerías en dos aspectos elementales y escasamente reconocidos: oferta de alimento de calidad y trazabilidad asegurada para el ganado, y de bajo coste para el ganadero, y promoción de una actividad pastoral que permite el mantenimiento del paisaje en mosaico y la conservación del medio natural y de comunidades vegetales protegidas. A ello se hará referencia de forma específica en las siguientes reflexiones.
- c) Añadir nuevos significados y/o funciones a las facerías. Por un lado, las facerías cumplen una función ambiental, que es preciso valorizar y acentuar. Por otro, en el marco de la Unión Europea, es preciso introducir a las facerías dentro de los esquemas de los Planes y Programas de Desarrollo Rural, que permitan obtener ayudas no sólo individuales sino también en razón de la propiedad colectiva en orden a su mejora y preservación¹³.

- d) Acometer el estudio de la financiación de las facerías a los efectos de su preservación y mejora. Será preciso determinar si los cánones actuales por uso son adecuados, así como el destino de parte de dichos cánones a la mejora de los bienes faceros.

Las facerías no son un reducto histórico sino una realidad presente y conveniente. Por tanto, no sólo debe mantenerse y potenciarse la revitalización de las facerías actualmente existentes, sino también fomentar la creación de otras nuevas donde confluyan intereses de ambos lados del Pirineo. Por tanto, es preciso facilitar la constitución, siempre que así se estime, de nuevas facerías.

2.ª reflexión: función medioambiental de las facerías

Fomentar la subida de los rebaños a los pastos de altura, donde se localizan la mayor parte de enclaves faceros, es asegurar el mantenimiento de las comunidades vegetales protegidas y la sostenibilidad del medio natural a medio y largo plazo. Ante un escenario de cambio climático, como el que nos encontramos actualmente, el mantenimiento de paisajes en mosaico y de un monte aprovechado bajo la premisa de la sostenibilidad, es garantía de perpetuación. El abandono de las actividades agropecuarias y forestales supone la acumulación descontrolada de biomasa combustible que acrecienta el riesgo de incendios ante unas condiciones climáticas cambiantes (periodos de sequía más intensos, mayores temperaturas...). Es obligado, por ello, realizar un breve análisis y reflexionar sobre la situación actual de la ganadería extensiva y la dinámica de uso de los puertos de montaña en ambos lados de la frontera franco-española.

A lo largo de este último siglo, los censos de ganado han descendido rápidamente y lo seguirán haciendo, en la vertiente española del Pirineo. En la figura 2 se detallan las circunstancias y factores que están conllevando a este menor aprovechamiento de los pastos de montaña en nuestro país. Este abandono progresivo afecta a los pastos de altitud, correspondientes en su mayor parte al piso subalpino, y a los pastos intermedios (correspondientes al piso montano y altimontano). Estos pastos herbáceos son seminaturales, originados por la acción continuada del hombre y de sus ganados desde tiempos remotos (Montserrat y Fillat, 1990). El abandono de la práctica pastoril, a falta de poblaciones suficientes de herbívoros salvajes que puedan realizar esta labor, propicia la matorralización de estas comunidades vegetales y la recuperación del bosque. En la vertiente francesa la situación es distinta. La actividad ganadera no está sufriendo

gestión y el control de la nueva política rural para el período 2007-2013. El Reglamento 1698/2005, de 20 de septiembre regula las medidas de desarrollo rural que se estructuran en cuatro ejes. Eje 1: mejora de la competitividad del sector agrícola y forestal. Eje 2: mejora del medio ambiente y del entorno rural. Eje 3: calidad de vida en las zonas rurales y diversificación de la economía rural. Eje 4 LEADER: de adopción de estrategias locales de desarrollo mediante asociaciones entre el sector público y privado, denominadas “grupos de acción local” (Sarasíbar, 2007).

13. El Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural (FEADER) creado mediante el Reglamento 1290/2005, tiene por objetivo reforzar la política de Desarrollo Rural de la Unión Europea y mejorar la

el declive tan intenso que se observa en los Pirineos españoles. En el país galo, los mayores censos ganaderos se concentran en el departamento de los Pirineos Atlánticos, que por sí solo acoge al 46% de las explotaciones ganaderas del Pirineo francés. Ello se traduce, en ese sector del macizo pirenaico, en la presencia de 34.000 cabezas de vacuno de carne y 330.000 ovejas de leche. Valores comparativamente muy superiores a los censados estos últimos años en, por ejemplo, los valles occidentales españoles de Roncal y Aezkoa que, en total, acogen en sus estivas 1.700 cabezas de vacuno y 21.300 cabezas de ovino.

Así, mientras las cargas ganaderas en los puertos franceses de Soule y Cize se acercan a valores de 2 UGM/ha y varias explotaciones deben acceder a pastos de verano en otros departamentos franceses geográficamente alejados (Hautes Pyrénées, Haute Garonne), en la vertiente española se está produciendo una infrautilización general del pasto. Existe pues, una gran oportunidad de revaloración de los acuerdos faceros¹⁴, dadas las necesidades e intereses de ambas partes.

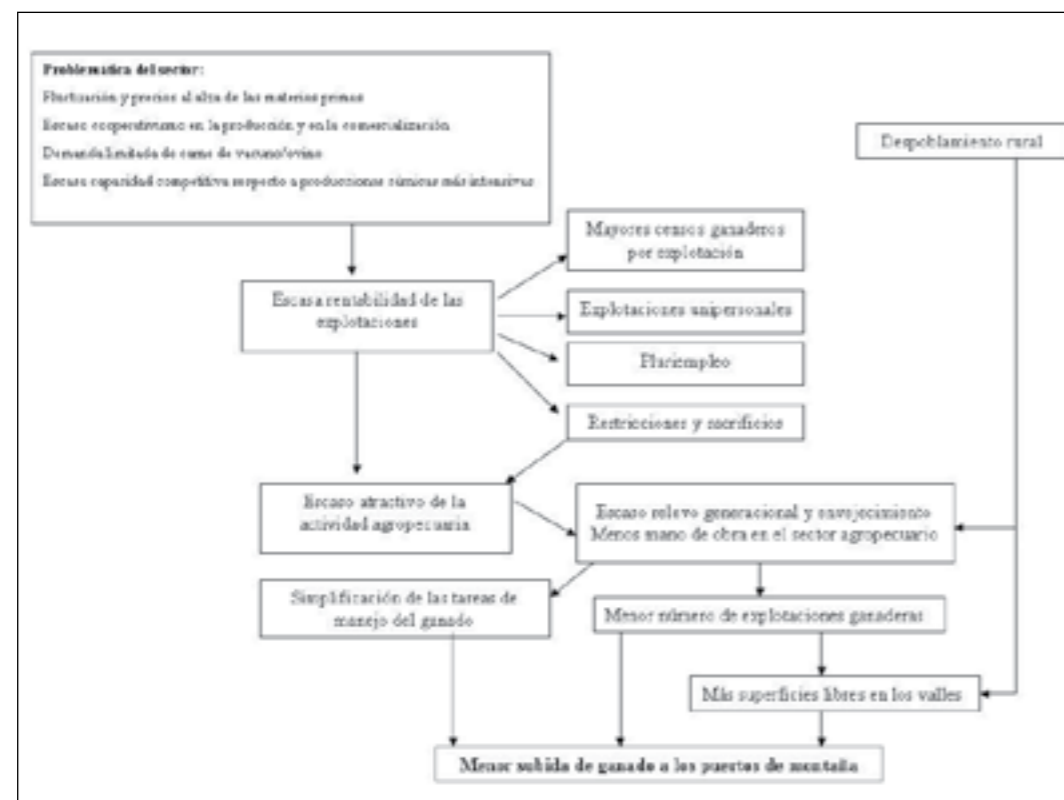


Figura 2. Factores que han ocasionado un descenso de los censos de ganado pastante en los puertos de montaña del Pirineo español. FUENTE: Elaboración propia.

3.ª reflexión: la persistencia de las facerías debe pasar por su modernización

Las facerías tienen que acomodarse a los tiempos actuales. Ello debe conducir a una modernización de los tratados faceros en todos los sentidos. En primer lugar, es preciso cumplir con la normativa sobre sanidad animal que viene impuesta por los ordenamientos jurídicos de la Unión Europea, de España y de Francia (González, 2004). No debiera permitirse el funcionamiento de facerías no modernizadas en cuanto a sanidad animal dado que se corre el riesgo de que se conviertan en una especie de “tierra de nadie”, donde no exista o exista un escaso control sanitario sobre el ganado. En este sentido, es especialmente significativa la situación que ocurre en el Valle de Arán, donde el Conselh Generau d’Aran obliga a los rebaños trashumantes que aprovechan sus pastos a obtener la máxima calificación sanitaria para hacerlo. Esto ha ocasionado que algún rebaño no haya podido entrar en las estivas del Valle de Arán en los últimos años, mientras que en sus áreas faceras los animales pasan de un Estado a otro sin requerimientos específicos desde el punto de vista sanitario.

Asimismo, es necesario acometer la realización de infraestructuras ganaderas (accesos, puntos de abrevada, refugios, etc.) que garanticen el buen funcionamiento de las actividades pastoriles. Ello requiere de inversiones y, por tanto, de la correspondiente financiación. Dicha financiación puede ser externa, por ejemplo, con cargo a fondos de la Unión Europea, de los Estados o de las Comunidades Autónomas-Regiones o Departamentos, pero también interna, por medio de las cuotas de pago que se efectúan, o que deban imponerse, por el uso de los pastos por el ganado facero. El abono de cuotas de aprovechamiento, tal como se viene efectuando ya en algunas facerías, permitiría revertir el dinero en inversiones ganaderas en lugares del Pirineo donde la financiación para acometer estas actuaciones es muy baja y las infraestructuras disponibles se encuentran en estado deplorable.

4.ª reflexión: posibilidad de constituir *bancos de pastos* en los Pirineos

Es cierto que los acuerdos de compascuidad son entre valles y pueblos de ambas vertientes de los Pirineos y que en muchos casos imponen como requisitos gozar de la condición de vecino del valle o municipio. La cuestión es si este interés histórico estrictamente local puede ser superado en la actualidad. Es decir, si las facerías pueden ser ampliadas tanto en su extensión como respecto de las posibilidades de aprovechamiento o, dicho de otro modo, si los acuerdos locales pueden pasar a una escala superior.

Las razones que motivan esta reflexión se encuentran en que la ampliación de los términos estrictos de los terrenos faceros permitiría un mejor aprovechamiento y un ámbito de actuación más amplio desde el punto de vista de los pastos, poniéndose freno a la pérdida de superficie ganadera o incorporando al aprovechamiento de pastos superficies que en este momento no están aprovechadas y que se están degradando. También el hecho de tener una superficie más amplia de pastos puede facilitar unos aprovechamientos ganaderos mejor dotados en cuanto a infraestructuras y que

14. Tal como hemos visto para la facería de Aezkoa-Cize.

podieran asimismo gozar de una mayor financiación no sólo local sino sobre todo de la Unión Europea, en cuanto a nuevos proyectos transfronterizos de desarrollo rural, ganadero y ambiental.

En el ámbito agrario se ha utilizado como figura jurídica la del “banco de tierras”, que permite crear grandes superficies de explotación por aquellas personas directamente implicadas en la agricultura y ganadería y evitar el abandono de superficies sin cultivo agrícola o aprovechamiento ganadero. La experiencia es conocida en España, donde existen diversas leyes autonómicas que han creado bancos de tierras (Aragón, Asturias, Galicia). En el caso de Aragón la Ley 3/1987, de 10 de marzo, calificada de polémica, incomprensible, de origen municipal y con finalidad antidesamortizadora (López, 1989) creó el banco de tierras de Aragón. Todas estas leyes autonómicas persiguen objetivos muy similares a los aquí enunciados, aunque resaltan más el aspecto agrícola que el ganadero y, además, encomiendan la gestión del banco de tierras a un organismo o entidad autonómicas (Tudela, 1987).

Dentro de las reflexiones de esta ponencia tendentes a potenciar el futuro de las facerías es de interés resaltar la conveniencia de buscar nuevas fórmulas, entre las que pudiera estar la de los “bancos de pastos”. Se trata de encontrar nuevos instrumentos al servicio de los objetivos de paliar la disminución de los terrenos dedicados a pastos, mantener estas superficies de gran valor económico y ambiental y fomentar un aprovechamiento ganadero más adecuado y óptimo. Así, esta propuesta que se trae aquí a debate persigue la creación en el Pirineo de nuevos espacios ganaderos que se sigan cimentando sobre las bases históricas de las facerías: la compascuidad, la concordia, la costumbre y la gestión a nivel local.

UN CASO PARTICULAR: LA TRANSHUMANCIA TRANSFRONTERIZA

La existencia de rebaños cruzando las fronteras en busca de buenos pastos de invierno ha sido también una actividad pirenaica que en la actualidad se encuentra prácticamente extinguida. Hemos recopilado información sobre la existencia de algunas trashumancias transfronterizas, realizadas en el Pirineo Central y en el Occidental. En el Pirineo Central está descrita una trashumancia descendente, de ganado francés invernante en los llanos del centro de Aragón (Pallaruelo, 1988). Esta trashumancia desapareció a principios del siglo XIX, pero llegó a ser muy importante en siglos anteriores, especialmente en el siglo XVIII cuando en el país vecino aumentaron los censos de ovino merino favorecidos por la política del ministro francés Colbert y sus seguidores, en busca de lana entrefina de calidad. En dicho periodo, la cabaña de ovino español trashumante era también muy elevada y se produjeron diversos conflictos entre ganaderos de ambas nacionalidades, a pesar de existir ingresos por derecho de paso en los concejos de los valles pirenaicos (el puerto de Bielsa era atravesado por 5000 ovejas francesas que pagaban derechos de paso al concejo de Tella).

En el Pirineo Occidental, los ganaderos de ovino latxo del valle de Aezkoa han realizado hasta tiempos muy recientes una trashumancia consistente en aprovechar las estivas del comunal del valle de Aezkoa en verano e invernar en distintas regiones francesas próximas (Baja Navarra, Zuberoa, Landas...). Los acuerdos, de tipo verbal, establecían, por ejemplo, que tanto los corderos nacidos en Francia como la leche producida durante la invernada quedaran en propiedad del arrendatario francés. Ello ha dado lugar a situaciones muy curiosas, como el hecho de que la leche de un mismo rebaño se comercializara para la realización de quesos de Roquefort y para la producción de quesos de denominación Idiazábal.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la información facilitada por diversas entidades como los Ayuntamientos de Llívia, Guils de Cerdanya, valle de Benasque, valle de Baztán, Junta General del Valle de Aezkoa, Junta General del Valle de Roncal y Dpto. de Desarrollo Rural, Industria, Empleo y Medio Ambiente del Gobierno de Navarra. También agradecemos la ayuda prestada por diversos profesionales que han aportado información de gran valor para la elaboración de esta ponencia: Gemma Arjó (Conselh Generau d'Aran), Ignasi Ros (Ecomuseu de les Valls d'Àneu), Guillem Pastoret (Asociació de Ramaders de la Vall de Camprodón) y Enrique Ramón (Mancomunidad del Valle de Broto), entre otros. Sin la colaboración de todos ellos este trabajo recopilatorio no hubiera podido realizarse. Finalmente, un afectuoso agradecimiento al Dr. Federico Fillat por participar en la gestación de algunas ideas expuestas en esta ponencia.

BIBLIOGRAFÍA

- AIZPUN J. (1958) Comunidades de bienes. Facerías. Vecindades forales. Servidumbres. En: *Curso de Derecho Foral Navarro, T. I, Derecho Privado*, pp. 91-105. Pamplona, España: Ed. Estudio General de Navarra.
- ALLI J.C. (1989) *La Mancomunidad del Valle del Roncal*. Pamplona, España: Ed. Gobierno de Navarra.
- ARIZKUN A. (2004) Las facerías en el Pirineo Navarro: una perspectiva histórico-económica. *Jura Vasconiae*, 1: 299-314.
- ARVIZU de F. (1992) *El Conflicto de los Alduides (Pirineo Navarro): estudio institucional de los problemas de límites, pastos y facerías según la documentación inédita de los archivos franceses (siglos XVII-XIX)*. Pamplona, España: Ed. Gobierno de Navarra
- ARVIZU de F. (1997). *La Solución institucional del conflicto fronterizo de los Alduides (Pirineo Navarro): estudio de las negociaciones entre Francia y España desde 1829 a la conclusión del Tratado de Límites de 1856, según la documentación inédita de los archivos de los Ministerios de Asuntos Exteriores de Francia y España*. Pamplona, España: Ed. Gobierno de Navarra.
- ARVIZU de F. (2001) Frontera y fronterizos: el caso de los Alduides (Pirineo de Navarra). *Anuario de Historia del Derecho Español*, LXXI, 9-44.
- BOURRET C. (1995) *Les Pyrénées centrales du IXe au XIXe siècle. La formation progressive d'une frontière*. Aspet, France: Pyrègraph Éditions.
- CAVAILLÈS H. (1986) Une Fédération Pyrénéenne sous l'Ancien Régime. En: *Lies et Passeries dans les Pyrénées*. Tarbes, France.
- COTS P. (2003) *Los derechos de paso, pastos y aguas entre Aran, Comenges y Coserans y su relación con los tratados de Lies i Patzeries*. Viella, España: Conselh Generau d'Aran.
- DESCHEEMAERKER J. (1947) Les Faceries Pyrénéennes et du Pays Basque. *Eusko-Jakintza*, 2.
- FAIRÉN V. (1956) *Facerías internacionales pirenaicas*. Madrid, España: Ed. Instituto de Estudios Políticos.
- FAIRÉN V. (1961-62) Notas para el estudio de las facerías internacionales pirenaicas. *Pirineos*, 59-66, 145-163.
- FERNÁNDEZ DE CASADEVANTE C. (1985) *La frontera hispano-francesa y las relaciones de vecindad*. Ed. Universidad del País Vasco.

- GALAN M. y ZUBIRI A. (2005) *Los términos faceros de la merindad de Pamplona. Estudio histórico-jurídico*. Pamplona, España: Ed. Gobierno de Navarra.
- GÓMEZ DE VALENZUELA M. (2006) *Diplomatario tensino (1315-1700)*. Zaragoza, España: Ed. Real Sociedad Económica Aragonesa de Amigos del País.
- GONZÁLEZ I. (2004) *Sanidad animal y seguridad alimentaria en los productos de origen animal*. Granada, España: Ed. Comares.
- GORRÍA A.J. (1995) *El Pirineo como espacio frontera*. Zaragoza, España: Ed. Gobierno de Aragón.
- HERNÁNDEZ C. (1990) *Régimen jurídico-administrativo de la Universidad del Valle de Salazar*. Pamplona, España: Ed. Gobierno de Navarra.
- LABORDE L. (1996) *Canfranc. Des romains au tunnel*. Biarritz, France: Ed. Terres et Hommes du Sud.
- LÓPEZ F. (1989) Los caracteres de la Ley Aragonesa del Banco de Tierras. *Revista de Estudios de la Administración Local y Autonómica*, **241**, 41-56.
- MONTSERRAT P. Y FILLAT F. (1990) The systems of grassland management in Spain. En: Breymer A (ed.) *Managed grasslands: Regional studies*, pp. 37-70. The Netherlands: Ed. Elsevier
- PALLARUELO S. (1988) *Pastores del Pirineo*. Madrid, España: Ed. Ministerio de Cultura
- PALLARUELO S. (1993) *Pirineo Aragonés. Cuadernos de la Trashumancia nº 6*. Madrid, España: Ed. ICONA.
- ROIGÉ X., CÒTS P. Y ROS I. (1996) *De la comunidad local a las relaciones internacionales. Los tratados de facería en el Pirineo catalán*. VII Congreso de Antropología Social, pp. 135 -152. Zaragoza, España: Instituto Aragonés de Antropología.
- SABIO A. (2002) *Tierra, Comunal y capitalismo agrario en Aragón (1830-1935)*. Zaragoza, España: Ed. Institución Fernando el Católico.
- SARASIBAR M. (2007) *El Derecho Forestal ante el cambio climático: las funciones ambientales de los bosques*. Cizur Menor, España: Ed. Thomson-Aranzadi.
- TUDELA J. (1987) Comunidad Autónoma y Reforma Agraria: La Ley del Banco de Tierras de Aragón. *Revista de Administración Pública*, **114**: 415-452.
- ZABALA A. (2004) Del concejo al municipio: la propiedad comunal en la Navarra moderna. *Jura Vasconiae*, **1**: 227-252.
- ZUBIRI A. (2004) Facerías y faceros: una perspectiva histórico-jurídica. *Jura Vasconiae*, **1**: 253-298.

Efectos de la aplicación de fertilizantes de nueva generación en la dehesa toledana: producción y diversidad de pastos herbáceos

Effect of new fertilizers at the dehesa: diversity and yield of herbaceous pastures

C. LÓPEZ-CARRASCO¹ / M. J. GÓMEZ¹ / J. M. CARPINTERO² / J. BRAÑAS² / S. ROIG³

¹C.I.A. "Dehesón del Encinar", J.C. Castilla-La Mancha, 45560 Oropesa, Toledo. lcarrasco@local.jccm.es
²Departamento I+D+i. Fertiberia S.A. Avda. Francisco Montenegro s/n CP21001 Huelva. josecarp@fertiberia.es
³Dpto. Silvopascicultura. U. Politécnica de Madrid, 28040 Madrid. sonia.roig@upm.es

Resumen: La dehesa es un conocido sistema silvopastoral muy diverso, tanto en componentes como en producciones. Es precisamente en esa obtención de multiplicidad de productos en un medio ecológico difícil donde este sistema ha encontrado su mejor estrategia para subsistir durante casi un milenio: *producir conservando*. La fertilización puede ser un tratamiento interesante para mejorar las diferentes producciones de la dehesa así como para mejorar el vigor del arbolado. Con el objetivo de evaluar el efecto de varios fertilizantes de nueva generación sobre la producción herbácea de la dehesa se analizó la cantidad y diversidad de los pastos sometidos a tres tratamientos: control (pasto natural), fertilización con 36 UF de P₂O₅ a través de un fertilizante complejo NPK (de bajo contenido en N) y con fosfatos naturales de Gafsa con igual dosis de fósforo. El abonado se realizó en superficie en otoño de 2009 y 2010 y se analizaron las producciones de primavera de 2010 y 2011, de tres muestreos por año. Los mejores resultados de producción se obtuvieron con la aplicación del complejo NPK y la riqueza específica y la diversidad mejoraron con la aplicación de los dos fertilizantes.

Palabras clave: Fosfatos naturales, NPK, composición botánica.

Abstract: Fertilization can be an interesting treatment to improve the different productions of the dehesa and to improve tree vigour. In order to evaluate the effect of different fertilizers of new generation on herbaceous pasture diversity and yield, in this work we analyzed with three treatments: control (natural pastures), fertilization with 36 UF of P₂O₅ of a complex NPK and low content of N, and natural phosphates. Fertilization was applied in autumn of 2009 and 2010 and we analyzed herbaceous productions in springs of 2010 and 2011 o three controls per year. The best results of production were obtained with the NPK application; also, pasture specific richness and diversity improved with the applied.

Key words: Natural phosphates, NPK, botanical composition.

INTRODUCCIÓN

La aplicación de la fertilización fosfórica para la mejora de la producción y calidad de los pastos herbáceos en la dehesa es una práctica que ha dado buenos resultados en general, especialmente con la incorporación de superfosfato de cal, y que ha sido objeto de numerosos estudios. En nuestra zona, aunque en los últimos años hemos realizado algún experimento con roca fosfórica (López-Carrasco y Robledo, 2008), la dependencia de su efectividad está condicionada por el régimen de precipitaciones y las características edáficas, de ahí la necesidad de contar con experimentos de mayor duración. Por otra parte, los fertilizantes complejos en los que se incorpora N no suelen ser utilizados para la mejora de los pastos herbáceos en la dehesa, por lo que apenas existe información al respecto. La necesidad de mayor eficiencia en el empleo

de los fertilizantes, la búsqueda de nuevos productos compatibles con la producción ecológica y el abaratar los costes de producción, dan como resultado la aparición de nuevos productos con efectos que deben ser analizados en diferentes situaciones ecológicas y de gestión. El objetivo de este trabajo es evaluar el efecto de dos fertilizantes fosfóricos, poco testados en nuestra zona, sobre la producción de los pastos herbáceos, la riqueza específica y la diversidad en la dehesa.

MATERIAL Y MÉTODOS

El experimento se realizó en el CIA Dehesón del Encinar, Oropesa, Toledo, en tres parcelas adyacentes de cinco ha de superficie con relieve suave y densidad baja del arbolado (17-20 pies/ha), con la encina (*Quercus ilex ssp ballota*, Lam.) como especie dominante. El suelo es franco-arenoso, pH ácido, bajo contenido en MO, N y moderado en P (López-Carrasco *et al.*, 1999). La vegetación herbácea de la parcela, se corresponde con pastos de anuales subnitrofilos (posíos), de la clase fitosociológica *Stellarietea mediae* y el orden *Sisymbrietalia officinalis*, pastada por ovejas de raza Talaverana. Los tratamientos de fertilización probados fueron: control sin fertilizante, con 36 U.F. de P_2O_5 en forma de roca fosfórica (26,5 % de P_2O_5) y abono complejo NPK (8-24-8) con la misma dosis de P que el tratamiento anterior. La fertilización se realizó en los otoños de 2009 y 2010 con abonadora centrífuga después de las primeras lluvias.

La roca fosfórica es una fosforita en cuya estructura cristalina algunos de los grupos fosfato (PO_4) han sido sustituidos de manera natural por grupos carbonato (CO_3). Esta sustitución determina en la roca de Fertigafsa una mayor superficie específica: 22,5 m^2/g frente a 12 m^2/g de otros fosfatos sedimentarios y 2 m^2/g en el caso de fosfatos de origen volcánico. En la preparación del fertilizante, los procesos exclusivos de micronización del mineral (partículas de diámetro inferior a 0,063mm) y microgranulación previos a la granulación final, confieren una mayor solubilidad del P contenido. El producto presenta finalmente una solubilidad al ácido fórmico del 75-80% del P_2O_5 total (frente a valores menores al 60% en otros fosfatos sedimentarios e inferiores al 16% para fosfatos de origen volcánico). Fertigafsa es también, por su mayor superficie específica y por la micronización, una efectiva fuente de Ca. Como fuente convencional se seleccionó el equilibrio NPK 8-24-8. Este fertilizante complejo contiene sólo P soluble y asimilable de forma inmediata, al proceder éste sólo de ácido fosfórico y, además, una concentración baja de N (equilibrio 1:3:1, con N en forma ureica o amoniacal, evitando el aporte de N directamente disponible y lavable).

Al inicio (6 de abril 2010 y 8 de abril 2011), mitad (4 de mayo 2010 y 27 de abril 2011) y final (27 de mayo 2010 y 24 de mayo 2011) de la primavera, se realizaron los muestreos para estimar la producción de pasto, para lo cual se utilizaron 15 jaulas de exclusión de 2 m^2 de superficie interna por parcela y un número variable (entre uno y cuatro) de marcos de muestreo de 50 x 50 cm, según la disponibilidad de hierba en la fecha de muestreo. Para estimar la composición específica de la hierba, se cortó un marco por jaula a mitad de la primavera, y estado fenológico de floración-fructifica-

ción de la mayoría de las especies. Las muestras destinadas a estimar la producción pascícola, se desecaron en estufa de aire forzado a 80°C durante 24 horas. En las muestras reservadas para estimar la composición florística, se realizó la separación manual, pesaje y desecación de cada una de las especies encontradas a 80°C y durante 24 horas.

Los datos correspondientes a la producción de pasto fueron analizados mediante ANOVA, considerando el tratamiento de fertilización, el año y el momento de la primavera como factores principales. Se utilizó la transformación logarítmica de los datos cuando no se cumplían los requisitos de homocedasticidad. La riqueza de especies, diversidad y contribución a la producción de materia seca de las leguminosas, gramíneas y otras familias, se analizaron mediante ANOVAS considerando como factores principales el año y el tratamiento de fertilización, utilizándose también estadística no paramétrica (Kruskal-Wallis) cuando no se cumplían los requisitos para el ANOVA. Para las comparaciones entre medias se utilizó el test de mínima diferencia significativa y el nivel de confianza fue del 95%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efecto de los fertilizantes sobre la producción de pastos

La gran variabilidad de los datos registrados no permitió el análisis de varianza considerando los factores: año, tratamiento, momento de la primavera y todas las posibles interacciones, ni siquiera con la transformación de los datos. Procedimos al análisis de la varianza de los datos de cada una de las etapas de la primavera para el conjunto de los dos años. Los resultados se exponen en la tabla 1 y la figura 1.

La producción al principio de la primavera fue significativamente superior en 2011 (111,4 g/m^2) respecto a 2010 (85,1 g/m^2), sin embargo en 2010, los valores de producción registrados a mitad (270,3 g/m^2) y final de la primavera (367,6 g/m^2) fueron significativamente superiores a los de 2011 (192,3 g/m^2 y 261,7 g/m^2 , respectivamente). Al inicio de primavera, no se obtuvieron diferencias significativas entre los tratamientos de fertilización en ninguno de los años considerados. A finales de abril-principios de mayo, la oferta de hierba fue superior en el tratamiento NPK y al final de la primavera de 2010, la aplicación de los fertilizantes supuso mayor disponibilidad de pasto.

Tabla 1. Resultados de los análisis de la varianza para la producción primaveral de materia seca (letras diferentes indican diferencias significativas).

	Inicio primavera (g/m^2)	Mitad primavera (g/m^2)	Final primavera (g/m^2)
Control	104,6	208,2(a)	284,3
Roca fosfórica	98,2	206,6(a)	309,2
NPK	91,7	288,8(b)	350,4
F; p	$F_{(2,84)}=0,81; p=0,449$	$F_{(2,82)}=9,63; p=0,00018$	$F_{(2,82)}=1,91; p=0,15$
2010	85,1(a)	270,3(b)	367,6(b)
2011	111,4 (b)	192,3(a)	261,7(a)
F; p	$F_{(1,84)}=9,67; p=0,0025$	$F_{(1,81)}=18,05; p=0,00006$	$F_{(1,84)}=19,54; p=0,00003$

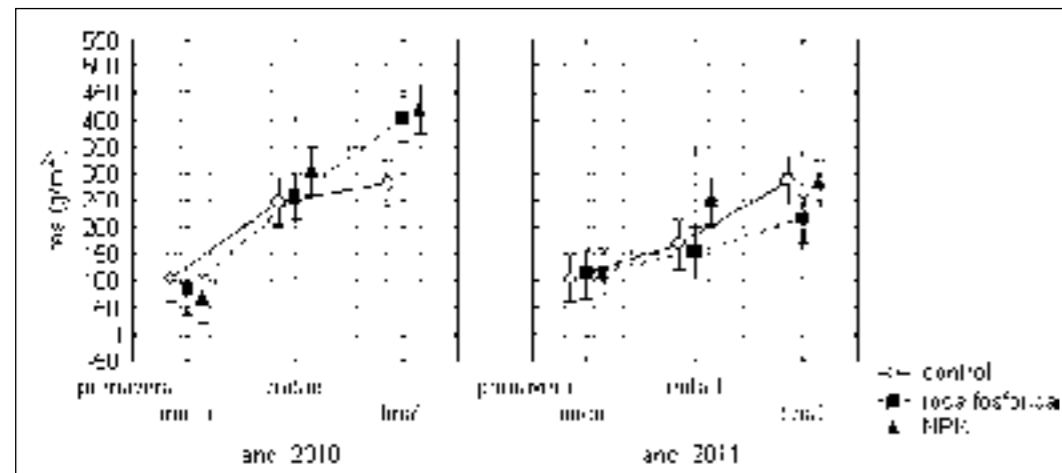


Figura 1. Evolución primaveral de la producción de materia seca

Los valores de producción de materia seca del pasto natural y la magnitud de la respuesta a la aplicación de roca fosfórica son similares a los encontrados por López-Carrasco, *et al.* (2008) en la misma zona en estudios anteriores, donde el efecto del año condiciona en gran medida la respuesta a la fertilización fosfórica (López-Carrasco *et al.*, 1999), como queda descrito también en los trabajos de Vélez *et al.* (2003), Ferrera *et al.* (2006) y Santamaría *et al.* (2009). Los dos años presentaron valores de precipitación anual superiores o similares a la media (tabla 2). La precipitación primaveral en los dos años analizados fue similar a la media de la zona, entonces ¿por qué hay una respuesta clara a la fertilización al final de la primavera de 2010 y no hay diferencias entre tratamientos al final de 2011? El análisis más detallado de la distribución mensual de lluvias refleja una menor precipitación durante el mes de mayo 2011 con el agravante de la falta de lluvias durante los primeros 10 días del mes, que pensamos, pudo afectar negativamente al efecto de los fertilizantes, acortando el ciclo de producción ante la menor disponibilidad de lluvia. El pasto natural control no se vio afectado, ya que se obtuvo una producción similar de pasto en los dos años (284,3 g/m²), que se corresponde con valores registrados en el mismo área experimental en años precedentes y similares condiciones de humedad y dentro del rango 2000-3000 kg de MS, referido por San Miguel (2001) para pastos herbáceos de la clase fitosociológica *Stellarietea mediae*.

Tabla 2. Precipitaciones anuales y estacionales del área experimental.

	09/10	10/11	Media (87/88 a 08/09)
P anual (mm)	878,2	621,1	596,7
P otoño (mm)	109,5	152,7	195,5
P primavera (mm)	174,5	160,6	158,7
P mayo (mm)	40,7	25,9	64,1

Efecto de los fertilizantes sobre la contribución de las leguminosas, gramíneas y otras familias a la producción de materia seca

La composición del pasto es muy diferente según el año, así como la respuesta a la fertilización (tabla 3).

Tabla 3. Contribución de las leguminosas (leg), gramíneas (gram) y otras familias (otras) a la producción herbácea según tratamientos.

Año	Tratamiento	% Leg	% Gram	% Otras	Leg (g/m ²)	Gram (g/m ²)	Otras (g/m ²)
2010	control	25,2(b)	18,5(a)	56,3	64	45,2(a)	139,1(b)
2010	roca fosfórica	23,4(ab)	29,5(b)	47,1	64,6	75,1(ab)	103,7(a)
2010	NPK	15,7(a)	34,8(b)	49,5	44,4	95,2(b)	132,5(ab)
		$F_{(2,42)}=2,74$ p=0,076	$F_{(2,42)}=8,15$ p=0,001	$F_{(2,42)}=1,52$ p=0,23	$F_{(2,n=45)}=2,16$ p=0,34	$F_{(2,42)}=4,92$ p=0,01	$F_{(2,42)}=3,30$ p=0,046
2011	control	1,3	76,9(b)	21,7(a)	2,6	139,9	31,5(a)
2011	roca fosfórica	2,8	65,2(ab)	32,0(ab)	4,1	101,1	46,8(a)
2011	NPK	2,3	55,0(a)	42,2(b)	5,7	137,9	85,9(b)
		$F_{(2,42)}=0,97$ p=0,38	$F_{(2,42)}=3,58$ p=0,036	$F_{(2,42)}=3,16$ p=0,053	$F_{(2,42)}=0,85$ p=0,43	$F_{(2,42)}=1,04$ p=0,36	$F_{(2,42)}=7,18$ p=0,002

En 2010 el elevado porcentaje de leguminosas del control fue incluso superior al esperado para una buena primavera, de hecho, en la misma finca en la primavera de 2004 con una precipitación de 214 mm se obtuvo el mismo porcentaje de leguminosas (López-Carrasco *et al.*, 2008), sin embargo no hubo respuesta a la incorporación de roca fosfórica. El efecto negativo de la incorporación de N sobre las leguminosas podría explicar el menor porcentaje obtenido mediante la aplicación de NPK, aunque quedaría compensado por la mayor producción de materia seca obtenida con este fertilizante (fig. 1). Es sorprendente el bajísimo contenido en leguminosas registrado en todos los tratamientos a mitad de primavera de 2011 y que no podemos justificar por falta de lluvias, ya que fue una primavera normal en este aspecto. En contrapartida se obtienen porcentajes muy elevados de gramíneas que no podemos atribuir a la aplicación de fertilizantes, ya que el pasto control presentó el valor más elevado; sin embargo en 2010, los porcentajes de gramíneas en los tratamientos con fertilización fueron mayores a los del pasto control. A mitad de primavera y sólo en 2011, la aplicación de NPK consigue mayor cantidad de pasto (fig. 1) y es debido a la mayor contribución del grupo de las otras familias (tabla 3).

Efecto de los fertilizantes sobre la riqueza específica y la diversidad

No se encontraron diferencias en el número medio de especies de los tratamientos en 2010. El número de especies de leguminosas fue similar en los tres tratamientos y el número de gramíneas con tendencia a ser mayor en los tratamientos con fertilización. El número máximo de especies recogidas en un marco fue: 37 en el control, 30 con roca

fosfórica y 34 con NPK, con valores medios de diversidad en el rango de los registrados para la dehesa. En principio, es una respuesta esperada en tanto que la fertilización no produjo una mayor cantidad de materia seca. En 2011 el control presentó los peores valores de riqueza específica que quedó reflejado en su menor índice de diversidad (tabla 4). El número máximo de especies distintas recogidas en un marco fue: 18 en el control, 26 en el tratamiento con roca fosfórica y 29 en el tratamiento con NPK, valores inferiores a los obtenidos en el año anterior.

La relación entre la riqueza, la diversidad y la producción de materia seca están dentro de lo esperado en el primer año, en tanto que no hubo respuesta a la fertilización a mitad de primavera, sin embargo, en el segundo año en que sí hubo un efecto positivo de la fertilización con NPK, los valores de riqueza, número de leguminosas y gramíneas, así como el índice de diversidad fue superior respecto al control. También estos valores fueron mejores con la aplicación de roca fosfórica, aunque en este caso no hubo mayor producción de materia seca.

Tabla 4. Riqueza específica e índices de biodiversidad según tratamiento de fertilización (análisis no paramétrico en el caso de las leguminosas).

Año	Tratamiento	nº especies	nº sp de leguminosas	nº sp de gramíneas	nº sp de otras fam.	Índice de biodiversidad
2010	Control	24	5	6(a)	13(b)	3,45(b)
2010	Roca fosfórica	23	5	7(ab)	11(a)	3,17(a)
2010	NPK	25	5	8(b)	12(ab)	3,38(ab)
		$F_{(2,42)}=0,74$ $p=0,48$	$F_{(2,42)}=0,007$ $p=0,99$	$F_{(2,42)}=2,49$ $p=0,09$	$F_{(2,42)}=3,16$ $p=0,05$	$F_{(2,42)}=3,07$ $p=0,06$
2011	Control	14(a)	1(a)	7(a)	6(a)	2,47(a)
2011	Roca fosfórica	20(b)	3(b)	9(b)	9(b)	2,98(b)
2011	NPK	21(b)	3(b)	9(b)	7(ab)	2,91(b)
		$F_{(2,42)}=13,9$ $p=0,00002$	$H_{(2,n=45)}=15,3$ $p=0,0005$	$F_{(2,42)}=7,2$ $p=0,002$	$F_{(2,42)}=5,0$ $p=0,011$	$F_{(2,42)}=4,5$ $p=0,016$

La conocida “paradoja del enriquecimiento” dice que existe una relación negativa entre la mayor producción y el número de especies (Marañón, 1991), en nuestro caso, el incremento de producción obtenido con la aplicación de NPK no es lo suficientemente elevado como para provocar una disminución de la diversidad, más bien favorece el aumento de riqueza y diversidad, al mejorar las condiciones de fertilidad.

CONCLUSIONES

Aunque el año condiciona la efectividad de los fertilizantes, los mejores resultados en términos de materia seca se obtuvieron con la aplicación de NPK, debido a la contribución de las gramíneas y especialmente de las otras familias. Con la incorporación de roca fosfórica y NPK mejoró la riqueza y la diversidad específica, por tanto en este sentido, su efecto ha sido positivo, no obstante consideramos que dos años es un pe-

riodo muy corto para evaluar la posible eficacia de estos fertilizantes en un medio tan variable como es la dehesa.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- FERRERA E.M., OLEA L., VIGUERA F.J. Y POBLACIONES M.J. (2006) Influence of the phosphoric fertilization in grasses of “dehesas” of degraded areas. *Grassland Science in Europe*, **11**, 95-97.
- LÓPEZ-CARRASCO C., RODRÍGUEZ R. Y ROBLEDO J.C. (1999) Efecto de la fertilización fosfórica en la transformación a pastizal de un cultivo forrajero en la Campana de Oropesa (Toledo). *Actas de la XXXIX Reunión Científica de la SEEP*, 407-412.
- LÓPEZ-CARRASCO C. Y ROBLEDO, J.C. (2008) Efecto de la aplicación de dos fertilizantes fosfóricos sobre la producción y composición de pastos herbáceos en “La Campana de Oropesa”, Toledo. En: Junta de Andalucía (Eds) *Pastos, clave en la gestión de los territorios: Integrando disciplinas*, pp 295-301. Córdoba, España: Sociedad Española para el Estudio de los Pastos.
- SAN MIGUEL A. (2001) *Pastos naturales españoles*. Madrid, España: Ed. Mundi-Prensa.
- SANTAMARÍA O., POBLACIONES M.J., OLEA L., RODRIGO S., VIGUERA F.J. Y GARCIA-WHITE T. (2009) La producción de biomasa y parámetros de calidad en pastos de dehesa del SO Español. En: Reine R. *et al* (Eds) *La multifuncionalidad de los pastos: producción ganadera sostenible y gestión de los ecosistemas*, pp.581-587. Huesca, España: Sociedad Española para el Estudio de los Pastos.
- MARAÑÓN T. (1991) Diversidad en comunidades de pasto mediterráneo: modelos y mecanismos de coexistencia. *Ecología*, **5**, 149-157.
- VÉLEZ J., OLEA L., FERRERA E.M., DORES J., NOBRE R., COLETO L., LÓPEZ BELLIDO R. Y VIGUERA J. (2003) Mejora de pastos en zonas semiaridas mediterráneas del Alentejo (Portugal). *Actas de la XLIII Reunión Científica de la SEEP*, 111-115.

Producción de los pastos en la dehesa y su relación con la precipitación y el suelo

Pasture productivity in dehesas and its relationship with rainfall and soil

F. GONZÁLEZ¹ / S. SCHNABEL² / P. M. PRIETO¹ /
M. PULIDO-FERNÁNDEZ² / J. GRAGERA-FACUNDO¹

¹Centro de Investigación La Orden-Valdesequera, Finca La Orden, 06187 Guadajira, Badajoz. francisco.gonzalezlopez@juntaextremadura.net

²Área de Geografía Física. Universidad de Extremadura, Avda. de la Universidad 10071, Cáceres. schnabel@unex.es

Resumen: El presente trabajo analiza la relación entre la producción de los pastos y las condiciones pluviométricas y edáficas. Los trabajos se llevaron a cabo en 10 fincas de la dehesa Extremeña. La producción del pasto se determinó durante 3 años mediante el método de las jaulas de exclusión. Los resultados muestran una gran variabilidad en la producción de los pastos naturales, oscilando los valores medios anuales entre 200 y 5372 kg ha⁻¹, diferencias que están relacionadas con la variabilidad de las precipitaciones y determinadas propiedades edáficas. La precipitación anual y la suma de las registradas en otoño-invierno y las precipitaciones estacionales de invierno y primavera resultaron positivamente correlacionadas con la materia seca de pasto total y de primavera. Las correlaciones entre materia seca total, materia seca de pastos de otoño e invierno y materia seca de primavera, y determinadas propiedades edáficas, como por ejemplo los contenidos en nitrógeno total, fósforo y potasio, resultaron también altamente significativas.

Palabras clave: Producción estacional, nutrientes, propiedades edáficas, fertilización.

Abstract: The present study analyzes the relationship between pasture production and rainfall and soil properties. Research was carried out in 10 farms of *dehesa* in Extremadura. Pasture production was determined during three years using enclosure cages. The results show high diversity of pasture production, ranging between 200 y 5372 kg ha⁻¹ per year, related with rainfall variations and as well as with soil properties. Dry matter of pasture, both the annual total and that of spring, were significantly, positively related with the annual rainfall, the autumn-winter and the winter-spring precipitation. Regarding soil properties, significant relationships were found between nutrients such as total nitrogen, available phosphorus and potassium and total pasture production, as well as with seasonal pasture production, particularly with that of autumn.

Key words: Seasonal production, nutrients, soil properties, fertilization.

INTRODUCCIÓN

La dehesa destaca, entre otros muchos aspectos, por ser uno de los sistemas agrosilvopastorales de alto valor natural de mayor extensión en la Unión Europea, alcanzando una superficie superior a los 6 millones de hectáreas en el conjunto de la Península Ibérica, incluyendo tanto las áreas de dehesa arbolada como los pastizales (Gea-Izquierdo *et al.*, 2006).

El origen de la dehesa se remonta a tiempos prehistóricos (López Saéz *et al.*, 2007) en los que el ser humano empezó a aclarar el bosque primitivo mediterráneo de encinas (*Quercus ilex* ssp. *ballota*) y alcornoques (*Quercus suber*) para un triple aprovechamiento: agrícola, ganadero y forestal. Sin embargo, este aclarado no ha sido regular ni en el tiempo ni en el espacio, lo cual ha generado mosaicos compuestos por pastizales y dehesas con diferentes densidades arbóreas (Blanco *et al.*, 1997).

En la actualidad, este sistema agrario se explota económicamente en fincas de gran tamaño (>100 ha), la mayoría de ellas de propiedad privada y dedicadas a la gana-

dería extensiva de especies como ovejas, cerdos, vacas y cabras, en distintas combinaciones, que aprovechan sus pastos naturales (Plieninger *et al.*, 2004). Las formaciones vegetales más características de la dehesa están compuestas por árboles, como encinas y alcornoques, un estrato herbáceo de pastos terófitos ricos en gramíneas, leguminosas y compuestas, y ocasionalmente un estrato arbustivo con especies como *Retama sphaerocarpa*, *Lavandula stoechas*, *Cytisus scoparius* o *Cistus ladanifer*, entre otras.

La productividad de los pastos en la dehesa está muy ligada a la pluviometría. La precipitación media anual en las áreas de dehesa oscila típicamente entre los 450 y 700 mm, repartiéndose entre los meses de otoño, invierno y primavera. La variabilidad pluviométrica provoca fuertes diferencias estacionales y anuales en la producción de pastos y hace que, generalmente, la producción más elevada de pastos naturales ocurra en primavera (Espejo y Martín, 1987).

Los pastos de la dehesa se asientan sobre suelos de escasa aptitud agrícola, desarrollados sobre rocas ácidas en su mayoría, caracterizados por ser poco profundos, ácidos y con un contenido bajo de materia orgánica (Schnabel *et al.*, 2006). Esto se traduce en producciones medias de pastos naturales de 2390 kg MS ha⁻¹año⁻¹, aunque con grandes oscilaciones condicionadas por factores edafoclimáticos y con valores sensiblemente más altos en majadales, pastoreados de forma continua por el ganado, y en pastos mejorados mediante siembra y fertilización fosfórica (González *et al.*, 2007). El fósforo es uno de los factores más limitantes sobre la productividad de los pastos, que llegan a incrementar su producción en más de un 50% mediante fertilización fosfórica (Olea *et al.*, 2005). La fertilización fosfórica incrementa más la producción de biomasa que la potásica (Jiménez y Martínez, 1984) y produce un pasto más rico en leguminosas que la nitrogenada (Nesic *et al.*, 2006), lo que refleja la importancia prioritaria de este nutriente (Santamaría *et al.*, 2009). La concentración en el suelo de otros elementos químicos como el calcio o el magnesio, también influye de modo importante en la producción de pastos de la dehesa.

Teniendo en cuenta lo expuesto anteriormente, en este trabajo se aportan nuevos datos y más conocimientos sobre las relaciones existentes entre la productividad de los pastos y la precipitación y las propiedades edáficas en las áreas de pastoreo de Extremadura.

MATERIAL Y MÉTODOS

El trabajo fue llevado a cabo en 21 cercados o enclaves localizados dentro de 10 explotaciones ganaderas de gestión privada, con una altitud entre 299 y 695 m sobre el nivel del mar, distribuidas por Extremadura. Las explotaciones fueron elegidas entre 54 que participaron en un proyecto de investigación anterior (Espejo *et al.*, 2006). Estas fincas de dehesa representan las tipologías dominantes de las áreas de pastoreo que hay en la región. Su extensión oscila entre 125 y 1024 ha, todas ellas se aprovechan en régimen extensivo con ganado ovino, porcino o bovino, en un sistema de cercados que compartimentan la explotación para facilitar y abaratar el manejo. Su carga ganadera

va desde 0,19 UGM ha⁻¹ a 15,79 UGM ha⁻¹, reflejando diferentes grados de intensidad de pastoreo en los distintos enclaves. Los suelos de los enclaves son en su mayoría Lep- tosoles y Cambisoles desarrollados sobre pizarras y presentan un relieve ondulado. La precipitación anual de los observatorios meteorológicos oficiales más próximos a cada una de ellas fluctúa entre los 505 y los 732 mm, la temperatura media anual entre 15 y 17 °C, variando el clima entre condiciones semiáridas y subhúmedas secas.

La productividad de los pastos se midió colocando en cada enclave 4 jaulas de exclusión de 1 m² de superficie, donde el ganado no tenía acceso al pasto. Las jaulas se emplazaron a media ladera, evitando vaguadas y cimas, sobre espacios abiertos alejados de la copa de los árboles y de los arbustos y con una elevación y pendiente igual entre ellas cuatro, siguiendo el método de muestreo propuesto por Carter (1962).

El pasto crecido en el interior de las jaulas se segó al final del invierno (principio de marzo) y al final de la primavera (final de mayo), durante los 3 años hidrológicos estudiados: 2008-09, 2009-10 y 2010-11. El pasto segado se recogió para determinar la producción de materia seca en cada corte, tras un proceso de secado a 105°C durante cuarenta y ocho horas y posterior pesado de las muestras. Los valores usados en los análisis de datos fueron las medias de las 4 jaulas de cada enclave y año hidrológico.

Los datos de precipitación se obtuvieron en algunos casos con pluviómetros situados dentro de las 10 explotaciones, tomándose en otros, de los observatorios meteorológicos oficiales más cercanos. Se consideraron los valores de precipitación del periodo de estudio registrados cada estación del año (excepto el verano) por separado, la suma de las precipitaciones registradas en otoño e invierno y la suma de las precipitaciones registradas en otoño, invierno y primavera. Se obtuvo un único dato, de cada uno de los valores considerados por cada explotación, común a todos sus enclaves, y año hidrológico.

Junto a cada una de las 4 jaulas de exclusión de cada uno de los 21 enclaves se recogió al menos una muestra de la capa superficial, primeros 5 cm del suelo, de modo que en cada enclave todas las muestras se recogieron bajo condiciones topográficas prácticamente iguales. De este modo se obtuvieron las muestras de suelo sobre las que se determinó granulometría y textura según la metodología Soil Survey Laboratory Methods (2004), el pH, los contenidos en Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺ y K⁺ y la capacidad de intercambio catiónico según los métodos propuestos por el MAPA (1986), el nitrógeno total (Dumas, 1831), el fósforo asimilable (Olsen *et al.*, 1954) y la materia orgánica (Walkley y Black, 1934). Los valores considerados en los análisis de datos fueron las medias de cada enclave.

Con los valores de producción de materia seca de los 21 enclaves y los datos de precipitación de las 10 explotaciones obtenidos en los 3 años hidrológicos estudiados se obtuvieron los estadísticos descriptivos básicos: media, desviación estándar y coeficiente de variación globales y media de cada año hidrológico por separado. Además se realizó el estudio de la correlación entre los valores de producción y los datos de precipitación, calculando la “r” de Pearson y su nivel de significación. Por último a partir de las medias de producción de los 3 años estudiados en cada uno de los 21 enclaves

y los 21 valores de cada una de las propiedades edáficas medidas también se realizó el estudio de la correlación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La media global de la producción de materia seca anual fue de 2031 kg ha⁻¹ (tabla 1). La media de la producción de materia seca anual del año hidrológico más seco, 2008-09, fue de 997 kg ha⁻¹, mucho menor que la observada en 2009-10 y 2010-11 que resultaron bastante más húmedos. La media global de la producción media de materia seca de primavera (1306 kg ha⁻¹) fue sensiblemente mayor que la de otoño-invierno (725 kg ha⁻¹), de acuerdo con Espejo y Martín (1987). Las medidas de la dispersión (desviación estándar y coeficiente de variación) de los datos globales, que reflejan la variabilidad espacial y temporal detectada en el estudio, muestran que la producción de materia seca de otoño-invierno es mucho más variable que la producción de materia seca de primavera.

Tabla 1. Precipitación media (mm) de las 10 fincas y producción de materia seca media (kg MS ha⁻¹) de los 21 enclaves para cada año, así como la media, desviación estándar y coeficiente de variación globales del periodo de estudio (ot-otoño, in-invierno, pr-primavera).

	2008	2009	2010	Periodo 2008-10	Desviación estándar	Coefficiente de variación
Materia seca año	996,8	2595,9	2500,4	2031,0	654,4	32,4
Materia seca ot-in	494,6	646,7	1034,9	725,4	458,6	63,0
Materia seca pr	502,2	1949,2	1465,5	1305,6	349,9	26,8
Precipitación-ot	107,7	94,0	140,2	114,0	20,4	17,9
Precipitación-in	168,8	499,7	318,3	328,9	72,5	22,0
Precipitación-pr	68,3	200,8	226,3	165,1	34,4	20,8
Precipitación ot+in	276,6	593,7	458,5	442,9	77,4	17,5
Precipitación ot+in+pr	344,9	794,4	684,8	608,0	104,0	17,1

Las precipitaciones registradas durante el periodo de estudio (tabla 1) mostraron que el año hidrológico 2008-09 fue seco, especialmente en primavera, mientras los otros dos fueron húmedos, con abundante precipitación tanto en invierno como en primavera.

El estudio de la correlación entre los datos de producción de materia seca anual y los de precipitación permitió detectar que tanto la producción de materia seca anual como la producción de materia seca de primavera estaban significativa y positivamente correlacionadas con la precipitación registrada en invierno, con la registrada en primavera, con la suma de la registrada en ambas estaciones y con la suma de la registrada en otoño, invierno y primavera (tabla 2). Contrariamente no se detectó ningún tipo de relación entre la producción de materia seca de otoño-invierno y las precipitaciones.

Por otra parte, las producciones de materia seca de primavera y otoño-invierno están muy relacionadas con la producción anual, sin embargo, no existe correlación entre la producción de otoño-invierno y la de primavera.

Tabla 2. Matriz de correlación (coeficiente r de Pearson) entre la producción (MS) y la pluviometría (Pp) y entre las producciones estacionales y totales (n=21 x 3=63, **, * - niveles de confianza del 95% y 90%, respectivamente).

Variable	Pp-ot	Pp-in	Pp-pr	Pp ot+in	Pp ot+in+pr	MS ot-in	MS pr
MS ot-in	0,134	-0,137	-	-0,106	-	-	-
MS pr	0,108	0,649**	0,600**	0,676**	0,685**	0,206	-
MS año	0,180	0,384**	0,507**	0,424**	0,476**	0,712**	0,834**

(ot-otoño, in-invierno, pr-primavera).

Las muestras de suelo de los enclaves presentan texturas de franco limosa a franco arenosa, con unos porcentajes medios de arena y arcilla del 53,9% y el 6,0% respectivamente y tratándose de suelos entre moderada y altamente ácidos (Schnabel *et al.* en prensa). El contenido en carbono orgánico es muy variable con una media del 3,3% en los 5 centímetros superficiales. El contenido en bases intercambiables de las muestras fue bajo en parte de las muestras. De acuerdo con Schnabel *et al.* (2006) estos resultados manifestaron que los 21 enclaves elegidos representaban gran parte de la variabilidad edafológica de las dehesas.

El estudio de la relación entre la producción de materia seca y las propiedades edáficas analizadas permitió detectar, entre otras, relaciones significativas y positivas entre producción de materia seca anual y capacidad de intercambio catiónico y contenidos en potasio, fósforo, nitrógeno y materia orgánica (tabla 3). Relaciones entre la producción de materia seca de pastos y diversos nutrientes similares a las encontradas en este estudio han sido detectadas por diverso autores (Jiménez y Martínez, 1984; Nesic *et al.*, 2006; Santamaría *et al.*, 2009).

Tabla 3. Matriz de correlación (coeficiente r de Pearson) entre la producción media del periodo (MS) (n=21) y las propiedades edáficas de 0-5 cm (**, * - niveles de confianza del 95% y 90%, respectivamente. CIC - capacidad de intercambio catiónico).

	MS año n=21	MS ot-in n=21	MS pr n=21
Arcilla (%)	-0,230	0,039	-0,387*
Limo (%)	-0,077	-0,182	0,106
Arena (%)	0,127	0,153	0,002
pH	-0,209	-0,181	-0,138
CIC (meq 100g ⁻¹)	0,477**	0,430*	0,329*
Calcio (meq 100g ⁻¹)	0,298	0,288	0,164
Magnesio (meq 100g ⁻¹)	0,258	0,487**	-0,149
Potasio (meq 100g ⁻¹)	0,642**	0,646**	0,428*
Sodio (meq 100g ⁻¹)	0,279	0,210	0,217
Saturación bases (%)	0,217	0,302	-0,003
Nitrógeno (%)	0,557**	0,707**	0,132
Fósforo (ppm)	0,583**	0,569**	0,397*
Materia orgánica (%)	0,405*	0,439**	0,196

CONCLUSIONES

Este estudio pone de manifiesto que las producciones anuales de los pastos naturales de la dehesa están muy ligadas a las precipitaciones de invierno y de primavera. El hecho de no haber encontrado relación entre las producciones de pasto y las precipitaciones de otoño se debe a que en esta estación las precipitaciones han sido muy similares durante los tres años de estudio (tabla 1) y en invierno, estación en la que la precipitación registrada en 2008-09 fue mucho menor que la registrada en los otros dos años, el frío detiene el crecimiento de los pastos.

Respecto a los suelos, en el estudio se muestra la estrecha correlación que existe entre la producción de pastos y los niveles de potasio, fósforo y nitrógeno, elementos muy escasos en los suelos de la dehesa. También la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y la materia orgánica están muy estrechamente relacionadas con la productividad de los pastos. La mejora de todos estos parámetros edáficos contribuiría al aumento de la producción potencial de los pastos naturales de la dehesa.

AGRADECIMIENTOS

El trabajo fue posible gracias a un proyecto financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación (CGL2008-01215/BTE). Agradecemos al Laboratorio Agroalimentario y de Análisis de Residuos de Cáceres el análisis de las muestras de suelo y a los propietarios de las explotaciones ganaderas su colaboración.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BLANCO E., CASADO M.A., COSTA M.R.E., GARCÍA M., GÉNOVA M., GÓMEZ A., GÓMEZ F., MORENO J.L., MORLA C., REGATO P. Y SAINZ H. (1997) *Los bosques ibéricos. Una interpretación geobotánica*. Madrid, España: Planeta.
- CARTER J.F. (1962) Herbage sampling for yield: tame pastures. En: American Society of Agronomy (ed) *Pasture and range techniques*, pp. 90-101. Ithaca, Estados Unidos: Comstock Publishing Associates.
- DUMAS J.B.A. (1831) Procédés de l'analyse organique. *Annales de Chimie et de Physique*, **247**, 198-213.
- ESPEJO DÍAZ M. Y MARTÍN BELLIDO M. (1987) Evolución de la producción de pastos mejorados en la dehesa extremeña en año seco. *Pastos*, **17(1-2)**, 129-139.
- ESPEJO DÍAZ M., MARTÍN BELLIDO M., MATOS C. Y MESÍAS DÍAZ F.J. (2006) *Gestión ambiental del ecosistema dehesa en la Península Ibérica*. Mérida, España: Junta de Extremadura.
- GEA-IZQUIERDO G., CAÑELLAS I. Y MONTERO G. (2006) Acorn production in Spanish holm oak woodlands. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales*, **15(3)**, 339-354.
- GONZÁLEZ F., MURILLO M., PAREDES J. Y PRIETO P.M. (2007) Recursos pascícolas de la dehesa extremeña. Primeros datos para la modelización de su gestión. *Pastos*, **37(2)**, 231-239.
- JIMÉNEZ-MOZO J. Y MARTÍNEZ-AGULLA T. (1984) *Necesidades nutritivas referentes a los macroelementos fósforo, potasio y nitrógeno en pastos de secano en la región extremeña*. Badajoz, España: Publicaciones SEA-UEx.
- LÓPEZ SÁEZ J.A., LÓPEZ GARCÍA P., LÓPEZ MERINO L., CERRILLO CUENCA E., GONZÁLEZ CORDERO A. Y PRADA GALLARDO A. (2007) Origen prehistórico de la dehesa en Extremadura: una perspectiva paleoambiental. *Revista de Estudios Extremeños*, **63(1)**, 493-510.
- MAPA (1986) *Métodos oficiales de análisis*. Madrid, España: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Dirección General de Política Alimentaria.
- NESIC Z. Y TOMIC Z. (2006) Yield and botanical composition of pure alfalfa and alfalfa-orchard-grass mixtures at different levels of nitrogen. *Grassland Science in Europe*, **11**, 273-275.
- OLEA L., LÓPEZ-BELLIDO R.J. Y POBLACIONES M.J. (2005) European types of silvopastoral systems in the Mediterranean area: dehesa. En: Mosquera-Losada M. R. et al. (Eds) *Silvopastoralism and Sustainable Land Management*, pp. 30-35. Wallingford, Oxfordshire, Reino Unido: CABI Publishing.
- OLSEN S.R., COLE C.V., WASTANABE F.S. Y DEAN L.A. (1954) Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. *United States Department of Agriculture Circular*, **939**, 1-19.
- PLIENINGER T., PULIDO F.J. Y SCHAICH H. (2004) Effects of land-use and landscape structure on holm oak recruitment and regeneration at farm level in *Quercus ilex* L. dehesas. *Journal of Arid Environments*, **57**, 345-364.
- SANTAMARÍA O., POBLACIONES M.J., OLEA L., RODRIGO S. Y GARCÍA-WHITE T. (2009) Efecto de fertilizantes alternativos al superfosfato de cal sobre la producción y calidad de pastos de dehesa en el suroeste de España. En: Sociedad Española de Ciencias Forestales y Junta de Castilla y León (eds) *5º Congreso Forestal Español. Montes y sociedad: Saber qué hacer*, pp. 1-8. Ávila, España: SECF.
- SCHNABEL S., LAVADO CONTADOR J.F., GÓMEZ GUTIÉRREZ Á. Y LAGAR TIMÓN D. (2006) La degradación del suelo en las dehesas de Extremadura. En: Espejo Díaz M. et al. (Eds) *Gestión ambiental del ecosistema dehesa en la Península Ibérica*, pp. 63-71. Mérida, España: Junta de Extremadura.
- SCHNABEL S., PULIDO-FERNÁNDEZ M. Y LAVADO-CONTADOR J.F. (En prensa) Soil water repellency in rangelands of Extremadura (Spain) and its relationship with land management. *Catena*, doi:10.1016/j.catena.2011.11.006.
- SOIL SURVEY LABORATORY METHODS MANUAL (2004) *Soil Survey Investigations Report No. 42. Versión 4.0*. Lincoln, Estados Unidos: USDA-NCRS.
- WALKLEY A. Y BLACK L.A. (1934) An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, **37**, 29-38.

Reflexiones sobre las técnicas de mejora de la dehesa extremeña

Comments about the pastures techniques to improve the dehesas of Extremadura (Spain)

J. GRANDA MÁRQUEZ DE PRADO¹ / C.G. HERNÁNDEZ DÍAZ-AMBRONA^{2*}

¹Ingeniero Agrónomo y ganadero, Trujillo (España).

²Grupo de Sistemas Agrarios AgSystems, Departamento de Producción Vegetal: Fitotecnia y CEIGRAM, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, Universidad Politécnica de Madrid, Ciudad Universitaria s/n, E-28040 Madrid (España).

* carlosgregorio.hernandez@upm.es

Resumen: Aunque las técnicas de mejora de la dehesa propuesta hacia mediados del siglo veinte cubrían un gran número de campos de actuación, en este trabajo vamos a centrarnos en las relacionadas con la mejora vegetal y la fertilización de los pastos naturales. El objetivo de este estudio es presentar una reflexión sobre cuales han sido los resultados prácticos de las mejoras propuestas y del impacto que han tenido en la ganadería extensiva actual. A partir de una revisión crítica de los planteamientos de las técnicas de mejora vegetal y en la fertilización de los pastos herbáceos realizadas a partir de mediados del siglo veinte y de los objetivos alcanzados.

Palabras clave: Ecosistema, ganadería, leguminosas, pastos.

Abstract: Although techniques for the improvement of the dehesa proposed towards the middle of the twentieth century covered a large number of fields of action, in this work we will stick to those related to plant breeding and fertilization of natural pastures. The objective of this study is to assess the results of the proposed improvements and the impact they have had on current ranching. La dehesa is the main agroforestry system of ranching in southwestern Europe. This work makes a critical review of approaches to improving rangelands management based on pastures establishment and nutrients from mid-20th century to nowadays.

Key words: Ecosystem, stock, legumes, grasses.

INTRODUCCIÓN

El planteamiento de la mejora de los pastos de la dehesa extremeña fue resultado del desembarco a mediados del siglo XX del pastoralismo australiano en España. La base de esta mejora fue el éxito que tuvo en las tierras australianas la estrategia triple-s (*sub-super-sheep*) basada en la introducción del trébol subterráneo, la fertilización con superfosfato y el pastoreo con ovejas (Smith, 1979). Las variedades australianas de trébol subterráneo introducidas en España fueron evaluadas en distintos centros de investigación y dieron como resultado las tablas de recomendación de variedades y la recomendación de tres subespecies o variedades para cada zona (Infante *et al.*, 1984). En la mayoría de los casos y muy diferente a la situación en Australia, donde la ausencia de especies de interés forrajero hacía la necesidad de la implantación total de nuevas especies, en España casi todas las actuaciones consistían en la siembra sobre la composición botánica existente de las nuevas variedades, lo que sometía a un estrés adicional a las nuevas variedades que deberían competir también con la vegetación autóctona. La evolución del censo ganadero en Extremadura en los últimos años muestra un cambio en los modelos de gestión, pasándose de un sistema ovino-caprino a uno vacuno. Si bien la dehesa ha estado históricamente vinculada a la cabaña ovina (Her-

nández, 1998), hoy en la dehesa hay principalmente ganado vacuno. El ganado vacuno aún continua acoplado en las ayudas de la PAC, y requiere menos mano de obra que el ovino. El porcino ibérico es clave en la productividad económica de la dehesa en los sistemas de pastoreo libre en montanera que da lugar a un buen precio de venta sin recibir ningún tipo de ayuda.

El objetivo principal de este trabajo es reflexionar desde el punto de vista de la aplicación práctica sobre las propuestas de mejoras que se han ido haciendo a lo largo del tiempo para incrementar la producción de los pastos herbáceos de la dehesa mediante una revisión de trabajos realizados.

LA MEJORA VEGETAL EN LA DEHESA EXTREMEÑA

En este apartado presentamos cuales han sido los avances introducidos con la mejora vegetal, que problemas o limitaciones han tenido desde un punto de vista práctico en su desarrollo a lo largo del tiempo. Con cambios socio-económicos importantes pasando de una Ley de la Dehesa en Extremadura productivista a la aplicación de la Política Agraria Común, con cambios en los censos ganaderos y en los mercados.

La mejora de la dehesa se inicia con la introducción de plantas mejoradas. El aumento de la producción con la mejora de los pastos en la dehesa está determinado por el valor de la unidad forrajera adicional conseguida, por lo que para un correcto cálculo de dicho valor es necesario conocer el número de años de efectos positivos sobre la producción herbácea. Teniendo en cuenta los costes actuales de implantación y los costes de las semillas, este periodo de amortización no debe ser inferior a cuatro años y sería recomendable tener la pradera cinco o seis años, debido a que la flora natural es altamente competitiva con la introducida, hasta llegar a anular las semillas duras que se incorporaron con la siembra. Es clave conseguir una buena implantación el año de la siembra. Para conseguir una buena implantación se debe combinar una adecuada preparación del terreno de siembra, o utilizar maquinaria adecuada para la siembra directa, con buenas condiciones meteorológicas. La siembra temprana en otoño es recomendable, asegurándose el ganadero que la previsión a corto y medio plazo va a garantizar la precipitación suficiente para la implantación de la pradera. La implantación de la pradera al final de invierno aunque garantiza una humedad adecuada también conlleva una mayor competencia de la flora natural ya instalada, por lo que no es recomendable.

La persistencia alcanzada por las leguminosas introducidas nunca fue grande, apenas apreciable cinco años después de la siembra (Olea, 1988). Esto se debe a la elevada resiliencia de la dehesa por tener alta diversidad (Pérez Soba *et al.*, 2007), por lo que la modificación del sistema a través sólo de una pequeña parte de la composición botánica es pequeña, incluso cuando la siembra de las leguminosas se acompaña con la fertilización fosfórica, ésta beneficia a partes iguales a las nativas y a las foráneas, por lo que el efecto se diluye también en el tiempo. Es por ello que también desde sus inicios se investigase el interés de otras leguminosas forrajeras como *Medicago polymorpha* L., *Trifolium glomeratum* L. y *Ornithopus compressus* L. (Moreno y Gallardo, 1983).

La implantación exclusiva de trébol subterráneo tiene un elevado coste y unido a sus fallos en persistencia ha desanimado a la mayoría de los ganaderos que todavía intentan esta mejora. Una introducción que se está llevando a cabo en estos últimos años con éxito es la de siembra de trébol balansa (*Trifolium michelianum* Savi) acompañado en su primer año con la siembra simultánea de raigrás italiano (*Lolium multiflorum* L.). La gran agresividad de este trébol dificulta que especies pratenses espontáneas, a excepción de las nitrófilas, vayan apareciendo; tiene además una gran productividad en forraje y de nitrógeno fijado al suelo, sustituyendo al trébol subterráneo en la formulación de praderas para la dehesa. Después de varios años este tipo de praderas ha producido un aumento de la fertilidad del suelo, se han logrado unas praderas productivas que tienen poco que ver con los pastos naturales fertilizados. No obstante, ambas posibilidades son factibles pero sería recomendable el alternar en el espacio de la dehesa unas y otras, no dejándose engañar por la mayor productividad de las especies introducidas.

En el mercado de semillas pratenses, nuevas especies y variedades han ido apareciendo, de ellas destacamos para suelos sobre pizarras ácidas las variedades de trébol balansa Frontier, Paradana y Bolt; y el trébol glandulífero (*Trifolium glanduliferum* Boiss. cv. Prima), este último para pluviometrías menores de 350 mm/año (Moreno *et al.*, 2007). Para suelos arenosos se recomiendan: *Ornithopus compressus* L., *O. sativus* Brot. y trébol vesiculoso (*Trifolium vesiculosum* Savi cv. Cefalu, Seelu y Zulu). La falta de explotaciones que sirvan de avanzadilla o modelo para su difusión y apoyo hacen muy aventurada su siembra. En la actualidad, las investigaciones van en la línea de praderas polifitas con un gran número de especies y variedades (Porqueddu y Maltoni, 2007). A nivel comercial hay mezclas que están teniendo éxito. Entre las gramíneas destaca el raigrás italiano, que frena el desarrollo de gramíneas autóctonas de baja calidad (Murillo y González, 2008). También, en las zonas de dehesa más húmedas la introducción de praderas con especies perennes está teniendo buenos resultados productivos (Lelièvre *et al.*, 2008).

En el ecosistema de la dehesa y en su aprovechamiento, juega un papel fundamental el arbolado. Desde el punto de vista de la valoración agraria, la presencia de arbolado y a igualdad de otras condiciones aporta un 50% más del valor de la dehesa en la mayor parte de los casos. Se ha medido una mayor producción del trébol subterráneo cuando la cobertura arbórea es mayor del 50% que cuando es menor del 25% (Armand y Etienne, 1996).

LA FERTILIZACIÓN

Partiendo de la premisa de una adecuada composición florística, la fertilización ha sido otra técnica utilizada para incrementar la productividad de los pastos en la dehesa. La aplicación reiterada de superfosfato de cal (18%), en cantidades que oscilan alrededor de los 150 kg/ha año, origina un aumento de leguminosas anuales en los pastos (Granda y Prieto, 1991), de media se consigue entre un 30% y un 35% más de leguminosas, siempre que acompañen las condiciones meteorológicas. Esto ha sido una norma general en toda la dehesa provocando cambios en la composición florística de los pastos herbáceos.

La utilización correcta de este proceso requiere el conocimiento de ciertas bases del mismo así como una clara definición de los objetivos a alcanzar.

En la dehesa, cuando se aplica de una forma reiterada el superfosfato se origina un complicado proceso que está formado por cinco fases sucesivas de F0 a F4 en cuya evolución influyen varios factores (Granda y Prieto, 1992). A partir del segundo año, se presenta un claro dominio de ciertas leguminosas, destacando *Trifolium glomeratum* L., por su profusión y desarrollo. Llamamos F1 a esta fase diferenciándola de la F0 inicial correspondiente a un pasto natural de escaso valor pastoral. En los siguientes años, continuando con análogas aportaciones de fertilizante, se observa un aumento de la proporción de gramíneas anuales, así como también de leguminosas anuales de mayor capacidad productiva (*Trifolium striatum* L., *T. cherleri* L.); esta fase F2 es una fase de competencia entre ambas familias que debe, para pasar a fases superiores, ser atendida por el ganadero con máximo cuidado. El nitrógeno fijado por las leguminosas favorece el desarrollo de gramíneas más agresivas, fundamentalmente en otoño e invierno, que si no son consumidas rápidamente por el ganado pueden llegar a asfixiar a las leguminosas, haciéndolas desaparecer y cortando el flujo de nitrógeno para futuras campañas. Por el contrario, con un adecuado pastoreo se desarrollarán armónicamente ambas familias produciendo una creciente densidad y masa de forraje, lo que se traducirá en una mayor presencia de ganado sobre el pasto. En esta fase se consigue un incremento de la capacidad productiva del pasto y no sólo se incrementa en cantidad, sino en su distribución anual con una precoz productividad otoñal e invernal de las gramíneas y una reserva de alimento para el verano que las citadas leguminosas aportan con sus semillas. La fase F3 aparece cuando las otras familias de nitrófilas (geraniáceas, crucíferas, compuestas), las leguminosas aún más productivas como *Trifolium subterraneum* L. y *Medicago polymorpha* L., y el grupo de las llamadas malas hierbas (plantagináceas, compuestas, borragináceas), hayan hecho acto de presencia con una frecuencia y desarrollo apreciables. Estas pratenses por sus características y nivel productivo necesitan un gran aporte de nitrógeno del suelo, el incremento del contenido de materia orgánica del suelo alcanzado por el aumento de la fijación de nitrógeno de las leguminosas permiten alcanzar este nivel. Por lo que el pasto no solo demandará más nitrógeno sino que movilizará en mayor medida todos los demás elementos nutritivos, por lo que otros síntomas carenciales pueden aparecer. La estabilidad productiva de estos pastos es mayor que en las fases anteriores si se mantiene un correcto manejo de los animales. El suministro de alimento continúa siendo además de mayor, más diversificado, adaptándose con su mayor riqueza botánica a las diversas circunstancias climáticas:

El aporte de alimento estival es debido no sólo a las semillas de las leguminosas, sino también a la de las plantagináceas, y a una mejor composición del pasto seco con más proteína y mayor digestibilidad; las geraniáceas acompañan a las gramíneas en su precoz productividad; algunas compuestas y plantagináceas con su sistema radicular más profundo exploran otras capas del suelo. Todo ello va haciendo que continúe el incremento de fertilidad del suelo, estabilizando sus producciones y posibilitando el desarrollo de su verdadero potencial productivo. Una hipotética fase F4 se alcanzaría cuando

al cabo de sucesivas aportaciones de superfosfato, el sistema se mantuviese estable con un manejo adecuado del ganado sin necesidad de nuevas aportaciones, siempre que no se realizasen siegas de forrajes o la retirada de estiércol por estabulación de los animales. En esta fase el suelo habría alcanzado niveles aceptables de fósforo en suelo (15-17 ppm Olsen), de materia orgánica (2% al 2,5%) y los pastos estarían constituidos por una población estable en los tres mencionados grupos de plantas. En trabajos experimentales se ha logrado alcanzar la fase F3 al cabo de cinco años de la mencionada aplicación de 150 kg/ha de superfosfato (Granda y Prieto, 1991).

En la actualidad existen dos vías en la mejora de la fertilidad de la dehesa Extremeña: una mediante el aporte directo de los elementos nutricionales necesarios; y otra vía indirecta a través de la suplementación de los animales en pastoreo con alimentos procedentes de fincas agrícolas. Se estima que del orden del 50% al 60% de la alimentación de la ganadería en la dehesa extremeña actual procede de compras de alimento producidas fuera de la dehesa, por lo que se puede calcular el aporte adicional de nutrientes y la mejora del contenido de materia orgánica que está proporciona (Hernández, 2005). Esto quiere decir que hay un desfase entre la capacidad de carga de la dehesa y la carga ganadera que sería casi del doble, lo que tiene un gran impacto por el aumento del pisoteo y el ramoneo, sobretodo en la regeneración del arbolado.

CONCLUSIONES

La mejora de los pastos de las dehesas extremeñas se asienta sobre una trayectoria iniciada ya hace muchos años y dirigida a una gestión de la complejidad de este ecosistema. La mejora vegetal de los pastos de la dehesa ha pasado de recomendar pocas especies y variedades a las actuales recomendaciones de mezclas con un gran número de ellas. La fertilización de los pastos de dehesa se inició con la aplicación de superfosfato para beneficio de las leguminosas, mientras en la actualidad la diversidad de especies empleadas en la mejora requiere formulaciones más complejas y buscar el equilibrio entre las exportaciones de nutrientes y los aportes. La mejora productiva de la dehesa se sustenta en la búsqueda de la sostenibilidad económica, social y ambiental; y en su relación frente a sistemas productivos más intensos y simplificados. El ganadero dispone actualmente de un conjunto de técnicas que puede aplicar para mejorar la productividad de la dehesa pero debe buscar su adecuado balance económico. Para conocer cuales han sido las mejoras que los ganaderos han adoptado tendremos, en el siguiente paso de este trabajo, que preparar una amplia encuesta. Asimismo, se debe estudiar en un futuro la adecuación ambiental de las mejoras que suponen modificaciones sustanciales de la composición botánica, la fertilidad de los suelos o el manejo de unos determinados animales.

AGRADECIMIENTOS

A la colaboración de la propiedad en la presentación de resultados de esta tecnología aplicada en la dehesa de Doña Catalina, Trujillo (Cáceres). Este trabajo se ha

realizado en el CEIGRAM con la financiación de ENESA por el proyecto: “Recogida y procesamiento de información agronómica y zootécnica obtenida *in situ* y su integración satelital de precisión para la mejora del seguro para la cobertura de los daños por sequía en pastos 2010 y 2011”; y en el consorcio AGRISOST de la Comunidad de Madrid S-2009/AGR-1630 Sistemas Agrarios Sostenibles: producción de biomasa y manejo de C, N y agua.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARMAND D. Y ÉTIENNE M. (1996) Impact of tree canopy cover on subterranean clover over-seeding productivity and use in southeastern France. En: M. Étienne (ed), *Western European silvopastoral systems*, pp. 71-81. París, Francia: INRA.
- GRANDA M. Y PRIETO P.M. (1991) Efecto de la carga, fertilización fosfórica, introducción de especies y laboreo en pastos naturales semiáridos. *Investigación agraria. Producción y protección vegetales* **6** (1), 81-92.
- GRANDA M. Y PRIETO P.M. (1992) Fertilización de pastos en la dehesa. *Albear: Revista técnica agraria de la Junta de Extremadura*, **0**, 5-10.
- HERNÁNDEZ DÍAZ-AMBRONA C.G. (1998) *La dehesa, aprovechamiento sostenible de los recursos naturales*. Madrid, España: Editorial Agrícola Española.
- HERNÁNDEZ DÍAZ-AMBRONA C.G. (2005) Ecología del pastoreo con ganado de lidia en las dehesas. *Revista del Instituto de Estudios Económicos*, **3**, 101-140.
- INFANTE J., GONZÁLEZ A., CORDERO S., GÓMEZ C., MORENO V. Y OLEA L. (1984) Especies y variedades a utilizar en la mejora de pastos. En: González A. *et al.* (Eds) *Mejora de pastos en secano semiáridos de suelos ácidos*, pp. 83-112. Madrid, España: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.
- LELIÈVRE F., NORTON M.R. Y VOLAIRE F. (2008) Perennial grasses in rainfed Mediterranean farming systems-Current and potential role. *Options Méditerranéennes*, **79**, Série A: Séminaires Méditerranéennes, 137-148.
- MORENO CRUZ V. Y GALLARDO MARTÍNEZ D. (1983) Avances en la evaluación de leguminosas anuales distintas del *T. subterraneum* L. *Pastos*, **13**(1-2), 77-83.
- MORENO M., RIGO A., JAUME J., MUS M., RIERA D. Y GULÍAS J. (2007) Estudio agronómico comparativo de dos mezclas de cultivo para el pastoreo de ovino en sistemas agroganaderos del área mediterránea. *SEOC*, **2007**, 209-212.
- MURILLO M. Y GONZÁLEZ F. (2008) Gestión de la dehesa en Extremadura. Recursos pascícolas y mejoras. *Pastos*, **38**(1), 5-17.
- OLEA, L. (1988). *Persistencia y producción de pastos en el S.O. de España: Introducción de trébol subterráneo*. Colección de tesis doctorales INIA núm. 74. Madrid, España: INIA.
- PÉREZ SOBA M., SAN MIGUEL A. Y ELENA-ROSSELLÓ R. (2007) Complexity in the simplicity: The Spanish Dehesas. En: Pedrolí B. *et al.* (Eds) *Europe's living landscapes. Essays on exploring our identity in the countryside*, pp 369-384. Zeist, Holanda: KNNV Publishing.
- PORQUEDDU C. Y MALTONI S. (2007) New annual pasture legumes for Mediterranean conditions. En: Helgadóttir Á. y Pötsch E.M. (eds) *Quality Legume-Based Forage Systems for Contrasting Environments*, pp 31-33. Irdning, Austria: Federal Research and Education Centre Raumberg-Gumpenstein.
- SMITH D.M. (1979) *Where the grass is greener: geographical perspectives on inequality*. London, Reino Unido: Croom Helm.

Influencia de la presión de pastoreo en el contenido de nutrientes en hoja de encina en la dehesa

Influence of grazing intensity on leaf nutrients content of holm oak at dehesa

A.M. GARCÍA MORENO / M.D. CARBONERO MUÑOZ / F. MORENO ELCURE / J.R LEAL MURILLO / M.T. HIDALGO FERNÁNDEZ / P. FERNÁNDEZ REBOLLO*.

Departamento de Ingeniería Forestal. ETSIAM. Universidad de Córdoba. Campus de Rabanales 14071 Córdoba (España) * ir1ferrep@uco.es

Resumen: El presente trabajo trata de evaluar el efecto de la intensidad de pastoreo sobre el contenido en nutrientes foliares de la encina en la dehesa. Para ello se escogieron 14 parcelas de dehesa en Los Pedroches, en cada una de las cuales se tomaron muestras de hoja de siete encinas, evaluándose contenido en macronutrientes, muestras de suelo para determinaciones físicas y químicas y se midió la resistencia del suelo a la penetración. A partir de los datos de suelo se han clasificado las parcelas en dos grandes grupos, constituido uno por aquellas parcelas que habitualmente reciben mayor pastoreo y otro por aquellas que soportan una menor intensidad de pastoreo. Los resultados indican que el pastoreo afecta al contenido foliar de nutrientes en la encina, aumentando la concentración de N y Mg con la intensidad del pastoreo.

Palabras clave: nutrientes foliares, uso ganadero, pastos, *Quercus ilex*.

Abstract: This study assesses the effect of grazing intensity over nutrient contents of holm oak in dehesa system. Fourteen dehesa plots were chosen in Los Pedroches. In each plot, leaf and soil samples were collected and soil resistance to penetration was assessed. Results shows that plot classification according to grazing intensity can be achieved from soil data. Moreover, foliar nutrient contents in holm oak are affected by grazing intensity, increasing N and Mg foliar contents in plots heavily grazed.

Key words: leaf nutrients, livestock, pasture, *Quercus ilex*.

INTRODUCCIÓN

La dehesa está considerada un sistema agrosilvopastoral de uso múltiple, en el que la ganadería constituye el aprovechamiento principal desde el punto de vista económico, aunque también desde el punto de vista ecológico, ya que mediante el pastoreo se consigue crear y mantener una estructura y composición determinada de la vegetación. El pisoteo y la defoliación realizada por los animales en pastoreo afecta a la vegetación directamente, alterando los procesos fisiológicos, la morfología de las distintas especies vegetales y la distribución de sus semillas, e indirectamente, modificando el microclima y las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.

Los cambios socioeconómicos acontecidos en la sociedad española recientemente, han roto el tradicional ajuste entre las características y productividad del medio natural y las técnicas agrosilvopastorales desarrolladas por las culturas ganaderas (Olea y San Miguel, 2005), produciéndose en algunas zonas un abandono del aprovechamiento ganadero y en otras una intensificación del pastoreo debido al aumento de la carga ganadera en las explotaciones y al carácter estante de los rebaños. Dichos cambios de

uso en la dehesa modifican las propiedades del suelo y propician cambios en la composición de los pastos herbáceos que, en última instancia, pueden afectar al arbolado presente en este sistema agrosilvopastoral, modificando su comportamiento fisiológico, su pauta de crecimiento, su producción y su capacidad de resistir diferentes estreses (Moreno *et al.*, 2007; Rivest *et al.*, 2011).

En este trabajo se ha evaluado cómo afecta la intensidad de pastoreo, entendida como aumento de la defoliación de los pastos herbáceos y del pisoteo, al estado nutricional de la encina, el árbol más representativo del sistema dehesa.

MATERIAL Y MÉTODOS

Toma de muestras

El trabajo se ha realizado en el Valle de los Pedroches, en el norte de la provincia de Córdoba. Los suelos son de origen granítico, ligeramente ácidos y de textura arenosa, y la climatología se caracteriza por tener una temperatura media anual de 16 °C y precipitaciones medias anuales desde de 400 mm/año a superiores a 500 mm/año. Se seleccionaron 14 parcelas pertenecientes a siete explotaciones de dehesa situadas en una zona homogénea en cuanto a litología y pendiente (superficie aproximada de 840 km²). Las explotaciones se pastorean con rebaños mixtos de ganado ovino, vacuno y porcino con cargas ganaderas que fluctúan entre 0,4 UGM/ha y 1,5 UGM/ha. No hay registro de las cargas ganaderas instantáneas ni de los periodos de pastoreo que han mantenido las parcelas en los últimos años. En cada parcela se seleccionaron siete encinas adultas de las que se obtuvo una muestra foliar. El muestreo se realizó en septiembre y para ello se cortaron varias ramas situadas en la cara sur y en la zona media de la copa del árbol. De cada rama se seleccionaron varios brotes correspondientes al crecimiento de ese año sin daños por defoliadores y preferentemente libres de frutos. De la zona intermedia de cada uno de los brotes se tomaron tres hojas expandidas, limpias de impurezas y de patógenos, obteniéndose finalmente una muestra de 30 hojas por árbol. En la misma fecha se obtuvo una muestra de suelo y una medida de resistencia a la penetración del suelo (Índice de Cono, IC, en adelante) por parcela. Cada muestra de suelo estuvo compuesta de diez submuestras, correspondientes a los 15 primeros cm de profundidad, de los espacios abiertos próximos a los árboles muestreados, habiéndose retirado previamente la capa superior del suelo. El IC del suelo se evaluó mediante un penetrómetro de cono con punta fina, siguiendo las recomendaciones establecidas por el estándar ASAE 313.2. para suelos con impedancia mecánica elevada (Agüera y Gil, 1986). En cada una de las parcelas se realizaron 20 mediciones en los espacios abiertos próximos a los árboles muestreados. El penetrómetro registró medidas de resistencia a la penetración a intervalos de 0,5 cm hasta una profundidad de 5 cm, que después se promediaron dando un único valor por parcela.

Las muestras foliares se secaron en estufa de ventilación forzada a 60 °C hasta peso constante y después fueron molidas. Las muestras de suelo se secaron al aire y

fueron pasadas por un tamiz de 2 mm. Posteriormente se determinaron macronutrientes foliares (N, P, K, Ca y Mg) y las variables de suelo textura (porcentajes de arcilla, arena y limo), materia orgánica, P asimilable, N orgánico, pH, CIC y cationes de cambio K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ y Na⁺, en el laboratorio Agroalimentario de la Consejería de Agricultura y Pesca en Córdoba mediante los métodos oficiales de análisis para plantas y suelos (M.A.P.A., 1994). Además se calculó el porcentaje de Saturación de Bases (%BS).

Tratamiento estadístico de los datos

Se realizó un Análisis Cluster jerárquico sobre las variables edáficas evaluadas en las parcelas considerando cómo esquema de agrupamiento el método de Ward. Previo al análisis Cluster los datos fueron estandarizados. Mediante ANOVA de una vía se analizaron las diferencias en las variables edáficas entre los grupos obtenidos. La evaluación de los contenidos de macronutrientes foliares en la encina en función del grupo y la parcela de muestreo se realizó mediante un ANOVA anidado, en el que la parcela fue un factor aleatorio anidado en el factor grupo. Se aplicó el análisis de comparación de medias LSD de Fisher al 95% de significación. Todos los análisis fueron realizados con el programa STATISTICA (StatSoft, 2007).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El dendrograma originado por el análisis cluster a partir de las variables de suelo (fig. 1) sugiere la distribución de las parcelas muestreadas en dos grupos bien diferenciados, el primero formado por las parcelas J1 a J7 y el segundo por las parcelas J8 a J14. Los valores medios de las variables edáficas de cada grupo, junto con la información disponible de carga ganadera de las explotaciones, revelan un gradiente de intensidad de pastoreo: moderada para el primero y alta para el segundo (tabla 1). Se observan diferencias significativas en los valores de C.I.C., así como en los contenidos de M.O., P asimilable, N orgánico y en los cationes de cambio K⁺ y Ca²⁺. En el pH también se observa cierta tendencia aunque las diferencias no llegan a ser significativas. Valores más altos en dichas variables se han asociado a una mayor intensidad de pastoreo, ya que las deyecciones sólidas y líquidas del ganado son fuente de materia orgánica y de nutrientes en formas disponibles para las plantas (Unkovich *et al.*, 1998), enriqueciendo el suelo principalmente en nitrógeno y potasio, aunque también fósforo. No obstante, el sustancial incremento de P asimilable (de 6,6 mg kg⁻¹ a 20,1 mg kg⁻¹) se debe además, a las fertilizaciones fosfóricas realizadas para la mejora de los pastos, ya que constituye una práctica habitual en algunas de estas dehesas. El IC medido para los primeros 5 cm de suelo es significativamente distinto para ambos grupos, asociándose el mayor valor con mayor intensidad de pastoreo, ya que el pisoteo del ganado produce una compactación que suele afectar sólo a la superficie del suelo (Moreno *et al.*, 2011).

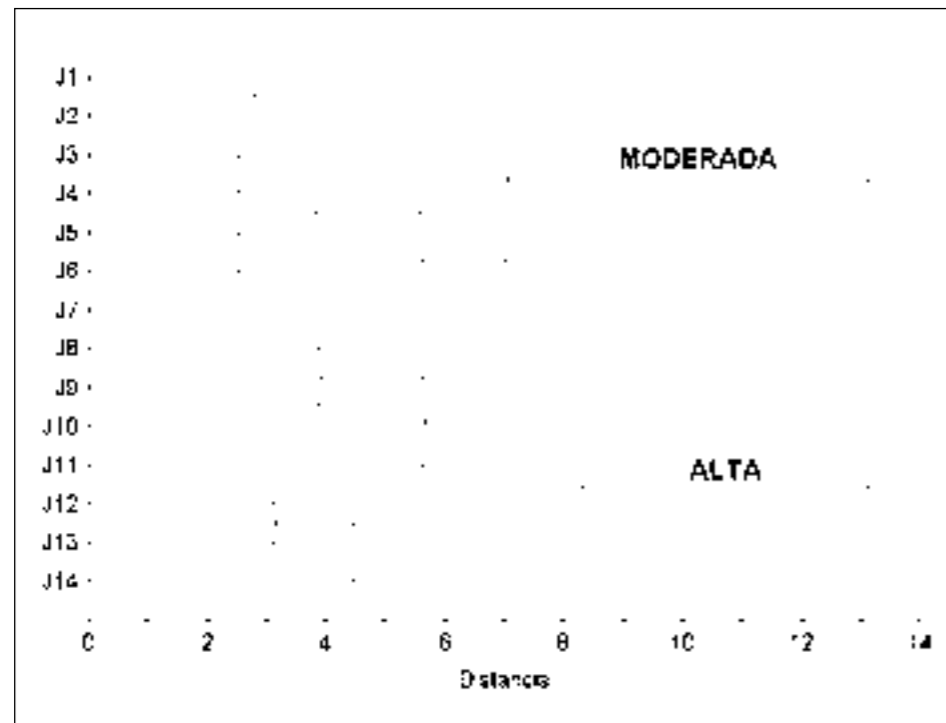


Figura 1. Dendrograma resultante del análisis cluster jerárquico aplicado a las variables de suelo (IC, % SB, arcilla, arena y limo, materia orgánica, P disponible, N orgánico, pH, CIC y cationes de cambio K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} y Na^+).

Tabla 1. Valores medios (Error std.) de las variables de suelo y resultados del ANOVA de una vía según la intensidad de pastoreo.

	Moderada	Alta	F	g.l.	p
Índice de cono (MPa)	2,18 (0,15)	2,84 (0,09)	13,91	1	0,00
Arcilla (%)	5,4 (0,33)	6 (0,37)	1,36	1	0,26
Arena (%)	79,6 (1,28)	79,1 (1,25)	0,09	1	0,77
Limo (%)	15,0 (1,22)	14,9 (1,20)	0,00	1	0,98
pH	5,56 (0,11)	5,88 (0,11)	4,11	1	0,06
Materia orgánica (%)	2,00 (0,18)	3,17 (0,30)	10,91	1	0,00
P asimilable ($mg\ kg^{-1}$)	6,6 (0,1)	20,1 (3,5)	16,73	1	0,00
CIC ($meq\ kg^{-1}$)	76,3 (3,5)	100,9 (5,9)	12,89	1	0,00
K^+ ($meq\ kg^{-1}$)	2,9 (0,2)	5,1 (0,5)	11,26	1	0,00
Ca^{2+} ($meq\ kg^{-1}$)	31,4 (2,2)	44,8 (3,0)	13,13	1	0,00
Mg^{2+} ($meq\ kg^{-1}$)	24,0 (2,4)	18,3 (3,0)	2,14	1	0,17
Na^+ ($meq\ kg^{-1}$)	3,0 (0,2)	3,6 (0,3)	2,65	1	0,13
N orgánico (%)	0,08 (0,00)	0,12 (0,01)	6,50	1	0,02
% S.B.	81 (4,85)	71 (2,16)	3,02	1	0,11

El grado de intensidad de pastoreo afecta al contenido de algunos macronutrientes foliares en la encina (fig. 2, tabla 2). Los contenidos de N en hoja son significativamente mayores en aquellos árboles que se encuentran en las parcelas con intensidad de pastoreo alta. No obstante, existe variación en los contenidos de N foliar entre las parcelas pertenecientes a cada grupo. Estas parcelas presentan en el suelo mayor contenido en materia orgánica. Estos resultados pueden estar relacionados con los aportes de N a partir de las deyecciones del ganado, pero también con el hecho de que, en general, el pastoreo intensivo en ambientes mediterráneos favorece a las leguminosas anuales (Rochon *et al.*, 2004), las cuales, como fijadoras de nitrógeno modifican el medio incrementando la cantidad de este nutriente en el suelo y su disponibilidad para otras especies de los pastos y para el arbolado. Los niveles de P foliar no registran variaciones significativas a medida que aumenta la intensidad de pastoreo, existiendo diferencias entre las parcelas de un mismo grupo. Existen marcadas diferencias en el contenido de P asimilable en suelo entre grupos de parcelas. La dificultad que tiene el fósforo de estar disponible para la planta en suelos con pH ácidos, junto con las eventuales fertilizaciones fosfóricas que se realizan en la zona antes comentada, complica la interpretación de los resultados.

Los contenidos de Mg en hoja de encina son significativamente mayores cuando existe una mayor intensidad de pastoreo, aunque en suelo no hay diferencias, mientras que los contenidos foliares de Ca y K no se ven afectados por la intensidad de pastoreo, existiendo diferencias en suelo. Sardans *et al.* (2007 y 2008) trabajando en bosques mediterráneos, encuentran diferencias en los contenidos de Mg y P en la hoja de encina cuando se somete al bosque a periodos de sequía y en cambio ésta no tiene un efecto significativo en los contenidos foliares de Ca y K. Dado que la sequía afecta también de forma directa a la fertilidad del suelo, estos autores indican que es difícil discernir si el aumento del contenido en hoja de Mg y P es una respuesta a la sequía o a la reducción de la fertilidad del suelo. En la dehesa, el aumento de la intensidad de pastoreo, además de modificar la fertilidad del suelo está alterando el flujo de agua en el suelo y el aumento de la concentración de Mg en hoja detectada en este trabajo pudiera ser una respuesta del árbol a una reducción de la disponibilidad hídrica mediada por el pastoreo. Así, diversos trabajos han puesto de manifiesto que el pisoteo del ganado produce generalmente un aumento de la compactación y una disminución de la porosidad del suelo, principalmente a costa de los macroporos (Schnabel y Mateos Rodríguez, 2000), quedando estos efectos confinados en la superficie (Moreno *et al.*, 2011). Como consecuencia, la tasa de infiltración disminuye (Pietola *et al.*, 2005), manteniéndose alta durante más tiempo la humedad del suelo en superficie. Por el contrario, aumentaría la evaporación y la escorrentía, acumulándose en profundidad menor cantidad de agua. Esta alteración del movimiento del agua en el perfil del suelo parece aumentar la disponibilidad hídrica en superficie (Moreno *et al.*, 2011), donde se desarrolla el sistema radical del arbolado pero también el de los pastos herbáceos, y la reduce en profundidad, donde sólo llegan las raíces de los árboles. La acumulación de materia orgánica sobre el suelo debido al pastoreo contribuye también a mantener agua en la superficie durante

más tiempo. Si bien en estas dehesas llanas y para los pastos herbáceos el balance neto de disponibilidad de agua durante el ciclo puede verse incrementado con el aumento de la intensidad de pastoreo, para el árbol puede existir un balance negativo, que puede estar modificando la disponibilidad y absorción de algunos nutrientes.

Tabla 2. Resultados del ANOVA anidado para el contenido de macronutrientes en hoja de encina, siendo la intensidad de pastoreo un factor fijo y la parcela un factor anidado.

Nutrientes	Intensidad de pastoreo			Parcela (Intensidad de pastoreo)		
	F	g.l.	p	F	g.l.	P
N	14,41	1	0,00	1,97	12	0,04
P	1,47	1	0,22	2,43	12	0,01
K	2,23	1	0,14	1,37	12	0,20
Ca	0,13	1	0,72	0,96	12	0,49
Mg	36,41	1	0,00	1,52	12	0,13

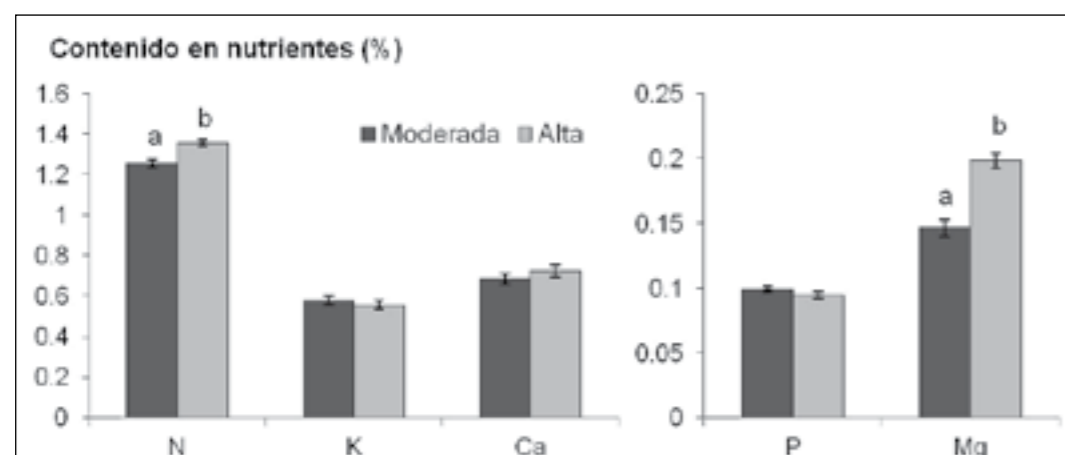


Figura 2. Valores medios y error estándar de los contenidos de nutrientes foliares en encina según la intensidad de pastoreo. Letras distintas significan diferencias significativas al 5% según el test LSD de Fisher.

CONCLUSIONES

La intensidad de pastoreo en la dehesa tiene efectos significativos en variables edáficas como el índice de cono, el contenido en materia orgánica, el N orgánico, la C.I.C. y los cationes de cambio K^+ y Ca^{2+} . La intensidad de pastoreo afecta al contenido de N y Mg foliar de la encina, incrementando su valor a medida que la presión de pastoreo es mayor. Sin embargo, no parece tener efecto sobre los contenidos de P, K y Ca. No existe una correspondencia entre el contenido de nutrientes en suelo y en hoja de encina.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGÜERA J. Y GIL J. (1986) Penetrómetro portátil para la medida del índice de cono. En: *Actas de la conferencia internacional de mecanización agraria*, pp. 201-206, Zaragoza, España.
- M.A.P.A. (1994) *Métodos oficiales de análisis. Tomo III. Suelos, aguas, fertilizantes y plantas*. Madrid, España: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.
- MORENO F., CARBONERO M.D., GARCÍA A.M., LEAL J.R., HIDALGO M.T. Y FERNÁNDEZ-REBOLLO P. (2011) Resistencia a la penetración en suelos de dehesa. Variación a lo largo del año e influencia del contenido en carbono. En: López C. et al. (Eds) *Pastos, paisajes culturales entre tradición y nuevos paradigmas del siglo XXI*, pp. 687-693. Toledo, España: Sociedad Española para el Estudio de los Pastos.
- MORENO G., OBRADOR J.J., GARCÍA E., CUBERA E., MONTERO M.J., PULIDO F. Y DUPRAZ C. (2007) Driving competitive and facilitative interactions in oak dehesas through management. *Agroforestry System*, **70**, 25-40.
- OLEA L. Y SAN MIGUEL-AYANZ A. (2006) The Spanish dehesa. A traditional Mediterranean silvopastoral system linking production and nature conservation. En: *21st General Meeting of the European Grassland Federation*, pp. 1-15. Badajoz, Spain: Sociedad Española para el Estudio de los Pastos.
- PIETOLA L., HORN R. Y YLI-HALLA M. (2005) Effects of trampling by cattle on the hydraulic and mechanical properties of soil. *Soil & Tillage Research*, **82**, 99-108.
- RIVEST D., ROLO V., LÓPEZ-DÍAZ L. Y MORENO G. (2011) Shrub encroachment in Mediterranean silvopastoral systems: *Retama sphaerocarpa* and *Cistus ladanifer* induce contrasting effects on pasture and *Quercus ilex* production. *Agriculture, Ecosystem & Environment*, **141**, 447-454.
- ROCHON J.J., DOYLE C.J., GREEF J.M., HOPKINS A., MOLLE G., SITZIA M., SCHOLEFIELD D. Y SMITH C. J. (2004) Grazing legumes in Europe: a review of their status, management, benefits, research needs and future prospects. *Grass and Forage Science*, **59**, 197-214.
- SARDANS J. Y PEÑUELAS J. (2007) Drought changes phosphorus and potassium accumulation patterns in an evergreen Mediterranean forest. *Functional Ecology*, **21**, 191-201.
- SARDANS J., PEÑUELAS J. Y OGAYA R. (2008) Drought's impact on Ca, Fe, Mg, Mo and S concentration and accumulation patterns in the plants and soil of a Mediterranean evergreen *Quercus ilex* forest. *Biogeochemistry*, **87**, 49-69.
- SCHNABEL S. Y MATEOS RODRÍGUEZ B. (2000) Hidrología superficial en ambientes adherados, cuenca experimental Guadalperalón. *Cuadernos de Investigación Geográfica*, **26**, 113-130.
- STATSOFT, Inc (2007) *Statistica for windows version 7.0* (Computer Program Manual) Los Angeles, USA: StatSoft
- UNKOVICH M., SANDFORD P., PATE J. Y HYDER M. (1998) Effects of grazing on plant and soil nitrogen relations on pasture-crop rotations. *Australian Journal of Agricultural Research*, **49**, 475-485.

Caracterización del comportamiento vecero de la encina mediante distintos índices

Masting evaluation in holm oak by alternation indices

M.D. CARBONERO MUÑOZ / A. GARCIA MORENO / P. FERNÁNDEZ REBOLLO

Departamento de Ingeniería Forestal. ETSIAM. Universidad de Córdoba. Campus de Rabanales. 14071 Córdoba (España)
ir1ferep@uco.es

Resumen: La producción de bellota en la encina presenta una alta variabilidad entre años, característica que en fruticultura se conoce como vecería o alternancia. A diferencia de lo que ocurre con otras especies cultivadas, no existen demasiados trabajos que aborden la evolución temporal de la producción de bellota en la dehesa. En este trabajo se aplican distintos índices, algunos de ellos ampliamente usados en fruticultura para la caracterización de la vecería de la encina en la dehesa. Los resultados muestran que la producción de bellota presenta altas oscilaciones, en gran parte de carácter bienal, presentando los árboles asincronía, y predominando además, los años de producciones bajas y altas frente a producciones intermedias. Estos resultados sugieren que la aplicación de índices de alternancia para la medición y caracterización de la vecería en la encina puede resultar de utilidad.

Palabras clave: dehesa, variación, sincronía, alternancia, bellota.

Abstract: Oak acorn production shows a great variability between years. This fact is known as masting or alternate bearing. Many studies related to fruit growing have focused on alternate bearing but little research has focused on holm oak at dehesa. In this work, masting has been evaluated with alternation indices, some of them widely used in horticulture. Results suggest that acorn production has a biennial bearing, there is a low synchrony between trees and a high frequency in off-year (little or no yield). Analysis of acorn production variability with alternation indices has allowed a better knowledge of mast seeding in holm oak.

Key words: dehesa, mast seeding, synchrony, alternate bearing, acorn.

INTRODUCCIÓN

Cuando la producción de semilla o fruto en una planta, presenta años o periodos de elevada producción seguidos de años con baja o nula producción, se dice que presenta vecería o alternancia. La vecería es un proceso inherente a la naturaleza de las plantas policárpicas y se justifica como mecanismo de supervivencia y perpetuación de las especies en el tiempo. Así las plantas forman un gran número de semillas en el año o años en carga y acumulan sustancias de reserva en el año o años de descarga (Monselise y Goldschmidt, 1982). En la vecería, además de influir aspectos propios de la especie o el cultivar, lo hacen también las condiciones ambientales y de manejo de los árboles. De hecho, la vecería es más común en hábitats de baja fertilidad, pues en esta situación el tiempo requerido para recuperarse de una alta cosecha se incrementa (Kelly y Sork, 2002).

Se han descrito hábitos alternantes de fructificación en muchas especies, tanto frutales (olivo, cítricos, etc.) como forestales (castaño, robles, encinas, etc.). En las especies frutales, la vecería es una característica de gran repercusión económica por lo

que se han desarrollado índices a fin de cuantificar su incidencia. Aunque la encina en la dehesa presenta un manejo muy próximo al de un árbol frutal, siendo la producción de mayor interés la bellota, no existen demasiados estudios que profundicen en el comportamiento individual de los árboles, y que lo aborden desde un enfoque agronómico. En este trabajo se pretende analizar la vecería o alternancia de la producción de bellota mediante diferentes índices, analizando su utilidad en la caracterización de la producción de bellota en la dehesa.

MATERIAL Y MÉTODOS

El estudio se realizó en la finca Navalpaloma situada al nordeste de la provincia de Córdoba (T.M. Cardeña) y cuyo arbolado está compuesto por encinas con una densidad media de 67 árboles/ha. La finca se dedica a la producción de cerdo ibérico y vacuno de carne en ecológico, presentando cargas ganaderas de 0,64 cerdos/ha y 0,39 vacas/ha. Se estimó la producción de bellota en 50 árboles utilizando la metodología descrita en Carbonero *et al.* (2009) durante seis años (2001 a 2006).

Las variaciones de la producción de bellota se estudiaron mediante los siguientes índices:

1. Vecería o alternancia de la producción de bellota (variaciones entre años).

a. *Comportamiento bienal* (B): Porcentaje de ocasiones (pares de años sucesivos) donde la tendencia de incremento o descenso de la producción es de diferente signo (Monselise y Goldschmidt, 1982). Los valores oscilan de 0 a 1 (0 a 100% en porcentaje). El 100% indica un comportamiento bienal perfecto.

b. *Intensidad de la vecería* (I): Valor medio del cociente entre las diferencias de la producción de bellota entre años consecutivos y el total (Monselise y Goldschmidt, 1982). I varía de 0 a 1 (0 a 100% en tanto por 100).

$$I = \frac{1}{n-1} \left(\frac{a_2 - a_1}{a_2 + a_1} + \frac{a_3 - a_2}{a_3 + a_2} + \dots + \frac{a_n - a_{n-1}}{a_n + a_{n-1}} \right)$$

n = n° de años; a₁, a₂, ..., a_n = producción del año n.

c. *Porcentaje relativo* (RP): Cociente entre la cosecha mínima y la máxima para un periodo de tiempo determinado (Monselise y Goldschmidt, 1982).

d. *Coefficiente de variación entre años* (CVi): Cociente entre la desviación estándar y la media de las producciones anuales obtenidas para una serie de años.

e. *Bimodalidad* (Bm): Número de años en que la productividad individual de cada árbol se sitúa en el tercio inferior, medio o superior de su rango de productividad (Koenig *et al.*, 1994). Se empleó el test de Wilcoxon que compara pares de muestras relacionadas.

2. Sincronía de la producción de bellota:

a. *Porcentaje de sincronización* (SP): Porcentaje medio de árboles con idéntica tendencia de cambio respecto a la cosecha anterior en n años (Monselise y Goldschmidt, 1982).

b. *Coefficiente de concordancia de Kendall* (W): Medida del grado de concordancia entre un grupo de elementos (árboles) y un grupo de características (valores anuales de producción de bellota). Este estadístico sigue una χ^2 con n-1 grados de libertad. Sus valores oscilan entre 0 (concordancia nula) y 1 (concordancia total) (Martín *et al.*, 1998).

Además, la variabilidad de la producción entre árboles se analizó mediante el coeficiente de variación (CVp) para cada año y para el total del periodo. Los valores de producción de bellota (kg/árbol) y productividad de bellota (g/m² de superficie de proyección de copa), referidos a sustancia fresca, se compararon entre años mediante un anova unifactorial. Cuando las diferencias entre años fueron significativas, se usó el test de Scheffé para establecer grupos homogéneos. La normalidad y homogeneidad de la varianza fue analizada mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov y el test de Levene, respectivamente. Cuando estas condiciones no se cumplieron, los datos fueron transformados logarítmicamente [(ln (x+1))]. Todos los análisis se realizaron usando el software STATISTICA 6.0.

RESULTADOS

La producción media de bellota de los árboles analizados ha oscilado entre los 5,6 kg y 84 g/m² en 2005 y los 27,0 kg y 407 g/m² en 2003 (tabla 1). El análisis de la varianza para la productividad (df=5; F=23,2 p<0,01) separa claramente a los tres primeros años, con productividades altas, de los tres siguientes con productividades más bajas. Existe una gran disparidad en las producciones individuales cada año, con coeficientes de variación que oscilan desde 79,2% (2003) al 128,6% (2004).

En la tabla 2, se exponen los valores de los índices empleados para la evaluación de la vecería y la sincronía de las producciones. La variabilidad interanual para cada encina (CVi=85,8%) fue inferior a la variabilidad media de seis años registrada para el conjunto de los árboles (CV=100,4%) (tabla 1). Es decir, es menor la variabilidad de la producción encontrada para una encina entre años que entre encinas. El estadístico RP (porcentaje que supone la productividad mínima respecto de la máxima) alcanza un valor medio para los cincuenta árboles de 11,3%, y la intensidad de la vecería (I) de 46,1%. Si entendemos el índice B como el porcentaje de ocasiones en las que las variaciones de productividad en un año determinado respecto al anterior y al posterior son de distinto signo, encontramos una importante presencia de la misma en los pies estudiados (62,8%) (tabla 2). Los resultados de la tabla 3, indican que en las encinas existe bimodalidad pues predominan años con bajas productividades (3,02 de cada seis años) y años con altas productividades (1,8 de cada seis años) sobre años con productividades intermedias.

La sincronía entre pies la mide el coeficiente de concordancia *W* de Kendall, que para los seis años de estudio arroja un valor de 0,396 (tabla 2). El índice SP indica que de media un 65,1% de los árboles evoluciona a la vez (tabla 2) aunque tras el periodo de altas producciones que va de 2001 a 2003, encontramos un valor máximo de sincronización con un 83,7% de árboles que tienen una tendencia productiva descendente (fig. 1).

Tabla 1. Productividad (g MF m⁻²) y producción (kg MF árbol⁻¹) media de bellota de encina en la dehesa (error estándar entre paréntesis) durante 2001 a 2006. Para cada año se incluye el coeficiente de variación de la productividad entre árboles (CVp). Diferentes letras minúsculas indican diferencias significativas entre años.

	Años						Total
	2001	2002	2003	2004	2005	2006	
Productividad	387 (48) b	316 (46) b	407 (46) b	166 (30) a	84 (10) a	149 (26) a	252 (23)
Producción	26,3 (3,7) c	21,6 (3,8) bc	27,0 (3,1) c	11,4 (2,3) ab	5,6 (0,8) a	10,1 (1,9) ab	17,0 (1,9)
CVp (%)	86,8	102,6	79,2	128,6	82,3	122,7	100,4

MF: materia fresca

Tabla 2. Valores medios de los índices (DE) empleados para la caracterización de la vecería y sincronía de la producción de bellota de la encina en la dehesa durante el periodo 2001 a 2006 (su descripción se incluye en material y métodos).

Vecería				Sincronía	
<i>B</i> (%)	<i>I</i> (%)	<i>RP</i> (%)	<i>CVi</i> (%)	<i>W</i>	<i>SP</i> (%)
62,8 (35,0)	46,1 (16,5)	11,3 (10,8)	85,8 (32,7)	0,396**	65,1 (10,7)

** p<0,01

Tabla 3. Bimodalidad de la producción de bellota. Número medio de años y desviación estándar en los que la productividad individual de los árboles se encuentra en el tercio inferior, medio y superior del rango de productividad del periodo 2001-2006.

Número de años en			p (respecto al tercio intermedio)	
Tercio inferior	Tercio intermedio	Tercio superior	Tercio inferior	Tercio superior
3,02±1,06	1,18±0,85	1,80±0,81	<0,001	0,001

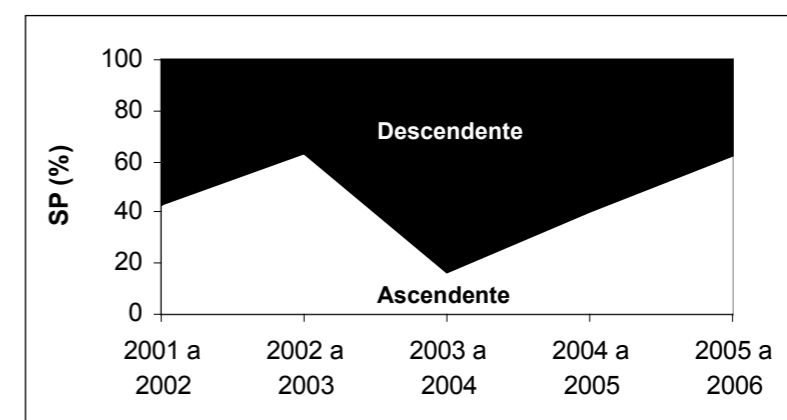


Figura 1. Porcentaje de árboles con idéntica tendencia de cambio productivo (ascendente o descendente) respecto a la cosecha anterior durante el periodo 2001- 2006.

DISCUSIÓN

La variación de la producción de bellota entre encinas para un mismo año es fuerte, encontrándose una gran diferencia entre valores máximos y mínimos y un alto valor del coeficiente de variación (CVp). Este hecho también es citado por López-Carrasco *et al.* (2005) en la dehesa y por Siscart *et al.* (1999) en bosques de encina. La oscilación de la productividad individual entre años (CVi) alcanza en este estudio un valor medio del 85,8%, indicando que, en general, todos los individuos muestreados sufren importantes variaciones en la producción de bellota a lo largo del tiempo. Esta cifra es algo superior a la encontrada por Martín *et al.* (1998) y Carbonero *et al.* (2005) en dehesas andaluzas, y se encuentra en el rango de las aportadas para especies americanas de robles (Koenig *et al.*, 1994). La intensidad de la vecería (*I*) y el porcentaje relativo (*RP*) presentan valores similares a los obtenidos en variedades y zonas de olivar consideradas veceras (Monselise y Goldschmidt, 1982). Aunque *I* y *CVi* son índices que abordan la variabilidad en la producción, el primero presenta una aportación muy interesante para cultivos veceros y en los que la producción de un año condiciona la del siguiente y es la medición de la cuantía de las variaciones en años consecutivos. En el presente trabajo se ha detectado la presencia de bimodalidad en el comportamiento productivo de los árboles, hecho también publicado para diferentes especies de *Quercus* americanos (Koenig *et al.*, 1994). Además, la encina muestra un comportamiento bienal (*B*), siendo frecuente los individuos que alternan producciones altas y bajas de fruto en años consecutivos, aunque los valores son inferiores a los obtenidos en olivo que generalmente superan el 75% (Monselise y Goldschmidt, 1982; Ramírez, 2001).

Otro factor que caracteriza al arbolado de *Quercus* es la existencia de una cierta asincronía en las producciones (Herrera, 1998), de hecho, el coeficiente de concordancia *W* de Kendall obtenido en este trabajo presenta unos valores bajos, comparables a la obtenidos en dehesas andaluzas por Carbonero *et al.* (2005), e inferiores a los apor-

tados por Martín *et al.* (1998) que obtienen valores de 0,7 para parcelas monoespecíficas de encina. De media existe un 65,1% de árboles que evolucionan a la vez (SP), cifra inferior a la obtenida generalmente en olivo que suele superar el 80% (Monselise y Goldschmidt, 1982; Ramírez, 2001). Esta baja sincronía del arbolado a la hora de producir es, en parte, responsable de los altos coeficientes de variación de la producción dentro de un mismo año. De hecho, Herrera *et al.* (1998) indican que la sincronía y la variabilidad de las producciones han evolucionado de manera independiente, probablemente como estrategia para asegurar la supervivencia de semillas en medios inestables. Cuando se analiza el coeficiente SP por bienios (fig. 1), encontramos que el mayor valor se encuentra de 2003 a 2004, justo después del año de mayor cosecha que acaece en 2003, existiendo un 83,7% de árboles con tendencia productiva descendente. Esto podría estar en consonancia con lo expuesto por Ramírez (2001), que señala que el grado de sincronía aumenta tras un año de cosechas máximas, pues una alta cosecha generalizada provoca una mayor inhibición de yemas florales, dando como resultado una reducción de la producción del año siguiente.

CONCLUSIONES

La variación de la productividad entre encinas para un mismo año es alta, encontrándose una gran diferencia entre valores máximos y mínimos, con un alto valor del coeficiente de variación. En las producciones de bellota de encina en la dehesa predominan años con bajas productividades y años con altas productividades sobre años con productividades intermedias. El comportamiento bienal es frecuente, predominando las encinas a las que, tras un año de mayor producción le sigue otro de menor producción y viceversa. Además la sincronía productiva entre árboles es baja, existiendo de media un 65,1% de árboles cuyas producciones evolucionan a la vez. El uso de índices de alternancia manejados en fruticultura permite una caracterización más exacta de las oscilaciones individuales en la producción de bellota.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CARBONERO M.D., FERNÁNDEZ, P., BLÁZQUEZ, A., FERNÁNDEZ, A. Y NAVARRO, R. (2005). Sincronización y vecería de la producción de bellota en dehesas andaluzas durante el periodo 2001-2004. En: Osoro K. *et al.* (eds) *Producciones agroganaderas: gestión eficiente y conservación del medio natural*, pp 721-726. Villaviciosa, España: Sociedad Española para el Estudio de los Pastos.
- CARBONERO M.D., GARCÍA A., CALZADO C. Y FERNÁNDEZ P. (2009) La producción de bellota en la dehesa y su relación con parámetros meteorológicos. En: Reiné *et al.* (eds) *La multifuncionalidad de los pastos: producción ganadera sostenible y gestión de los ecosistemas*, pp. 597-604. Huesca, España: Sociedad Española para el Estudio de los Pastos.
- HERRERA C.M., JORDANO P., GUITIÁN A. Y TRAVESET A. (1998) Annual variability in seed production by woody plants and the masting concept: reassessment of principles and relationship to pollination and seed dispersal. *The American Naturalist*, **152** (4), 576-594.

- KELLY D. Y SORK V.L. (2002) Mast Seeding in Perennial Plants: Why, How, Where? *Annual Review of Ecology and Systematics*, **33**, 427-447.
- KOENIG W., MUMME R., CARMEN W. Y STANBACK M. (1994) Acorn Production by Oaks in Central Coastal California: Variation within and among Years. *Ecology*, **75** (1), 99-109.
- LÓPEZ-CARRASCO C., MUÑOZ DE LUNA T., DAZA A., REY A. Y LOPEZ BOTE C. (2005) Variaciones inter e intraanuales de la calidad de bellotas de encina en una dehesa de Castilla-La Mancha. En: Osoro K. *et al.* (eds) *Producciones agroganaderas: gestión eficiente y conservación del medio natural*, pp 391-398. Villaviciosa, España: Sociedad Española para el Estudio de los Pastos.
- MARTÍN A., INFANTE J.M., GARCÍA J., MERINO J. Y FERNÁNDEZ R. (1998) Producción de bellotas en montes y dehesas del suroeste español. *Pastos*, **28** (2), 237-248.
- MONSELISE S. Y GOLDSCHMIDT E. E. (1982) Alternate bearing in fruit trees. *Hort. Rev.*, **4**, 128-173.
- RAMÍREZ M. (2001) *Variabilidad de la producción en olivo (Olea europaea L.). Relación entre alternancia, floración, vigor y productividad*. Córdoba, España, Tesis doctoral. Universidad de Córdoba.
- SISCART D., DIEGO V. Y LLORET F. (1999) Acorn ecology. En: *Ecology of Mediterranean evergreen forest*. En: Rodá *et al.* (eds) *Ecology of Mediterranean evergreen forest*, pp 75-87. Berlin and Heidelberg, Alemania: Springer-Verlag.

Las enmiendas calizas como estrategia para disminuir la podredumbre radical de *Quercus sp.* en la dehesa

Limestone amendments as a measure against root rot of *Quercus sp.* caused by *P. Cinnamomi* in dehesa systems

J.R. LEAL MURILLO¹ / P. DE VITA² / M.S. SERRANO MORAL² /
M.E. SÁNCHEZ HERNÁNDEZ² / P. FERNÁNDEZ REBOLLO¹

¹Departamento de Ingeniería Forestal

²Departamento de Agronomía, Área de Patología Agroforestal. ETSIAM. Universidad de Córdoba.
Campus de Rabanales. 14071 Córdoba (España). ir1ferrep@uco.es

Resumen: La podredumbre radical causada por los patógenos de suelo *Phytophthora cinnamomi* y *Pythium spiculum*, está ocasionando una mortalidad elevada en el arbolado de algunas dehesas del suroeste de la península Ibérica. Los experimentos llevados a cabo en condiciones controladas con suelo infectado artificialmente, han puesto de manifiesto que algunos compuestos cálcicos reducen la viabilidad de *P. cinnamomi*, principalmente debido a una disminución significativa de la producción de esporangios. En otoño del 2010 se puso en marcha un experimento de aplicación de enmiendas calizas con distintos productos en dehesas de la provincia de Huelva con podredumbre radical en su arbolado causada por *P. cinnamomi*, evaluándose los cambios en variables edáficas, la evolución del patógeno en suelo y de la defoliación de la copa del arbolado. Los resultados obtenidos hasta ahora indican que las enmiendas calizas podrían limitar la capacidad infectiva de *Phytophthora cinnamomi* en la dehesa, corroborando lo que se observa en condiciones controladas.

Palabras clave: decaimiento, *Phytophthora cinnamomi*, defoliación, calcio.

Abstract: The root rot caused by the soilborne pathogens *Phytophthora cinnamomi* and *Pythium spiculum*, is leading to significant oak tree mortality in dehesas farms in southwestern of Iberian Peninsula. Experiments performed with artificially infested soil in controlled conditions showed that some Ca chemicals induce a decrease of *P. cinnamomi* viability, mainly due to a significant inhibition of sporangial production. An experiment with different types of limestone amendments was carrying on during autumn of 2010 in dehesas farms with oak root rot caused by *P. cinnamomi* in Huelva province. We evaluated the change of soil parameters, the evolution of density of soil pathogens and defoliation of tree crown. So far, results obtained indicate that limestone amendments may limit the infectivity of *P. cinnamomi*, corroborating results observed under controlled conditions.

Key words: decline, *Phytophthora cinnamomi*, defoliation, calcium.

INTRODUCCIÓN

La dehesa es un sistema agrosilvopastoral con finalidad predominante ganadera, creado por el hombre al que se le otorga un elevado valor natural. La encina es el árbol más representativo de la dehesa (Costa *et al.*, 2006) y su presencia en el sistema es fundamental desde un punto de vista ecológico (Fernández y Porrás, 1998; Díaz *et al.*, 2003) pero también económico ya que, además de incrementar el valor de la propiedad, favorece la actividad cinegética y el turismo rural, produce ramón, leña y un preciado fruto: la bellota. La escasez de regenerado viable en un gran número de explotaciones supone un grave peligro para la sostenibilidad a largo plazo de este estrato (Costa *et al.*, 2006), a lo que hay que sumar el decaimiento del arbolado que ha dado lugar a la pérdida de un elevado número de encinas (García *et al.*, 2008). Entre las

enfermedades asociadas al decaimiento de los *Quercus* en la Península Ibérica, destacan por su gravedad las podredumbres radicales causadas por oomicetos: *Phytophthora cinnamomi* (Brasier, 1996; Sánchez *et al.*, 2002; 2003) y *Pythium spiculum* (Jiménez *et al.*, 2008).

El control de esta enfermedad no es fácil y entre las prácticas que pueden realizarse en las dehesas gracias a su coste asequible, capacidad de poder ser ejecutadas en superficies extensas y baja agresividad con el medio ambiente, hemos estudiado las enmiendas cálcicas y la fertilización potásica. Los resultados indican que algunas sales de calcio, como el óxido de calcio, el carbonato cálcico y el sulfato cálcico, aunque no impiden la germinación de las clamidosporas existentes, sí inhiben la producción de esporangios y por lo tanto, son capaces de anular o disminuir la capacidad infectiva del patógeno al limitar la producción de zoosporas infectivas (Serrano *et al.*, 2011a). Además, la aplicación de enmiendas calizas puede suponer una mejora del estado nutricional de los árboles en la dehesa, e incrementar su tolerancia a la infección (Serrano *et al.*, 2011c), disminuyendo la sintomatología causada por la podredumbre radical (Serrano *et al.*, 2011b). Estos resultados se han obtenido en experimentos realizados en condiciones controladas y con planta joven de encina. En otoño del 2010 se puso en marcha un experimento de aplicación de enmiendas calizas en dehesas de la provincia de Huelva con problemas de podredumbre radical, evaluándose los cambios que induce en las variables edáficas, la evolución del patógeno en suelo y el estado del arbolado. En esta comunicación se presentan los resultados obtenidos tras un año de la aplicación.

MATERIAL Y MÉTODOS

Localización y descripción

Los ensayos de enmiendas se han realizado en dos fincas situadas en el término municipal de La Puebla de Guzmán en la provincia de Huelva. Una de ellas presenta encinas adultas con una densidad de 36,2 pies/ha, mientras que la segunda es una forestación de encinas realizada hace 14 años con una densidad inicial de 350 pies/ha. La topografía de ambas parcelas es ondulada, aunque la pendiente es algo mayor en la forestación. El clima se caracteriza por una precipitación media anual 579 mm y una temperatura media anual 16,6 °C, siendo la temperatura media de las máximas 22,7 °C y la media de las mínimas 11,1 °C. El suelo proviene de pizarras y esquistos paleozoicos, siendo de escasa profundidad y ácido.

Tratamientos

Los tratamientos ensayados en cada finca han sido enmiendas en cobertera con: (i) carbonato cálcico (riqueza OCa 55,78%) y dosis de 1.500 kg/ha; (ii) sulfato cálcico (riqueza OCa 32,51%) y dosis de 2.500 kg/ha. Se han elegido estos dos productos

atendiendo a los resultados obtenidos en condiciones controladas y por sus efectos divergentes sobre el pH del suelo. Además, las dosis se han fijado considerando aquellas que han resultado efectivas en el control de la enfermedad en los ensayos realizados en condiciones controladas y aportando con ambos productos cantidades similares de OCa. Las parcelas tienen una superficie de una hectárea cada una (200 m de largo por 50 m de ancho), estableciéndose una parcela (iii) testigo entre ambas consistente en la ausencia de aporte de cal. Los tratamientos fueron aplicados con abonadora centrífuga en noviembre de 2010.

Evaluaciones

Para evaluar y cuantificar la presencia de *P. cinnamomi* y *P. spiculum* se han tomado muestras de suelo de los primeros 30 cm, una vez retirada la vegetación y el mantillo de la superficie, en tres zonas de cada parcela. Las muestras de suelo se han secado al aire a temperatura ambiente y se han tamizado (2 mm tamaño de poro). De cada muestra se han pesado 10 g de suelo seco que se han suspendido en 200 ml de Agar-Agua estéril al 0,2% y se han homogeneizado, tomándose alícuotas de 1 ml que se han sembrado en placas Petri con medio NARPH. Para cada muestra de suelo se han preparado 20 placas Petri que se han incubado a 24° C en oscuridad durante 24 horas. Posteriormente, se ha lavado la superficie de cada placa con agua estéril, eliminando la mezcla suelo-agar-agua, y se ha vuelto a incubar 48 h a 24° C en oscuridad. Las colonias obtenidas se han identificado y contado presentándose los datos en unidades formadoras de colonia por gramo de suelo (ufc/g). Las muestras de suelo se han tomado en dos momentos: en octubre de 2010 antes del tratamiento y en mayo de 2011. En mayo de 2011 y en los mismos puntos donde se ha evaluado la presencia de patógenos, se han tomado muestras de suelo a tres profundidades (0-4 cm, 4-8 cm y 8-12 cm). Cada muestra estaba compuesta por 10 submuestras. Se ha medido pH (extracto suelo/agua 1/2,5) y Ca de cambio (extracto acetato amónico). En cada parcela se han seleccionado 5 encinas evaluándose en octubre de 2010, antes de los tratamientos y en junio de 2011, el grado de defoliación de la copa (%) siguiendo las recomendaciones propuestas en Calzado *et al.* (2010).

La evolución de la presencia de patógenos en el suelo y de la defoliación del arbolado según el tratamiento se ha analizado mediante T-test de medidas relacionadas. Además se han comparado mediante ANOVA las variables edáficas considerando tres factores fijos (finca, tratamiento y profundidad) y sus interacciones. La relación existente entre la abundancia de los patógenos y las variables edáficas se ha analizado mediante el coeficiente de correlación de Pearson. Para el análisis estadístico, los datos relativos a la presencia de patógenos y la defoliación se han transformado según las siguientes expresiones: $(0,5 + \text{ufc/g})^{1/2}$ y $(\text{defoliación} - \text{en tanto por uno})^{1/2}$. Todos los análisis fueron realizados con el programa STATISTICA ver. 8.0.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El suelo de las dos fincas muestra distinta acidez ($F= 60,9$; $p<0,01$), siendo los valores medios de las parcelas testigo de 5,9 y 5,1 y, en consonancia, la concentración de calcio de cambio también es diferente ($F= 77,5$; $p<0,01$), obteniéndose para la primera finca 5,2 y 2,1 meq/100 g de suelo para la segunda. Las enmiendas con cal han modificado el pH del suelo ($F= 24,2$; $p<0,01$), aumentándolo en el caso de la aplicación de carbonato cálcico y disminuyéndolo cuando se ha distribuido sulfato cálcico (fig. 1), por el efecto acidificante del azufre. La concentración de calcio de cambio sólo aumenta significativamente cuando se aplica carbonato cálcico ($F= 11,3$; $p<0,01$) (fig. 1). En general, el pH del suelo y la concentración de calcio en el complejo de cambio disminuyen a medida que aumenta la profundidad a la que se toma la muestra. No ha existido interacción entre el tratamiento de enmienda caliza y la profundidad, indicando que el tratamiento ha modificado las variables edáficas del mismo modo en cada una de las profundidades del perfil analizado (12 cm).

La densidad de inóculo de *P. cinnamomi* ha disminuido entre los dos muestreos mientras que la de *P. spiculum* se ha mantenido en la misma magnitud. No obstante, la reducción de la densidad de *P. cinnamomi* sólo ha sido significativa en la parcela testigo. Los trabajos desarrollados por Serrano *et al.* (2011a), en los cuales se evalúa el efecto de distintas sales de calcio en el ciclo de patogénesis de *P. cinnamomi* en condiciones controladas, han puesto de manifiesto que algunos compuestos cálcicos (entre los que se encuentran el carbonato y el sulfato), inhiben eficazmente la producción de esporangios y ligeramente la producción de clamidosporas, sin afectar a la producción de zoosporas infectivas a partir de los esporangios.

Los resultados obtenidos en este trabajo sugieren que las clamidosporas de resistencia presentes en el suelo tras el verano y las producidas durante el otoño, invierno y primavera han podido producir esporangios y estos germinar dando lugar a zoosporas infectivas cuando las condiciones de humedad y temperatura han sido favorables. Por esto la densidad disminuye entre los muestreos pero, al ser la reducción sólo significativa en las parcelas testigo, el calcio parece haber inhibido la producción de esporangios a partir de las clamidosporas, permaneciendo éstas como tal en el suelo y pudiendo ser recuperadas en el muestreo de primavera. Pero, dado que las clamidosporas tienen la capacidad de persistir en latencia durante un tiempo relativamente largo (Sánchez *et al.*, 2002; 2003), la presencia del calcio como agente inhibidor debería mantenerse en el tiempo. A medida que aumenta el pH del suelo disminuye la densidad de *P. cinnamomi* ($r= -0,48$; $p<0,05$), observándose también una relación negativa entre la concentración de calcio de cambio y la densidad del patógeno, aunque no llega a ser significativa. Si bien, y tal y como ponen de manifiesto los trabajos de Serrano *et al.* (2011a), el pH del suelo no tiene capacidad para inhibir la producción de esporangios y clamidosporas, si guarda una clara relación con la concentración de calcio de cambio ($r=0,88$; $p<0,01$). No hemos encontrado relación entre la densidad de *P. spiculum* y las variables edáficas consideradas.

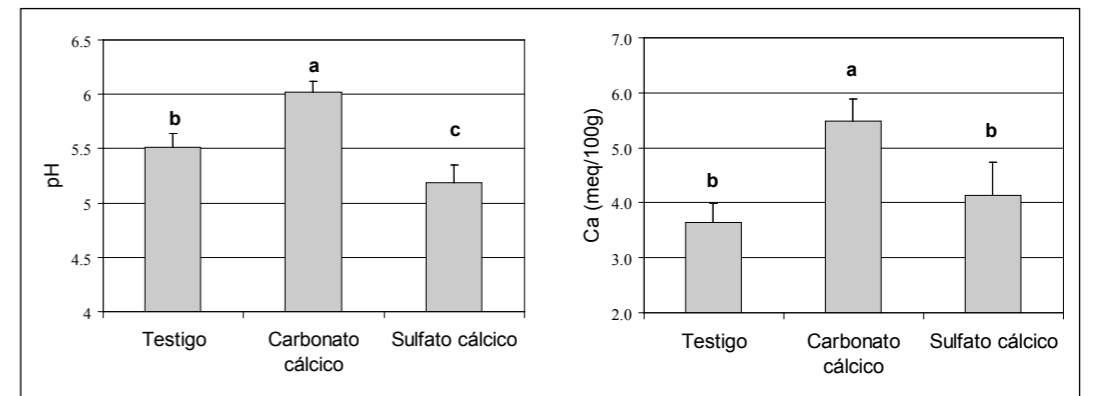


Figura 1. Valores medios de pH y Ca de cambio del suelo según tratamiento de enmienda cálcica. Letras distintas indican diferencias significativas ($p<0,05$) según el test LSD.

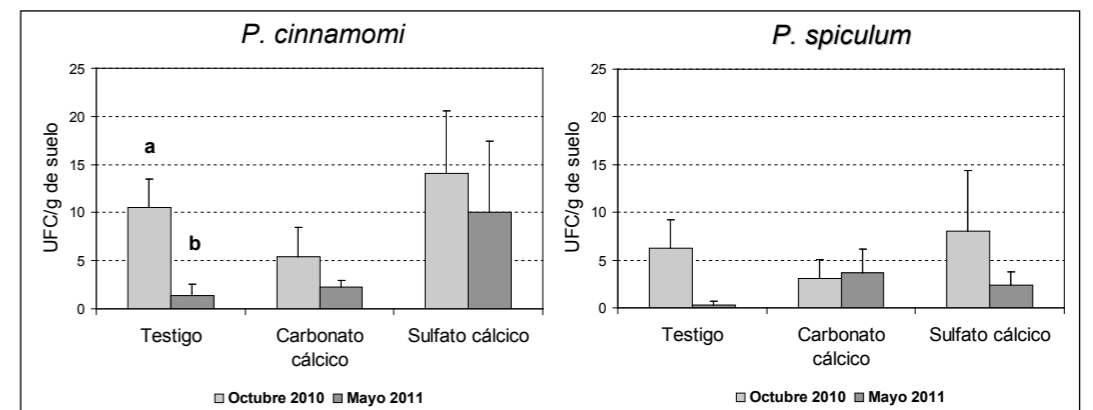


Figura 2. Densidad de inóculo de *Phytophthora cinnamomi* y *Pythium spiculum* en suelo (unidades formadoras de colonia por g de suelo -UFC/g-) antes y después de los tratamientos de enmiendas cálcicas. Letras distintas indican diferencias significativas ($p<0,05$) entre fechas de muestreos según el T-test.

La defoliación de la copa del arbolado aumenta significativamente en las parcelas testigo y se mantiene en los niveles del primer muestreo en las parcelas tratadas con carbonato cálcico. En las parcelas en las que se ha aplicado sulfato cálcico la defoliación aumenta, aunque sin diferencias significativas (fig. 3). El aumento de la defoliación media se ha debido a escasas brotaciones durante la primavera, a disminución de la densidad de hojas en sectores de copa y, en algunos individuos, a la pérdida total del follaje. En condiciones controladas Serrano *et al.* (2011b; 2011c), encuentran que la aplicación de calcio no reduce la capacidad de *P. cinnamomi* de infectar las raíces de encinas jóvenes, pero la severidad de los síntomas aéreos y radicales son menores que los observados en plantas de encinas que crecen en suelos infestados y no tratados. Además, parece que los árboles que muestran unos niveles adecuados de calcio, incrementan su nivel de tolerancia a la infección (Serrano *et al.*, 2011c), y además se reduce

la producción de esporangios desde las raicillas de plantas infectadas (Serrano *et al.*, 2011a), disminuyendo la tasa de infección y por lo tanto, la sintomatología de la podredumbre radical (Porrás *et al.*, 2010).

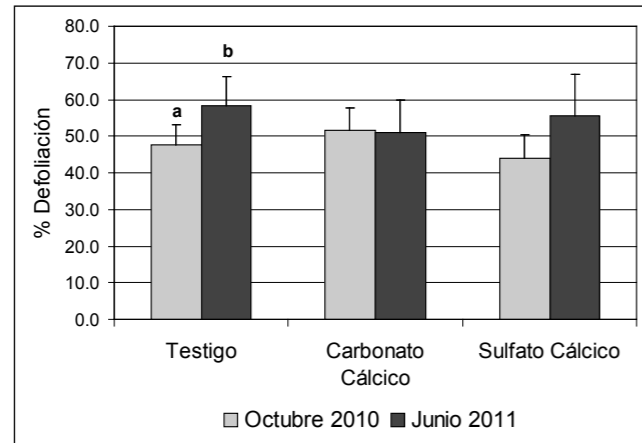


Figura 3. Defoliación de la copa de las encinas antes y después de los tratamientos de enmiendas cálcicas. Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre fechas de muestreos según el T-test.

CONCLUSIONES

La aplicación de productos cálcicos en aquellas dehesas que presentan problemas de podredumbre radical en las encinas y alcornoques parece ser una medida paliativa, confirmándose en condiciones de campo los resultados obtenidos en ensayos controlados: que el calcio actúa directamente reduciendo la producción de esporangios. Esto podría limitar la capacidad infectiva de *P. cinnamomi* en la dehesa. No obstante, y de cara a recomendar esta medida, es necesario continuar con el seguimiento de estas parcelas y obtener más datos que permitan fortalecer el conocimiento del patosistema *P. cinnamomi-Quercus*.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRASIER C.M. (1996) *Phytophthora cinnamomi* and oak decline in southern Europe. Environmental constraints including climate change. *Ann. Sci. For.*, **53**, 347-358.
- CALZADO C., FERNÁNDEZ-REBOLLO P. (2009). *Manual para el seguimiento del estado sanitario de la vegetación arbórea en la dehesa*. Sevilla, Consejería de Agricultura y Pesca y Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía.
- COSTA J.C., MARTÍN A., FERNÁNDEZ R. Y ESTIRADO M. (2006) *Dehesa de Andalucía. Caracterización ambiental*. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía.
- DÍAZ M., PULIDO F.J. Y MARAÑÓN T. (2003) Diversidad biológica y sostenibilidad ecológica y económica de los sistemas adehesados. *Ecosistemas*, **3**.

- FERNÁNDEZ P. Y PORRAS C.J. (1998) *La dehesa. Algunos aspectos para la regeneración del arbolado*. Sevilla (España), Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía.
- GARCÍA A., CALZADO C., ESCUÍN S., GUERRERO J.E., FERNÁNDEZ P. Y GONZÁLEZ M.P. (2008) Detección de cambios en la cobertura de arbolado en dehesa mediante imágenes Landsat-TM y modelos lineales de mezclas espectrales. En: Fernández P. *et al.* (Eds) *Pastos, clave en la gestión de los territorios: Integrando disciplinas*, pp. 567-574. Córdoba, España: Sociedad Española para el Estudio de los Pastos.
- JIMÉNEZ J.J., SÁNCHEZ J.E., ROMERO M.A., BELBAHRI L., TRAPERO A., LEFORT F. Y SÁNCHEZ M.E. (2008) Pathogenicity of *Pythium spiculum* and *Pythium sterillum* on feeder roots of *Quercus rotundifolia*. *Plant Pathology*, **57**, 369.
- PORRAS C.J., CASAS C. Y PORRAS M. (2010). Nuevas experiencias de lucha contra el decaimiento del encinar. *Agricultura*, **935**, 920-925.
- SÁNCHEZ M.E., CAETANO P., FERRAZ J. Y TRAPERO A. (2002) *Phytophthora* disease of *Quercus ilex* in southwestern Spain. *For. Pathol.*, **32**, 5-18.
- SÁNCHEZ M.E., SÁNCHEZ J.E., NAVARRO R.M., FERNÁNDEZ P. Y TRAPERO A. (2003) Incidencia de la podredumbre radical causada por *Phytophthora cinnamomi* en masas de *Quercus* en Andalucía. *Bol. San. Veg. Plagas*, **29**, 87-108.
- SERRANO M.S., DE VITA P., FERNÁNDEZ P., SÁNCHEZ M.E. (2011a) Control de la podredumbre radical de encinas mediante fertilizantes inorgánicos II: efecto in vitro del Ca y el K en la capacidad infectiva de *Phytophthora cinnamomi*. *Bol. San. Veg. Plagas*, **37**, 109-118.
- SERRANO M.S., DE VITA P., FERNÁNDEZ P. Y SÁNCHEZ M.E. (2011b) Control de la podredumbre radical de encinas mediante fertilizantes inorgánicos III: efecto de la aplicación al suelo de fertilizantes cálcicos y potásicos. *Bol. San. Veg. Plagas*, **37**, 119-127.
- SERRANO M.S., DE VITA P., SÁNCHEZ M.E. Y FERNÁNDEZ P. (2011c) Control de la podredumbre radical de encinas mediante fertilizantes inorgánicos I: Influencia de la nutrición cálcica y potásica en la tolerancia a la infección por *Phytophthora cinnamomi*. *Bol. San. Veg. Plagas*, **37**, 97-107.

Producción herbácea, calidad del pasto y carga ganadera en diferentes tipologías de rodales adehesados en Catalunya: efecto del arbolado

Herbage production, grass quality and stocking in different types of dehesa stands in Catalonia: trees effect

M.TAULL¹ / T. BAIGES² / P.CASALS¹

¹Grup d'Ecologia i Gestió de Sistemes Silvopastorals. Centre Tecnològic Forestal de Catalunya. Carretera de Sant Llorenç, Km. 2. Solsona

²Centre de la Propietat Forestal. Dept. d'Agricultura, Alimentació i Acció Rural. Torreferrusa. marc.tauli@ctfc.es

Resumen: El objetivo del estudio fue aumentar el conocimiento acerca de variables como la producción herbácea y calidad de la hierba en diferentes tipologías de rodales adehesados en zonas de clima húmedo en Catalunya, determinando el efecto del arbolado sobre las mismas. Se realizó un seguimiento de estas variables en diferentes rodales durante tres años. Todos los rodales muestreados tenían una cobertura arbórea entre el 40 % y 60 %, y se seleccionaron según diversos criterios: relieve (zonas llanas o abancaladas/ zonas de pendiente), intensidad de manejo agronómico (intensidad alta: 4-5 períodos de paso anuales de los animales en el rodal; intensidad media: 3 períodos de pastoreo anuales). La producción de los rodales en zonas mésicas fue superior a la de los rodales en zonas xeromésicas. La mayor calidad de la hierba (con 17,1 % de PB/MS y 23,0 % de FB/MS) se encontró en rodales situados en zonas abancaladas y con alta intensidad de manejo agronómico, mientras que la menor fue para los rodales con pasto xeromesófilo, en zona de pendiente. De los resultados obtenidos se llega a la conclusión que la producción herbácea fue mayor en las zonas entre árboles que en las zonas bajo cubierta arbórea.

Palabras clave: pastos mésicos, pastos xeromésicos, clima húmedo, intensidad de manejo agronómico, fibra.

Abstract: The aim of this study was to increase knowledge about variables such as herbage production or quality of grass for different *dehesa* stands of humid climate zones of Catalonia and determine the effect of trees on them. These variables were monitored over three years. All sampled stands showed an average tree cover between 40 and 60 %, and were selected according to the following criteria: relief (flat or terraced areas / sloppy areas), intensity of agricultural management (high intensity: 4-5 grazing periods per year, with fertilization; medium intensity: 3 grazing periods per year, without fertilization). The production in mesic stand was higher than in xeromesic stands. The higher quality of grass was in mesic stands in terraced areas with high intensity of management (17,0 % of PB and 23,0 % of FB). The lower quality of grass was in xeromesic stands in sloppy areas with medium intensity of management. Related with the effect of trees the main conclusion is herbage production was significantly higher in areas located between trees.

Key words: mesic grasslands, xeromesic grasslands, humid climate zones, intensity of agronomic management, fiber.

INTRODUCCIÓN

En Catalunya se ha producido un fuerte descenso de la cabaña ganadera de rumiantes en las últimas décadas. El caso más claro es el del ganado ovino, para el cual el descenso ha sido de una tercera parte del total en 10 años. El manejo del rebaño también ha variado: así, décadas atrás, era típica tanto la transhumancia de verano (desde el interior y la costa hacia pastos del Pirineo) como de invierno (de pastos del Pirineo hacia la Depresión del Ebro o zonas del Litoral). Esta práctica, en la actualidad, es minoritaria, y las explotaciones buscan recursos para poder mantener el rebaño en la misma finca o en fincas cercanas durante todo el año. En este aspecto, el adehesamiento de montes y las transformaciones a pasto son prácticas crecientes en los bosques privados de Catalunya, ya que puede ayudar a mejorar la autosuficiencia de las explotaciones ganaderas. En el

período 2004 – 2007, en el total de fincas privadas con Plan Técnico de Gestión y Mejora Forestal (documento de ordenación forestal para montes de propiedad privada en Catalunya) se adheraron 699 ha, en un total de 53 actuaciones (Tauli *et al.*, 2008).

El objetivo del trabajo es obtener referencias sobre la producción herbácea, calidad de la hierba, y aprovechamiento ganadero de diferentes rodales de bosques adherados que representen tipologías arbóreas habituales en zonas de clima húmedo en Catalunya. También se pretende determinar el efecto de la cobertura arbórea sobre los parámetros de producción y calidad bromatológica del estrato herbáceo, tal y como ya han planteado otros estudios en ecosistemas adherados (Plaixats *et al.* 2004, también en zonas de clima húmedo en Catalunya; López-Carrasco *et al.*, 2009, en zonas de dehesa en Castilla – La Mancha).

MATERIAL Y MÉTODOS

Planteamiento del estudio y selección de los rodales

Se realizó un seguimiento de la producción herbácea, calidad bromatológica del estrato herbáceo (fibra, proteína), y carga ganadera, en 4 rodales adherados pertenecientes a dos fincas diferentes. Todos los rodales seleccionados pertenecían a zonas de clima húmedo (definidas así a partir del índice hídrico anual de Thorthwaite), tenían orientación solana, y se gestionaban con un aprovechamiento ganadero en régimen de pastoreo rotacional.

Dos rodales pertenecían a pastos de tipo méxico y con alta intensidad de manejo, y se localizan en la finca Caselles, en el municipio de Santa Maria de Corcó (E 451508.0; N 4655091.4 31N; 960 metros de altitud, precipitación media de 850 mm año⁻¹, según datos recogidos a través de una serie histórica en la misma finca). Los otros dos rodales tenían pastos xeromésicos de intensidad de manejo media y se localizan en la finca Pineda y Ferreria (municipio de Montagut i Oix; E 460209.0; N 4679874.0, 480 metros de altitud, precipitación media, entre los años 2004 y 2010, de 773 mm en el observatorio más cercano -Olot-, datos del Observatorio Meteorológico de Catalunya).

En todos los rodales, la cobertura del estrato arbóreo estaba comprendida en el intervalo 40-60 % mientras que la cobertura herbácea era cercana al 100 %, y solo existía presencia de matorral en zonas de márgenes. Los factores estructurales que se utilizaron para caracterizar los rodales fueron los siguientes (tabla 1):

- tipo de relieve: zonas llanas y/ o abancaladas; zonas de pendiente,
- tipo de pasto: pastos méxicos; pastos xeromesófilos,
- intensidad de manejo agronómico: zonas con intensidad alta (4-5 períodos de paso del ganado por año + fertilización; carga instantánea en cada período de paso 40 UGM / ha / 2,0-3,0 días); zonas con intensidad media (2-3 períodos de paso del ganado por año, sin fertilización; carga instantánea en cada período de paso 25 UGM / ha / 2,5-3,0 días).
- especie/s principal/es dominante/s: quercínias (aportación de bellota); no quercínias.

Tabla 1. Características de los rodales seleccionados.

Rodal ¹	Relieve	Tipo de pasto	Intensidad manejo	Especies dominantes
AMA	Abancalado	Mésico	Alta	<i>Q. humilis</i>
PMA	Pendiente-Llano	Mésico	Alta	<i>Q. humilis</i> + <i>Q. ilex</i>
AXM	Abancalado	Xeromésico	Media	<i>Q. ilex</i> + <i>Psylvestris</i>
PXM	Pendiente-Llano	Xeromésico	Media	<i>Psylvestris</i> + <i>Q. humilis</i>

¹Rodales méxicos en zonas abancaladas (AMA) y en pendiente (PMA) con alta intensidad de manejo, y rodales xeromesófilos en zonas abancaladas (AXM) y en pendiente (PXM) en zonas de media intensidad de manejo.

El seguimiento de la producción herbácea y carga ganadera se ha realizado durante los años 2009, 2010 y 2011, mientras que los datos de calidad bromatológica de la hierba se ha obtenido para todos los cortes realizados en el año 2010.

Diseño experimental

Seguimiento de la producción herbácea

Para estimar la producción herbácea (kg MS ha⁻¹ año⁻¹) se realizaron cortes de biomasa antes de cada período de pastoreo. Para ello, se ubicaron 5 parcelas al azar dentro de cada rodal, cortando en cada una de ellas 3 submuestras de 0,3 m x 0,3 m en una zona con cobertura arbórea, y 3 más en zona colindante a las anteriores, pero sin cobertura arbórea. Tanto las submuestras bajo cubierta arbórea como las situadas fuera de la cubierta se ubicaron alejadas de la proyección del borde de la copa (las copas seleccionadas eran de árboles adultos y con buena conformación, con diámetros de copa comprendidos en el intervalo 5 – 12 m). Para el último muestreo del año (mes de noviembre), además del corte de la biomasa herbácea, se recolectaron las bellotas presentes en cada uno de las submuestras de 0,3 m x 0,3 m. La materia seca (MS) de las muestras se determinó después del secado a 60 °C en estufa durante 48 horas, y se extrapoló a kg MS ha⁻¹. Para determinar la producción anual del pasto se sumó la biomasa en cada período de corte, considerando un rechazo de los animales de 300 kg ha⁻¹ en cada período de paso de los animales, menos para el último en que se considera que el pastoreo es prácticamente completo.

Seguimiento de la calidad bromatológica

La biomasa obtenida en cada corte bajo cobertura arbórea y entre arbolado se envió al Laboratorio Agroalimentario de Cabrils (Generalitat de Catalunya), donde se realizó el tratamiento de las muestras, y se determinaron los siguientes parámetros, por vía húmeda: proteína bruta (PB), proteína digestible (PD), fibra bruta (FB), fibra ácido detergente (FAD), fibra neutro detergente (FND), lignina ácido detergente (LAD) (métodos: AOC). El valor anual de estos parámetros se calculó como la media de los diferentes cortes realizados durante al año.

Seguimiento de la carga ganadera

La carga ganadera anual sostenida para cada rodal, expresada en Unidades de Ganado Mayor (UGM ha⁻¹ año⁻¹) se estimó como suma de la carga por cada período de paso (UGM ha⁻¹ período de paso⁻¹). Para ello se elaboró un calendario pastoral, en el que se anotaban en cada período de paso: i) el número de animales que habían pastado, determinando su equivalencia en Unidades de Ganado Mayor según sus requerimientos -peso vivo y estado fisiológico- (INRA, 2007); ii) los días de estancia de los animales (se contabilizaron fracciones de medio día); iii) el área de cada rodal.

Tratamiento estadístico

Con el objetivo de determinar diferencias significativas de producción y calidad nutritiva del estrato herbáceo entre rodales se realizó un análisis de varianza (ANOVA) y para la diferencia entre medias se aplicó el test de Tuckey. El efecto del arbolado sobre la producción del pasto y su calidad nutritiva se analizó de la misma forma. Todos los análisis se llevaron a cabo mediante el paquete estadístico SPSS v. 17 (2007).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La producción herbácea de los rodales de pasto mesofítico (rodales AMA y PMA) como era esperable, resultó ser superior a los de pasto xeromesofítico ($p < 0,006$). La producción de las zonas entre arbolado resultó ser significativamente superior a la de las zonas bajo arbolado, para todos los rodales (tabla 2). En cambio, no existieron diferencias significativas para la producción según el tipo de relieve, ni para los pastos méxicos ($p = 0,649$), ni para los xeroméxicos ($p = 0,770$).

Tabla 2. Producción promedio de los años 2009, 2010 y 2011 expresada en kg ha⁻¹ año⁻¹ (\pm error estándar), según tipo de rodal.

Rodal ¹	Producción bajo arbolado	Producción entre arbolado	p-valor
AMA	3301 \pm 58	5383 \pm 125	p < 0,007
PMA	2125 \pm 301	5658 \pm 637	p < 0,080
AXM	2315 \pm 126	3038 \pm 101	p < 0,032
PXM	2092 \pm 120	3562 \pm 218	p < 0,068

¹Denominación de rodales según Tabla 1. La columna p-valor indica diferencias significativas para la producción entre arbolado y bajo arbolado para un mismo rodal.

Estos resultados podrían indicar que el principal factor limitante en un rodal adehesado en zonas de clima húmedo es la entrada de luz, y por esto las zonas bajo cubierta arbórea tienen un pasto menos productivo, aunque contrastan con los de Plaixats *et al.* (2004) que indican una mayor producción herbácea bajo arbolado en rodales méxicos abancalados en la misma zona de estudio. En la dehesa castellana, Gea *et al.* (2009), determinan que las zonas con cobertura arbórea no ofrecen menor producción

que las zonas con incidencia directa de luz. Moreno *et al.* (2007), también en la dehesa castellano-extremeña, encuentra un efecto fertilizador del árbol (aumento de producción de materia seca en zonas próximas al árbol).

En el período de paso del mes de noviembre ha sido importante la aportación de bellota. Así, durante los años de seguimiento esta producción ha sufrido fuertes oscilaciones interanuales (400 -1540 kg ha⁻¹ año⁻¹) para un mismo rodal, con un rango de producción de 4,5 -19,5 kg árbol⁻¹ año⁻¹. Esta fuerte variabilidad de la producción entre años es normal también en dehesas del suroeste español según diversos autores (López Carrasco *et al.*, 2005; Carbonero *et al.*, 2008).

La aportación proteica de la hierba varió significativamente según el tipo de rodal ($p < 0,001$ para PB y PD), siendo los rodales de tipo mesófilo con manejo agronómico alto los que tuvieron mayor contenido en PB y PD. En las tablas 3 y 4 se puede observar los valores de fibras y proteínas de los pastos entre arbolado y bajo arbolado para los diferentes rodales.

Tabla 3. Valores para los diferentes parámetros de calidad bromatológica analizados en los rodales méxicos. Resultados expresados en % sobre materia seca.

	AMA			PMA		
	Entre árbol	Bajo árbol	p-valor ¹	Entre árbol	Bajo árbol	p-valor ¹
PB	17,3 \pm 0,78	17,0 \pm 0,77	ns	16,9 \pm 1,0	15,2 \pm 1,7	ns
PD	11,7 \pm 0,55	11,1 \pm 0,39	ns	11,2 \pm 1,1	9,8 \pm 1,3	ns
FB	22,0 \pm 1,19	24,0 \pm 1,89	ns	23,2 \pm 3,3	25,3 \pm 1,3	ns
FAD	27,0 \pm 1,08	29,3 \pm 2,33	ns	31,0 \pm 1,8	34,7 \pm 1,1	ns
FND	49,0 \pm 0,56	56,1 \pm 2,06	p < 0,016	54,5 \pm 5,2	56,2 \pm 0,6	ns
LAD	4,0 \pm 0,49	4,0 \pm 0,59	ns	4,2 \pm 0,7	6,2 \pm 1,3	ns

¹p valor: cuando es significativo se indica el valor. En caso que el valor no sea significativo se indica ns

Tabla 4. Valores para los diferentes parámetros de calidad bromatológica analizados en los rodales xeroméxicos. Resultados expresados en % materia seca.

	AXM			PXM		
	Entre árbol	Bajo árbol	p-valor	Entre árbol	Bajo árbol	p-valor ¹
PB	12,2 \pm 2,0	12,3 \pm 0,5	ns	11,3 \pm 0,4	11,5 \pm 1,7	ns
PD	7,7 \pm 1,6	7,8 \pm 0,2	ns	7,0 \pm 0,4	7,2 \pm 1,3	ns
FB	27,2 \pm 2,9	27,0 \pm 1,8	ns	27,4 \pm 0,9	28,3 \pm 1,3	ns
FAD	36,0 \pm 4,1	36,4 \pm 0,6	ns	35,9 \pm 1,9	34,2 \pm 1,5	ns
FND	56,8 \pm 8,0	56,5 \pm 5,5	ns	58,5 \pm 2,5	56,3 \pm 0,8	ns
LAD	5,7 \pm 0,2	5,6 \pm 1,2	ns	5,5 \pm 0,1	5,8 \pm 0,4	ns

¹p valor: cuando es significativo se indica el valor. En caso que el valor no sea significativo se indica ns

En los rodales de pasto mesófilo con manejo agronómico alto se observa como el valor medio de la proporción de proteína es mayor en todos los casos en las zonas entre arbolado (aunque sin presentar diferencias significativas) mientras que la proporción de fibras siempre es superior en las zonas bajo arbolado, siendo solo significativa la diferencia de FND para el rodal AMA.

La mayor carga ganadera también se ha obtenido para el rodal méxico abancalado. Se observa como los rodales de pasto mesofítico con manejo agronómico alto ofrecen una carga ganadera mayor ($0,81 \text{ UGM} \pm 0,02 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ para el rodal AMA; $0,71 \pm 0,06$ para el rodal PMA) que no los pastos xeromesófilos con manejo agronómico medio ($0,64 \pm 0,01 \text{ UGM ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ para AXM; $0,47 \pm 0,04 \text{ UGM ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ para PXM). A su vez, los rodales en zonas de relieve abancalado ofrecen menor variabilidad interanual.

CONCLUSIONES

El pastoreo de montes adeshados con recubrimiento arbóreo medio (40 - 60 %), en zonas de clima húmedo en Catalunya, permite obtener buenos valores de producción y calidad de la hierba, así como de carga ganadera. Los mejores resultados se consiguen en rodales de pasto mesofítico, relieve abancalado, intensidad de manejo agronómico alta y con dominancia en el estrato arbóreo de especies del género *Quercus* (encinas y roble marcescente, por su aportación de bellota).

Las zonas bajo cubierta arbórea presentan una producción significativamente inferior a las zonas entre arbolado tanto para pastos de tipo méxico como para pastos de tipo xeromesófilo. No existen diferencias importantes de calidad para zonas entre arbolado y bajo arbolado excepto para el caso del rodal de tipo méxico en zona abancalada en que la aportación de FND es significativamente superior en las zonas bajo arbolado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CARBONERO MD, FERNÁNDEZ RANCHAL A. Y FERNÁNDEZ REBOLLO P. (2008) La producción de bellota en la dehesa. En: *La dehesa en el Norte de Córdoba. Perspectivas futuras para su conservación*, pp 185–204. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Córdoba.
- GEA IZQUIERDO G., MONTERO G. Y CAÑELLAS I. (2009) Changes in limiting resources determine spatio – temporal variability in tree – grass interaction. *Agroforestry Systems*, **76**, 375–387.
- INRA (2007) *Alimentación de bovinos, ovinos y caprinos. Necesidades de los animales – Valores de los alimentos*. Zaragoza, España. Editorial Acribia.
- LÓPEZ-CARRASCO C. Y ROIG S. (2007) Efecto de la disposición espacial del arbolado sobre los pastos herbáceos en una dehesa toledana: producción de materia seca. *Actas de la XLVIII Reunión Científica de la SEEP*, pp. 565-571. Vitoria, España: Ed. NEIKER.
- LÓPEZ CARRASCO C., MUÑOZ DE LA LUNA T., DAZA A., REY A. Y LÓPEZ BOTE C. (2005) Variaciones inter e intraanuales de la calidad de bellotas de encina en una dehesa de Castilla – La Mancha. *Actas de la XLV Reunión Científica de la SEEP*, pp.391–398. Villaviciosa, España: Ed. SERIDA.
- MORENO MARCOS G., BRADOR J.J, GARCÍA, E., CUBERA, E., MONTERO, M.J., PULIDO, F. Y DUPRAZ, C. (2007) Driving competitive and facilitative interactions in oak dehesas through management practices. *Agroforestry Systems*, **70**, 25-40.
- PLAIXATS J., VILLAREAL A., BARTOLOMÉ J. Y ESPONA J. (2004) The Productivity Characteristics of Grassland in a Dehesa System in Catalonia (NE, Spain). *Advances in Geoecology*, **37**, 195-202.
- SSPS Statistics (2007) Manual del usuario de SPSS Statistics Base 17.0
- TAULL M., JORDANA M., SIMON N. Y CASALS P. (2007) *Gestió Silvopastoral als Plans Tècniques de Gestió i Millora Forestal*. Documento inédito. Centro Tecnológico Forestal de Catalunya. Solsona (España).

Recuperación de pastos en un encinar desbrozado y aclarado en el Parque Natural del Montseny

Recovery of grasslands on cleared holm oak forest in the Montseny Natural Park (NE Spain)

C. MADRUGA-ANDREU / J. BARTOLOMÉ FILELLA / J. PLAIXATS BOIXADERA

Departament de Ciència Animal i dels Aliments. Universitat Autònoma de Barcelona. Ed. - V. Campus de la UAB. 08193 - Cerdanyola del Vallès (España)

Resumen: En determinadas zonas protegidas, la restauración y conservación de los ecosistemas pastorales se ha convertido en una prioridad, debido a su alta biodiversidad biológica y también paisajística. Con el objetivo de evaluar la eficacia de diferentes tratamientos de recuperación y mantenimiento de pastos en un encinar aclarado y desbrozado, se ha llevado a cabo un experimento en el Pla de la Calma (Parque Natural del Montseny) durante dos años. Los tratamientos de restauración incluyeron el triturado del material desbrozado con el objetivo de reducir el volumen de *mulch* y el tamaño de partícula; la siembra de semillas de especies autóctonas; y el efecto del pastoreo de un rebaño mixto de cabras y ovejas, con una carga ganadera de $0.5 \text{ UGM ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$. Durante los dos años del experimento se han obtenido resultados de cobertura, altura y densidad herbácea e índices de diversidad (riqueza de especies y Shannon). Los resultados del estudio muestran que aplicar tratamientos de siembra y triturado después del desbroce puede mejorar la implantación y desarrollo del estrato herbáceo, mientras que el pastoreo continuado no supone ningún efecto en términos de cobertura y diversidad.

Palabras clave: restauración de pastos, biodiversidad, áreas protegidas, pastoreo.

Abstract: The restoration and conservation of pastoral ecosystems has become a priority in certain protected areas, due to its high biological diversity and landscape. A field experiment of grassland recovery was conducted for two years in a young cleared Holm oak forest at the Pla de la Calma (Montseny Natural Park). The aim of the study was investigated the effectiveness of different post-clearing treatments for pasture restoration and maintenance. The restoration treatments included the grinding of post-cleared material, in order to reduce volume and particle size of mulch; sowing a commercial seed mixture of native species and the influence of grazing by a mixed flock of goats and sheep ($0.5 \text{ LU ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$). During the two-year of the experiment, results of herbaceous cover, height, density, and diversity indices (species richness and Shannon) have been obtained. The study results showed that post-clearing actions, such as sowing and grinding of mulch, can improve the establishment and development of the herbaceous layer. However, continued grazing does not mean any effect in terms of coverage and diversity.

Key words: restoration of grasslands, biodiversity, protected areas, grazing effects.

INTRODUCCIÓN

El continuo abandono de las tierras y las prácticas tradicionales en zonas rurales de montaña, especialmente de la Mediterránea, están provocando la colonización de especies arbustivas en los ecosistemas pastorales, provocando la pérdida de diversidad animal y vegetal, la reducción de los recursos pastorales, la homogenización del paisaje y el incremento del riesgo de incendios (Lasanta *et al.*, 2005). Estos procesos de abandono hacen que en la actualidad la recuperación y gestión de estos ecosistemas pastorales sea una cuestión prioritaria en muchos espacios naturales del Mediterráneo. La restauración o rejuvenecimiento de su cubierta vegetal implica tratamientos de desbroce, quema controlada, siega y/o pastoreo (Muller *et al.*, 1998), tratamientos normalmente muy invasivos y de alto coste económico. Por este motivo es necesario el

estudio de distintas actuaciones para evaluar aquellas que son más eficaces y aseguran el restablecimiento del ecosistema original.

En el macizo del Parque Natural del Montseny y Reserva de la Biosfera (NE de Cataluña), como en otras áreas mediterráneas protegidas, también se ha producido este proceso de colonización por especies leñosas (Bartolomé *et al.*, 2005). La Diputación de Barcelona, órgano gestor del parque, viene realizando actuaciones de desbroce, con el objetivo de hacer frente a este proceso. En el año 2008, se inició un ensayo de campo con diferentes tratamientos de restauración (a) triturado o b) triturado y siembra, y c) pastoreo) llevados a cabo después del aclarado de árboles y desbrozado del matorral. El objetivo principal de este estudio fue evaluar aquellos tratamientos que podrían mejorar la recuperación, implantación y desarrollo del estrato herbáceo.

MATERIAL Y MÉTODOS

Área de estudio

El presente estudio de recuperación se llevó a cabo en el Parque Natural y Reserva de la Biosfera del Montseny, dentro de la región mediterránea en el Noreste de la Península Ibérica. Las parcelas experimentales, se encuentran en una zona desbrozada ubicada alrededor de los 1300 msm en el altiplano del Plà de la Calma (entre los 41°44' y 41°47' de latitud norte y los 2°18' y 2°22' de longitud oeste). Este altiplano tiene un clima mediterráneo húmedo, con una precipitación media anual de aproximadamente 700 mm y una temperatura media anual de 10°C. El emplazamiento topográfico y la proximidad al mar producen una situación general que favorece la vegetación atlántica dominada por pastos y landas de brechina (*Calluna vulgaris* L.), brezo (*Erica arborea* L. y *Erica scoparia* L. subsp. *scoparia*) y retama de escobas (*Sarothamnus scoparius* L.). El valor de la zona de La Calma se refleja en su biodiversidad, en su rica flora nativa. Sin embargo, como consecuencia del cambio global y abandono el área total de bosque mediterráneo (*Quercus ilex* L. y *Quercus humilis* Mill.) está aumentando en detrimento de los matorrales y pastos herbáceos (Bartolomé *et al.*, 2005).

Tratamientos de restauración

Durante la primavera-verano del 2008, un encinar joven, de 20-25 años de edad, con sotobosque de brezos y retamas de escobas se desbrozó con la intención de recuperar la zona como área de pastoreo forestal tipo dehesa. La estructura inicial del bosque presentaba una densidad de aproximadamente 800 pies/ha, entre 4-4.5 m de altura y un diámetro normal (calculado a 1,30 m de la base) entre 15-20 cm, el sotobosque era totalmente impenetrable y de altura superior a los 2 m. Se talaron de forma selectiva encinas y robles, dejando aquellos ejemplares más vigorosos y mejor formados con una densidad final aproximada de 200 pies/ha, se desbrozó el matorral y a continuación se fresó con una desbrozadora de martillos oscilantes. Después de

esta primera acción de restauración, tres parcelas experimentales (réplicas) de 15 m x 20 m fueron colocadas al azar. Estas parcelas fueron divididas en seis subparcelas (5 m x 10 m) que recibieron distintos tratamientos post-desbroce y de pastoreo, tal y como muestra la figura 1:

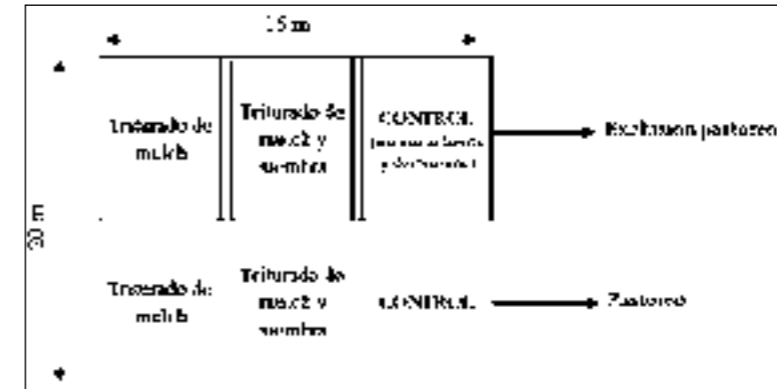


Figura 1. Esquema experimental

En el tratamiento de triturado, la cubierta de restos generados por el desbroce (mulch) se trituró de nuevo, consiguiendo reducir así su volumen y tamaño de partícula (inferior a 15cm). En el tratamiento con siembra, se utilizó una mezcla de semillas comerciales con especies autóctonas de la zona (25% *Festuca ovina* L., 22,5% *Dactylis glomerata* L., 22,5% *Agrostis capillaris* L., 15% *Trifolium repens* L. y 15% *Lotus corniculatus* L.). Finalmente, desde el inicio del experimento, la mitad de la superficie de la parcela fue cercada para evaluar el efecto de la ausencia o presencia de pastoreo de un rebaño mixto de 50% ovejas y 50% cabras de razas rústicas (ovejas Ripollesas y cabras de Rasquera) durante todo el año sobre una superficie de 100 ha, con una carga ganadera total de 0.5 UGM ha⁻¹ año⁻¹.

Muestreo de la vegetación

El muestreo, se realizó después del primer (2009) y segundo año (2010) de actuación, durante los meses de junio y julio. Para el seguimiento se siguió el método del *point quadrat* (Goodall, 1952). En cada subparcela se marcaron tres cuadrados de 1 m² distribuidos al azar, con un total de 100 puntos de muestreo equidistantes en el interior, y se determinó la cobertura, la altura y la densidad de especies herbáceas durante los dos años. Posteriormente, para determinar la diversidad de especies, se calcularon los índices de riqueza de especies (número total de especies) y el de diversidad de Shannon [-Σ (pi x ln pi)].

Todos los resultados obtenidos se sometieron a un análisis estadístico, mediante el paquete estadístico SAS v. 9.1, utilizando un análisis de la varianza (ANOVA) de dos factores (tratamiento post-desbroce y pastoreo). Para la comparación de medias

entre tratamientos se empleó el test de comparaciones múltiples de Tukey empleando el mismo paquete estadístico.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La aplicación de tratamientos post-desbroce después de la actuación de aclarado y desbroce convencional ha afectado claramente el ritmo de establecimiento del estrato herbáceo. Tal y como se muestra en las tablas 1 y 2, el tratamiento de triturado y el de triturado y siembra mejoran el porcentaje de cobertura herbácea y su densidad. El tratamiento de triturado y siembra aumenta más rápidamente la cobertura y la densidad herbácea tras el primer año que el tratamiento de triturado sin siembra. Sin embargo, en el segundo año de muestreo los resultados no muestran diferencias entre ambos tratamientos, pero siguen siendo significativamente superiores a los de las parcelas control. Dos años después del desbroce inicial, la cobertura herbácea de las parcelas con tratamientos post-desbroce se ha recuperado en más de un 90%, mientras que el tratamiento control presenta una cobertura inferior al 70%. Por otra parte, ni la cobertura ni la densidad herbácea se vio afectada por la ausencia o presencia de pastoreo en ninguno de los tres tratamientos durante los dos años de estudio. Sólo la altura de la vegetación tiene una respuesta como consecuencia del pastoreo, siendo menor en las zonas pastadas. La altura de la vegetación es mayor en las zonas no pastadas y en las zonas sembradas debido seguramente al mayor rendimiento de los genotipos comerciales sembrados (respuesta mucho más visible tras el segundo año de tratamiento).

Tal y como muestran los resultados de diversidad (tablas 1 y 2), el número total de especies ha aumentado del primer al segundo año, siendo significativamente superior en las parcelas con tratamiento de triturado sin siembra en el año 2010. En relación al índice de Shannon, en el año 2009 las parcelas control y las tratadas con triturado sin siembra obtuvieron valores más altos del índice que las parcelas sembradas, debido a la gran dominancia de las especies sembradas. En el año 2010 el índice de Shannon de las parcelas con triturado sin siembra ha sido significativamente mayor (de 2,25 a 2,21) al de las parcelas control y a las de tratamiento triturado y siembra (de 1,81 a 1,99).

Aunque diversos estudios (Traba *et al.*, 2003) demuestran un aumento de la diversidad debido al transporte de las especies a través de la ganadería extensiva, no ha habido diferencias significativas entre las parcelas excluidas del pastoreo y las pastadas. Es posible que para observar diferencias sustanciales se requiera de un periodo más largo.

Tabla 1. Estructura herbácea e índices de diversidad de los tratamientos de post-desbroce y pastoreo en 2009.

	Estructura herbácea			Índices de diversidad						
	Cobertura (%)	Densidad (contactos/punto)	Altura (cm)	Riqueza de especies	Índice de Shannon					
No pastado										
Triturado	43,93	b	0,46	b	10,10	b	10,78	1,95	a	
Triturado y sembrado	68,93	a	0,87	a	12,16	a	11,11	1,74	b	
Control	39,47	c	0,41	b	9,40	b	11,11	2,14	a	
Pastado										
Triturado	38,71	b	0,41	b	7,53	c	12,00	2,12	a	
Triturado y sembrado	66,70	a	0,82	a	7,55	c	10,00	1,75	b	
Control	36,68	c	0,38	b	7,78	c	10,33	2,00	a	
Análisis de varianza										
gl (grados de libertad)	11		5		5		5		5	
F-test	75,94		12,7		39,86		1,36		5,68	
p-valor	<0,0001		<0,0001		<0,0001		0,2459		<0,0001	

Las medias (n=9) de la misma columna con diferentes letras (a, b, c) son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$).

Tabla 2. Estructura herbácea e índices de diversidad de los tratamientos de post-desbroce y pastoreo en 2010.

	Estructura herbácea			Índices de diversidad						
	Cobertura (%)	Densidad (contactos/punto)	Altura (cm)	Riqueza de especies	Índice de Shannon					
No pastado										
Triturado	91,36	a	0,91	a	29,18	b	15,22	a	2,25	a
Triturado y sembrado	94,71	a	0,95	a	57,69	a	11,89	b	1,90	b
Control	67,49	b	0,67	b	24,87	b	13,33	ab	1,81	b
Pastado										
Triturado	91,14	a	0,91	a	22,29	b	15,66	a	2,21	a
Triturado y sembrado	94,65	a	0,95	a	14,07	c	14,00	ab	1,99	b
Control	67,07	b	0,67	b	8,91	c	13,56	ab	1,89	b
Análisis de varianza										
gl (grados de libertad)	5		5		5		5		5	
F-test	68,4		66,47		82,15		6,74		16,53	
p-valor	<0,0001		<0,0001		<0,0001		<0,0001		<0,0001	

Las medias (n=9) de la misma columna con diferentes letras (a, b, c) son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$).

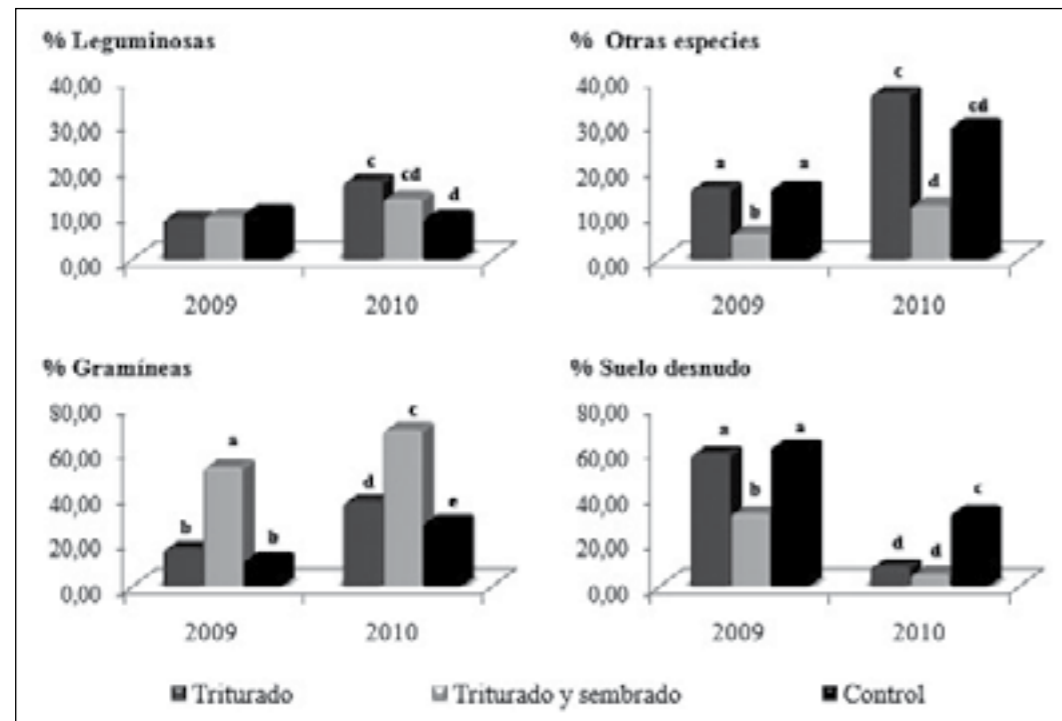


Figura 2. Porcentajes de cobertura herbácea de gramíneas, leguminosas y otras especies y porcentaje de suelo desnudo en función del tratamiento de post-desbroce y del año de estudio. Las medias con diferentes letras (a, b) para cada año difieren significativamente ($gl = 5$ y p -valor $< 0,0001$) entre los tratamientos.

La figura 2, nos muestra los porcentajes de cobertura de gramíneas, leguminosas y otras especies, así como el porcentaje de suelo desnudo para cada tratamiento post-desbroce y año de muestreo. El tratamiento de pastoreo no se ha contemplado en la figura debido a que no muestra diferencias significativas para la cobertura total de herbáceas ni tampoco para la cobertura por grupos de especies. Los gráficos muestran la tendencia de aumento de cobertura de todos los grupos de especies entre el primer y el segundo año para todos los tratamientos post-desbroce y por consiguiente la disminución del porcentaje del suelo desnudo. Los tratamientos de triturado con y sin siembra muestran mejores resultados en cuanto a cobertura herbácea en el año 2010. Sin embargo, cabe destacar que en el 2009, la implantación herbácea del tratamiento únicamente triturado y del control es muy baja, no supera al 50%, en comparación con el tratamiento de triturado y siembra (que supera el 60%) implicando un riesgo de erosión durante el primer año debido al lento establecimiento de las especies presentes en el banco de semillas. Por otra parte, el tratamiento con siembra disminuye el riesgo de erosión después de la actuación de aclarado y desbroce, pero muestran una tendencia diferente en cuanto a la implantación de la cobertura herbácea por grupos de especies, tanto en el primer como en el segundo año. Así el tratamiento de triturado y siembra se traduce en un porcentaje significativamente mayor de gramíneas y un porcentaje significativamente menor de otras especies herbáceas, respecto al control y tratamiento

triturado sin siembra. Estas diferencias se deben a la buena implantación de dos de las especies sembradas (*Festuca ovina* L. y *Dactylis glomerata* L.) que suponen más del 50% de la cobertura de gramíneas para este tratamiento. Este éxito de establecimiento de las especies sembradas supone, por el contrario una baja implantación de otras especies herbáceas del entorno natural.

Los resultados del estudio sugieren por una parte que la reducción del volumen y el tamaño de partícula del mulch después de un desbroce, puede mejorar y agilizar la implantación del estrato herbáceo del pasto y por tanto su recuperación. Por otra parte, la siembra de una mezcla de semillas comerciales de las mismas especies autóctonas puede ser inicialmente una herramienta eficaz para restaurar la cobertura vegetal del pasto y reducir el porcentaje de suelo desnudo. Sin embargo, el uso de semillas comerciales puede desarrollar a la larga una cobertura herbácea dominada por especies de genotipos comerciales con un gran rendimiento y que pueden acabar siendo competencia directa con las especies del banco de semillas edáfico y reducir la diversidad (Torok *et al.*, 2010).

CONCLUSIONES

Aplicar tratamientos de triturado de mulch después de un desbroce tradicional, puede mejorar y agilizar la recuperación de los pastos en relación a la estructura del estrato herbáceo (cobertura, altura y densidad) y a la diversidad de especies. Mientras que aplicar tratamientos de siembra de especies comerciales, puede ayudar al restablecimiento de la cobertura herbácea, pero no a la diversidad de la flora herbácea. Por el contrario, el pastoreo continuado desde el inicio de la recuperación no afecta a la regeneración de la cobertura herbácea ni a la diversidad aunque puede ayudar al mantenimiento de la zona recuperada, controlando el desarrollo de los rebrotes de leñosas (Madruga *et al.*, 2010).

AGRADECIMIENTOS

Este estudio se llevó a cabo gracias al apoyo del equipo del Parque Natural del Montseny y a la financiación de la Diputación de Barcelona.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARTOLOMÉ J., PLAIXATS J., FANLO R. Y BOADA M. (2005) Conservation of Isolated Atlantic Heathlands in the Mediterranean Region: Effects of Land-Use Changes in the Montseny Biosphere Reserve (Spain). *Biological Conservation*, **122**(1), 81-88.
- GOODALL D.W. (1952) Some considerations in the use of point quadrats for the analysis of vegetation. *Australian Journal of Scientific Research*, **5**, 1-41.
- LASANTA T., VICENTE-SERRAN S.M. Y QUADRAT J.M. (2005) Mountain mediterranean landscape evolution caused by the abandonment of traditional primary activities: A study of the Spanish Central Pyrenees. *Applied Geography*, **25**, 47-65.

- MADRUGA C., BARTOLOMÉ J. Y PLAIXATS J. (2010) Resultados preliminares de distintos métodos para la recuperación de pastos en un encinar aclarado y desbrozado del parque natural del Montseny. En: Calleja A. *et al.* (Eds) *Pastos: fuente natural de energía*, pp 9-14. Zamora: Sociedad Española para el Estudio de los Pastos.
- MULLER S., DUTOIT T., ALARD D. Y GRÉVILLIOT F. (1998) Restoration and Rehabilitation of Species-Rich Grassland Ecosystems in France: a Review. *Restoration Ecology*, **6**(1), 94-101.
- TÖRÖK P., DEÁK B., VIDA E., VALKÓ O., LENGYEL S. Y TÓTHMÉRÉSZ B. (2010) Restoring grassland biodiversity: Sowing low-diversity seed mixtures can lead to rapid favourable changes. *Biological Conservation*, **143**(3), 806-812.
- TRABA J., LEVASSOR C. Y PECO B. (2003) Restoration of Species Richness in Abandoned Mediterranean Grasslands: Seeds in Cattle Dung. *Restoration Ecology*, **11**(3), 378-384.

Sistemas silvopastorales y balance de carbono en la selva Lacandona, Chiapas, México

Silvopastoral systems and carbon balance in Lacandon rainforest, Chiapas, Mexico

G. JIMÉNEZ-FERRER¹ / L. SOTO-PINTO¹ / V. AGUILAR¹ / E. EZQUIVEL² / J. PLAIXATS BOIXADERA³

¹ECOSUR, El Colegio de la Frontera Sur, Ganadería y Ambiente, San Cristóbal de las Casas, Chiapas (México), gjimenez@ecosur.mx

²AMBIO SC, San Cristóbal de las Casas, Chiapas (México)

³UAB, Departament de Ciència Animal i dels Aliments. Universitat Autònoma de Barcelona. Ed. - V, Campus de la UAB. 08193 - Cerdanyola del Vallès (España).

Resumen: En el sureste de México, el cambio de uso la tierra esta principalmente dirigido a la creación de sistemas ganaderos extensivos los cuales contribuyen de manera importante en la emisión de gases de efecto invernadero. A escala global, mucho de los estudios de captura de carbono están realizados en tierras templadas, bosques y sistemas agroforestales. En este contexto, las tierras ganaderas han sido poco estudiadas y hay poca información sobre el potencial de éstas para mitigar y/o adaptarse al cambio climático. El objetivo de este estudio fue caracterizar la actividad silvopastoril en dos comunidades campesinas de Chiapas México y estimar el almacenamiento de carbono en diferentes pastos herbáceos de origen agrícola con y sin arbolado. La presencia de árboles permitió ver un paisaje ganadero distribuido en tres formaciones vegetales: a) Pasto herbáceo desarbolado (PM), b) Pasto herbáceo con arbolado (PMA) y c) Pasto herbáceo con cercos vivos (PMCV). Estudios de línea base sobre el potencial de captura de carbono indican que el valor más alto se obtuvo en PMA con 82,88 Mg C ha⁻¹, seguido por PMCV con 77,08 Mg C ha⁻¹. El valor más bajo correspondió a PM con 62,61 Mg C ha⁻¹. La materia orgánica del suelo fue el mayor reservorio en todos los sistemas.

Palabras clave: Servicios ambientales, pastoreo, agroforestería, captura de carbono.

Abstract: In south eastern Mexico, the area of land devoted to bovine livestock farming has increased dramatically. These land use changes are mainly associated with extensive livestock farming systems. One such environmental impact is the generation of greenhouse gases. Most C estimation studies have focused on temperate woodlands, forests and agroforestry systems. However, in cattle farming landscapes there are few studies on C stocks and strategies such as environmental service payments and their contribution to rural development. The aim of this study was to characterize silvopastoral systems areas and estimate carbon stocks in monoculture and silvopastoral pasture systems within cattle farming landscapes. The following pasture systems were identified in relation to the presence of trees: a) Grass herbaceous (PM), b) Grass herbaceous with disperse trees (PMA), and c) Grass with live fences (PMCV). In MS there were no trees present. With regards to total carbon stocks, the highest value was obtained in PMA with 82,88 Mg C ha⁻¹, followed by PMCV with 77,08 Mg C ha⁻¹. The lowest value was recorded in PM with 62,61 Mg C ha⁻¹. The soil organic matter was the largest reservoir. There were no significant differences among systems ($p = 0,104$) or by soil depth.

Key words: Environmental services, agroforestry, carbon stock.

INTRODUCCIÓN

En América Latina uno de los principales cambios del uso de la tierra ha sido la transformación de selvas en pastos (Szott *et al.*, 2000). En el sureste de México, las áreas dedicadas a la ganadería bovina, se han incrementado debido a un aumento en los precios regionales de la carne y a un deterioro económico de la agricultura de cultivos básicos. El efecto del cambio del uso de suelo hacia áreas de pastoreo trae consigo sistemas ganaderos extensivos con impacto y repercusiones en la sociedad rural y el medio ambiente, contribuyendo a generar gases de efecto invernadero. Los sistemas silvopastoriles son una modalidad de sistemas agroforestales (SAF) en donde los árboles tienen varias funciones y servicios en la producción pecuaria (forraje, madera,

leña, alimento, sombra, etc). Esta estrategia agroforestal permite diversificar la producción, conservar la biodiversidad y generar servicios ambientales, almacenando los SAF en promedio 95 Mg C ha⁻¹ en zonas tropicales (Albrecht y Kandji, 2003; Murgueitio, 2005). En Chiapas, México, desde 1994, el proyecto Scolel'te, que en lengua tzeltal significa "Cultivando árboles" ha realizado ventas de carbono en el mercado voluntario de servicios ambientales (Soto-Pinto *et al.*, 2004). Los sistemas establecidos fueron: sistemas tipo "Taungya", barbechos mejorados y recientemente sistemas silvopastoriles. Las ventas de carbono en el mercado voluntario en 2006 fueron de 42053 Mg (Ambio, 2007).

A escala global, la mayoría de estudios sobre estimación del secuestro de C, se han centrado en bosques templados, selvas y sistemas agroforestales. Sin embargo, hay pocos estudios sobre estimación de la capacidad de secuestro y almacenamiento de C que tienen los sistemas ganaderos extensivos y el potencial que pueden tener para estrategias de pago por servicios ambientales y su contribución en proyectos de desarrollo rural. El objetivo de este estudio fue caracterizar la actividad silvopastoril en dos comunidades campesinas de Chiapas México y estimar el almacenamiento de carbono en diferentes pastos herbáceos de origen agrícola con y sin arbolado.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en dos comunidades (ejidos) La Corona (16° 19'50" N y 90° 41'51" W) y Reforma Agraria (16° 15'24" N y 90° 51'34" W) de la subregión Marqués de Comillas en la Selva Lacandona, Chiapas, México en dos épocas del año; Mayo a Julio y Septiembre a Noviembre (2006). Mediante entrevistas y 2 talleres participativos (IIED, 1994) se recabó información sobre las características principales de la actividad silvopastoril. La superficie de estudio fue de 1000 m² en cada ejido. Un total de 18 parcelas fueron seleccionadas al azar, 9 para cada ejido distribuidas en tres para cada forma espacial del componente arbóreo: a) Pasto herbáceo desarbolado (PM), b) Pasto herbáceo con arbolado (PMA) y c) Pasto herbáceo con cercos vivos (PMCV). En cada parcela se estimó la cantidad de C presente en los diferentes reservorios establecidos por la IPCC (2003): a) Biomasa viva: árboles, hierba, raíces (gruesas y finas) y b) Materia orgánica del suelo. La biomasa arbórea se estimó mediante la utilización del modelo alométrico desarrollado por Chave *et al.* (2005). La biomasa herbácea se determinó mediante método de Mannetje and Haydock (1963) a través de transectos de 60 m de longitud en zigzag, cortando cada 10 m una superficie de 0,5m x 0,5 m. La biomasa de raíces, gruesas y finas, se determinó por el método de Castellanos *et al.* (1990) y se aplicó la ecuación alométrica desarrollada por Cairns *et al.* (1997). Para el cálculo de densidad de carbono total presente en la biomasa arbórea y raíces se asumió por convención, el valor de 0.5 como factor de carbono (McDicken, 1997; IPCC, 2003). El carbono orgánico del suelo (COS), se determinó siguiendo el método propuesto por Amezcua *et al.* (2004) a tres profundidades (0-20, 20-40 y 40-60 cm.). Los análisis de C total se realizaron mediante un

equipo Leco CHN 1,000[®]. Para obtener la cantidad de carbono orgánico se aplicó la fórmula descrita por Ruiz (2002). Todos los datos obtenidos se sometieron a análisis de varianza y pruebas de comparación de medias (Tukey) utilizando el programa estadístico SAS (2001) v. 9.1.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En las comunidades campesinas estudiadas el uso de suelo está determinado por tres actividades centrales: a) La agricultura de cultivos básicos (maíz- frijol), b) Áreas de conservación de selva para el ecoturismo y la venta de servicios ambientales en los mercados nacionales y voluntarios de carbono y c) Áreas dedicadas al pastoreo para la cría y venta de ganado bovino a mercados locales y regionales. La ganadería bovina es la actividad más rentable en la región Lacandona, por lo que el cambio de uso de suelo, esta siendo dirigido hacia esta actividad. A pesar de que hay un conocimiento de la importancia de conservar las áreas de selva, la agricultura y la ganadería están presionando a las pocas áreas conservadas. Estas áreas juegan un papel estratégico en las comunidades, y algunas de ellas ya están en programas de pago por servicios ambientales y son importantes para la actividad turística.

En general, en la selva Lacandona la ganadería bovina se caracteriza por ser extensiva, presenta muy poca inversión tecnológica, poca asistencia técnica y carece de apoyos crediticios. En la tabla 1 se muestra las características del sistema ganadero en comunidades pioneras en la venta de servicios ambientales (carbono) del proyecto Scolel'te. En general, la mayoría de los productores (95 %) orientan su sistema ganadero a la producción de becerros para venderlos en mercados locales y regionales. Se identificaron tres sistemas correspondientes a tres formaciones vegetales distintas que se caracterizan a continuación:

a) *Pasto herbáceo desarbolado* (PM), en donde no hay componente arbóreo y que son las áreas potencialmente a mejorar introduciendo arbolado. Estas áreas son las que dominan el paisaje ganadero en el área conocida como Marques de Comillas, colindante con Guatemala y la Reserva de la Biosfera Maya (REBIMA) y son el resultante del sistema de roza-tumba -quema. Existe la tradición de derribar todos los árboles en las áreas de pastura, sin embargo esta práctica esta siendo cuestionada, ya que no trae beneficios adicionales al productor. La delimitación de estas áreas ha sido mediante cercos muertos y actualmente se está promoviendo cercos vivos multiestratos con árboles maderables, frutales y forrajeros. Las especies más abundantes y comunes de este tipo de pasto son: *Brachiaria decumbens* Stapf, *Brachiaria humidicola* (Rendle) Schweick, *Brachiaria brizantha* Stapf y *Andropogon gyanus* Kunth y en muy poca proporción los zacates nativos.

Tabla 1. Características técnico-sociales en ejidos ganaderos en la Selva Lacandona, Chiapas, México.

	Ach'lum Monte Libano, Ocosingo	Reforma Agraria, Marques de Comillas	La Corona, Marques de Comillas
-Subregión	Cañadas	Marques	Marques
-Uso del suelo	Ejidal	Ejidal	Ejidal
-Grupo social	Tzeltales	Choles	Mestizos
-Altitud (msnm)	300 - 500	100	75 - 125
-Clima	Cálido-Húmedo	Cálido - Húmedo	Cálido-Húmedo
-Actividad	Maíz, ganadería bovina	Ganadería bovina, maíz y manejo de selva para venta de servicios ambientales (carbono)	Ganadería bovina, maíz y manejo de selva para venta de servicios ambientales (carbono)
-Tierra (ha/fam)	20	43	45
-Potreros (ha)	15	30	25
-Carga (UA/ha)*	2,1	1,19	1,78
-Manejo del sistema	Ganadería bovina con gramas nativas y pastos cultivados. Nula asistencia técnica y financiamiento. Cría y venta de becerros al destete	Ganadería bovina en potreros sin árboles, potreros con cercos vivos y potreros con bosquetes de árboles. Uso de pastos cultivados (<i>Brachiaria</i> sp.). Cría y venta de becerros al destete.	Ganadería bovina en potreros sin árboles, potreros con cercos vivos y potreros con bosquetes de árboles. Uso de cultivados. Cría y venta de becerros al destete
-Destino de la producción	Consumo local y mercado local	Consumo local y mercado regional	Consumo local y mercado regional
-Principales arboles forrajeros en áreas de pastoreo	- <i>Witheringia meiantha</i> (Donn. Sm.) Hunz. - <i>Tithonia diversifolia</i> (Hemsl.) A. Gray. - <i>Gliricidia sepium</i> (Jacq.) Kunth ex Walp. - <i>Guazuma ulmifolia</i> Lam. - <i>Eupatorium morifolium</i> Mill.	- <i>Gliricidia sepium</i> (Jacq.) Kunth ex Walp - <i>Erythrina</i> sp - <i>Leucaena leucocephala</i> (Lam.) de Wit.	- <i>Gliricidia sepium</i> (Jacq.) Kunth ex Walp - <i>Erythrina</i> sp - <i>Leucaena leucocephala</i> (Lam.) de Wit. - <i>Cecropia obtusifolia</i> - <i>Parmentiera aculeata</i> (Kunth) Seem.

* UA = Unidad animal = 450 kg. de peso vivo.

b) *Pasto herbáceo con arbolado* (PMA). La presencia de árboles dispersos en potreros es una práctica común entre los productores de ganado de la Selva. Los árboles son remanentes de selva que deliberadamente el productor deja después de la roza-tumba-quema. Las especies comunes son: *Swietenia macrophylla* King, *Blepharidium guatemalense* Standley, *Sabal mauritiformis* (Karst.) Griseb. & Wendl, *Vatairea lundellii* (Standley) Killip, *Guarea glabra* Vahl, *Albizia adinocephala* (Donn. Sm.) Britton & Rose, *Bursera simaruba* (L.) Sarg, *Spondias mombin* L. Diversos tipos de palmas (*Sabal yapa* Wright ex Becc, *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart) son sembradas para el aprovechamiento de las hojas y para la construcción de casas y palapas. Algunas especies maderables, como el “popiste” (*Blepharidium mexicanum* Standl), son favorecidas por los productores para colonizar las áreas de pastoreo, con el objetivo de obtener vigas o travesaños para la construcción de casas, utilizados para autoabasto o para la venta por tener muy buen precio en el mercado local.

c) *Pasto herbáceo con cercos vivos* (PMCV). La práctica de sembrar cercos vivos es ampliamente conocida entre los productores ganaderos. Sin embargo, existe una

tendencia a no sembrarlos por problemas económicos y por la escasez de árboles para obtener material vegetativo. Actualmente los productores de estas comunidades están modificando sus cercos muertos con cercos vivos con árboles de *Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunth ex Walp, *Erythrina* sp, *Bursera simaruba* (L.) Sarg, *Cedrela odorata* L, en un arreglo espacial lineal a distancias de 2,5 m.

Los resultados del potencial de captura de carbono en estos paisajes ganaderos indican que el valor mas alto se obtuvo en PMA con 82,88 Mg C ha⁻¹, seguido por PMCV con 77,08 Mg C ha⁻¹. El valor más bajo correspondió a PM con 62,61 Mg C ha⁻¹.

La materia orgánica del suelo fue el mayor reservorio (% del total de C en todos los sistemas), no observándose diferencias estadística entre los sistemas (p = 0,104). No hubo diferencias significativas por profundidad de suelo, sin embargo se observó un mayor contenido en el primer nivel de profundidad (0 – 20 cm) en todos los sistemas (tabla 2). Comparando con otros sistemas agrícolas en Chiapas, México, Roncal (2007), encontró valores en sistema Taungya, milpa tradicional, barbecho mejorado y barbecho natural de 109,4, 127,9, 150,1 y 177,6 Mg C ha⁻¹, respectivamente. Estimaciones de almacenamiento de carbono en paisajes ganaderos en Centroamérica y Colombia son reportados por Muhamad *et al.* (2007) que evaluaron pasturas degradadas, pasturas naturales y mejoradas con árboles, bancos forrajeros y bosques secundarios, encontrando 72,5, 97,3, 115,13, 130,6 y 162,17 Mg C ha⁻¹ respectivamente.

Tabla 2. Reservorios de Carbono (C) en diferentes componentes en sistemas de Cultivo monófito (PM), con arbolado (PMA) y PM con cercos vivos (PMCV) en Marqués de Comillas, Chiapas, México.

Reservorio (Mg C ha ⁻¹)	PM	%	PMCV	%	PMA	%
C en Biomasa viva	1,99 ^a	3,0	10,40 ^b	11,8	5,99 ^a	6,7
Árboles	0,00 ^a	0,0	7,60 ^b	8,6	4,23 ^a	4,7
Hierbas	1,33 ^a	2,0	0,91 ^a	1,0	0,64 ^a	0,7
Raíces	0,66 ^a	1,0	1,88 ^a	2,1	1,12 ^a	1,2
C Suelo	60,62 ^a	93,8	66,68 ^a	76,2	76,89 ^a	86,5
0 -20 cm	36,21 ^a		39,12 ^a		40,04 ^a	
20 – 40 cm	12,40 ^a		15,14 ^a		20,63 ^a	
40 – 60 cm	12,01 ^a		12,42 ^a		16,22 ^a	
C total	62,61^a	100	77,08^{ab}	100	82,88^b	100

Promedios seguidos de la misma letra, entre columnas, no difieren estadísticamente, por Tukey (p<0,05).

CONCLUSIONES

La incorporación de prácticas agroforestales en sistemas ganaderos es una estrategia viable para productores de la región de la Selva en Chiapas. Las áreas de pastoreo con árboles son usos de la tierra con un estratégico potencial para el servicio ambiental de captura de carbono y producir diversos bienes y servicios para la población local.

Los resultados mostrados en este trabajo sugieren que a mayor complejidad en los sistemas pecuarios se deriva en una mayor acumulación de C, lo cual es una oportunidad para los productores de implementar proyectos silvopastoriles y diseñar planes para la venta de servicios ambientales e ingresar en los mercados voluntarios de carbono.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBRECHT A. Y KANDJI S.T. (2003) Carbon sequestration in tropical agroforestry systems. *Agric. Ecosys. Environ.* **99**,15-27.
- AMBIO (2007) Informe técnico. San Cristóbal de las Casas, Chiapas, México.
- AMEZQUITA M.C., IBRAHIM M. Y BUURMAN P. (2004) Carbon sequestration in pasture, agro-pastoral and silvopastoral systems in the American Tropical Forest Ecosystems. En: t'Mannetje, et al (Eds), pp 303-309. *The importance of Silvopastoral systems in rural Livelihoods to Provide Ecosystems Services*. Memoria UADY Mérida Yucatán, México.
- CASTELLANOS J., MASS M. Y KUMMEROW J. (1991) Root biomass of a dry deciduous tropical forest in Mexico. *Plant and Soil*, **131**, 225-228.
- CHAVE J., ANDOLA C., BROWN S., CAIRNS M., CHAMBERS Q., EAMUS D., FOLSTER H., FROMARD F., HIGUCHI N., KIRA T., LESCURE J., NELSON B., OGAWA H., PUIG H., RIÉRA B., Y YAMAKURA T. (2005) Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia*. **145**(1), 87-99.
- FORSYTHE W. (1972) *Manual de Laboratorio de Física de Suelos*. I.I.C.A. Turrialba, Costa Rica.
- IIED. (1994) Rapid Rural Appraisal (RRA). *Special issue on livestock*. Notes N° 20. London, UK: International Institute for Environment and Development.
- IPCC. (2003) Good Practice Guidance for Land Use, Land Use Change and Forestry (en línea) National Greenhouse Gas Inventories Programme. Kanagawa, Japan. <http://www.ipcc.ch>.
- MACDICKEN K.G. (1997) *A Guide to Monitoring Carbon Storage in Forestry and Agroforestry projects*. Winrock International Institute for Agricultural Development. Arlington, EEUU.
- MANNETJE I., AND HAYDOCK K. P. (1963) The dry-weight-rank method for the botanical analysis of pasture. *Journal of the British Grassland Society*, **18**, 268-275.
- MUHAMAD I., CHACON M., CUARTAS C., NARANJO C., PONCE G., VEGA P., CASASOLA F. Y ROJAS J. (2007) Almacenamiento de carbono en el suelo y la biomasa arborea en sistemas de usos de la tierra en paisajes ganaderos de Colombia, Costa Rica y Nicaragua. *Agroforestería de la Américas*, **45**, 27-35.
- MURGUEITIO E. (2005) Silvopastoral systems in the Neotropics. En: Mosquera, M.R, et al (Eds), pp. 24-29. *International Silvopastoral and Sustainable Land Management*, Lugo (Spain): CAB Int.
- RONCAL-GARCIA S. (2007) *Almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales en Chiapas, México*. Tesis de MC. El Colegio de la Frontera Sur (Mex).
- RUIZ G.A. (2002) *Fijación y almacenamiento de carbono en sistemas silvopastoriles y competitividad económica en Matiguás, Nicaragua*. Tesis de Mc. CATIE. Turrialba Costa Rica.
- SOTO-PINTO L, JIMENEZ-FERRER G, VARGAS-GUILLEN A, DE JONG-BERGSMA Y ESQUIVEL-BAZAN E. (2004) Experiencia agroforestal para la captura de carbono en comunidades indígenas de México. *Rev. For. Iberoamer*, **1**, 44-50.
- SZOTT L. IBRAHIM M. Y BEER, J. (2000) *The Hamburger Connection Hangover: Cattle, Pasture Land Degradation and Alternative Land Use in Central America*. CATIE-DANIDA-GTZ, Turrialba, Costa Rica
- SAS (2001) SAS Institute Inc. SAS Campus Drive, Cary, NY, North Carolina, Estados Unidos.
- WALKLEY A Y BLACK T.A. (1934) An examination of the Degtjarett method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.*, **37**, 29-38.

Características de la vegetación herbácea en mezclas pratenses y crecimiento del arbolado en sistemas silvopastorales en Asturias

Understory vegetation characteristics in pasture treatments and tree growth in silvopastoral systems in Asturias

J.A. OLIVEIRA-PRENDES¹ / J.P. MAJADA-GUIJO² / E. AFIF-KHOURI¹ / P. PALENCIA-GARCIA¹ / J.J. GORGOSO-VARELA¹.

¹Departamento de Biología de Organismos y Sistemas. Escuela Politécnica de Mieres. Universidad de Oviedo. C/ Gonzalo Gutiérrez Quirós s/n. 33600 Mieres (España). oliveira@uniovi.es

²Centro tecnológico y Forestal de la Madera (CETEMAS). Finca Experimental La Mata s/n 33820 Grado (España).

Resumen: Se evaluó la producción de biomasa, cobertura y composición botánica de tres mezclas pratenses, cinco y seis años después del establecimiento de pino radiata y nogal, en Tineo y Carreño, respectivamente. El ensayo, incluyó tres mezclas pratenses: (1) *Dactylis glomerata* cv Cambria (14 kg/ha) + *Lolium perenne* cv Brigantia (14 kg/ha) + *Trifolium repens* cv Huia (4 kg/ha); (2) *D. glomerata* cv Cambria (7 kg/ha) + *L. perenne* cv Brigantia (7 kg/ha) + *T. repens* cv Huia (4 kg/ha) + *Agrostis tenuis* cv Highland (14 kg/ha); (3) *D. glomerata* cv Cambria (7 kg/ha) + *L. perenne* cv Brigantia (7 kg/ha) + *T. repens* cv Huia (4 kg/ha) + *Festuca rubra rubra* cv Bargena (14 kg/ha) y como control se consideró el estrato herbáceo natural. Bajo nogal, la mezcla 1 fue la que presentó una mayor cobertura vegetal de las especies sembradas y producción de biomasa total. Bajo pino radiata, la mezcla 1 presentó una mayor cobertura vegetal de las especies sembradas pero no hubo diferencias significativas entre las mezclas pratenses en la producción de biomasa total. En ambos casos el *D. glomerata* fue la especie sembrada con mayor presencia en la biomasa y en la cobertura vegetal.

Palabras clave: *Pinus radiata*, *Juglans* X-80, cobertura vegetal, producción de biomasa bajo arbolado.

Abstract: Biomass production, cover and botanical composition of three sown meadow mixtures were evaluated five and six years after the establishment of radiata pine and walnut, in Tineo and Carreño, respectively. The trial included three sown meadow mixtures: (mixture 1) *Dactylis glomerata* cv Cambria (14 kg/ha) + *Lolium perenne* cv Brigantia (14 kg/ha) + *Trifolium repens* cv Huia (4 kg/ha); (mixture 2) *D. glomerata* cv Cambria (7 kg/ha) + *L. perenne* cv Brigantia (7 kg/ha) + *T. repens* cv Huia (4 kg/ha) + *Agrostis tenuis* cv Highland (14 kg/ha); (mixture 3) *D. glomerata* cv Cambria (7 kg/ha) + *L. perenne* cv Brigantia (7 kg/ha) + *T. repens* cv Huia (4 kg/ha) + *Festuca rubra rubra* cv Bargena (14 kg/ha) and as check the natural vegetation. Under walnut, mixture 1 showed the higher vegetation cover of the sown species and total biomass production. Under radiata pine, the mixture 1 had a higher vegetation cover of sown species but there were not significant differences between sown meadow mixtures in the production of total biomass. In both cases *D. glomerata* was the species sown with greater presence in biomass and vegetation cover.

Key words: *Pinus radiata*, *Juglans* X-80, vegetation cover, understory vegetation yield.

INTRODUCCIÓN

En el paisaje asturiano predomina el terreno forestal (pastos arbóreos y pastos arbustivos). La proporción de terreno forestal en Asturias es del 43% de la superficie geográfica total (458 089 ha), mientras que la superficie agrícola (pastos herbáceos y agrícolas) representa el 32% (332 251 ha) (SADEI, 2010).

Desde el año 2004, el Servicio Regional de Investigación y Desarrollo Agroalimentario de Asturias (SERIDA) está tratando de impulsar el establecimiento de sistemas agroforestales en Asturias con el fin de compatibilizar la producción de forraje con la forestal. Para ello se están plantando especies forestales en praderas establecidas con

diferentes mezclas pratenses, con el fin de evaluar qué especies pratenses toleran mejor el sombreado de la copa de los árboles. Se han elegido dos especies arbóreas modelos, nogal y pino radiata, empleando siempre material forestal procedente de programas de mejora, categoría controlada en sus países de origen (Majada y Oliveira, 2004).

Actualmente, cuando hablamos de nogal forestal nos estamos refiriendo a distintas especies de *Juglans*, en particular *J. nigra* L. y *J. regia* L., pero también a híbridos entre especies de nogal negro (*J. nigra*, *J. major*, *J. hindsii*, entre las más habituales) y *J. regia*. La evaluación del comportamiento de estos árboles ha permitido saber que es posible conseguir nogales para talar en turnos cercanos a los 30 años (con diámetros > 40 cm).

Una de las principales especies de coníferas utilizadas en el norte y noroeste de España en el establecimiento de sistemas silvopastorales es el pino radiata (*Pinus radiata* D. Don) (Rigueiro-Rodríguez *et al.*, 2010). La buena aceptación de esta especie para establecer sistemas silvopastorales se debe fundamentalmente al gran crecimiento de la misma, la precocidad con que alcanza los máximos de producción en volumen, la calidad de su madera para diversos usos, así como su gran plasticidad y flexibilidad selvícola. En esta especie, el turno de corta es cercano a los 30 años.

El objetivo de este trabajo ha sido determinar si existen diferencias de producción de biomasa, cobertura herbácea, composición botánica en mezclas pratenses y crecimiento del arbolado después de seis y cinco años de la implantación de un ensayo silvopastoral con nogal híbrido y pino radiata, respectivamente, en dos concejos Asturianos (Carreño y Tineo).

MATERIAL Y MÉTODOS

Parcelas de ensayo

Los ensayos se establecieron en una zona costera centro-oriental de Asturias (Támón, concejo de Carreño; latitud: 43° 30' 40,73" N, longitud: 5° 50' 15,96" W, altitud: 185 m), en una parcela con una pendiente del 5%, orientación SE, con un suelo de textura franco-arcillo-arenosa, pH = 5,6 y en la zona interior alta (Rellón, concejo de Tineo; latitud: 43° 20' 34,66" N, longitud: 6° 34' 4,14" W, altitud: 525 m), en una parcela con una pendiente entre el 5 y el 10%, orientación SO, con un suelo de textura franca y pH = 5,5.

Las fases de preparación del terreno y siembra de pratenses se realizaron en la primavera del 2004 en el caso de la plantación de nogales y en la primavera del 2005 en la plantación de *Pinus radiata*. En las parcelas, tras una labor de arado, se corrigió la acidez del suelo mediante un encalado aportando 2,3 t/ha de caliza pulverizada en ambas localidades. Con el fin de conseguir unos niveles de fertilidad adecuados que permitan atender las necesidades de las especies pratenses, las parcelas recibieron un abonado de fondo con superfosfato de cal del 18% (83 y 54 UF/ha de P₂O₅ en Carreño y Tineo, respectivamente) y sulfato potásico del 50% (475 y 377 UF/ha K₂O en Carreño

y Tineo, respectivamente). Las cantidades tan altas de abonado potásico aportadas se debieron a los niveles tan bajos de K asimilable obtenidos en los análisis de los suelos (< 30 ppm de K). No se aplicó nitrógeno y no se volvió a fertilizar el ensayo durante los años siguientes.

Para cada una de las especies arbóreas, el diseño experimental fue en bloques completos al azar con tres repeticiones y tres tratamientos (tres mezclas pratenses), considerando como control el estrato herbáceo espontáneo nacido tras el laboreo. El estrato herbáceo natural es un prado mesófilo de zonas colinas con aprovechamiento mediante siega y/o pastoreo, perteneciente a la asociación *Lino biennis-Cynosuretum cristati* (alianza *Cynosurion cristati*).

Cada una de las parcelas elementales estuvo compuesta de nueve árboles. El tamaño de cada parcela elemental varió según la especie arbórea. En nogal híbrido fue de 324 m², debido a que el marco de plantación fue de 6 m x 6 m, siendo la densidad de plantación de 278 pies/ha. En el caso de pino radiata, la parcela elemental tuvo una superficie de 135 m², debido a que el marco de plantación fue de 7,5 m x 2 m, siendo la densidad de plantación de 666 pies/ha.

Antes de la plantación de las especies arbóreas, se realizó la siembra de las siguientes mezclas pratenses, todas con una dosis de 32 kg de semilla por ha: (mezcla 1) *Dactylis glomerata* cv Cambria (14 kg/ha) + *Lolium perenne* cv Brigantia (14 kg/ha) + *Trifolium repens* cv Huia (4 kg/ha); (mezcla 2) *D. glomerata* cv Cambria (7 kg/ha) + *L. perenne* cv Brigantia (7 kg/ha) + *T. repens* cv Huia (4 kg/ha) + *Agrostis tenuis* cv Highland (14 kg/ha); y (mezcla 3) *D. glomerata* cv Cambria (7 kg/ha) + *L. perenne* cv Brigantia (7 kg/ha) + *T. repens* cv Huia (4 kg/ha) + *Festuca rubra rubra* cv Barga (14 kg/ha).

La gestión de los ensayos fue mediante siega dos veces al año (pastoreo simulado).

Producción de biomasa, cobertura y composición botánica de las mezclas pratenses

En junio de 2011 se determinó la cobertura, producción de biomasa y composición botánica de los diferentes tratamientos pratenses con un marco metálico de 0,5 m x 0,5 m. Se tomaron ocho muestras en cada parcela, cuatro alrededor del árbol central de cada parcela (zona de mayor sombreado) y las otras cuatro equidistantes al resto de los árboles (zona de menor sombreado). La toma de muestras fue realizada en el momento en el que las especies herbáceas presentaban su máximo desarrollo (espigado). Antes de proceder a cortar la biomasa del interior del marco, se realizó un examen visual del porcentaje de suelo desnudo. Una vez determinado el peso verde se llevaron las muestras al laboratorio donde se realizó un submuestreo de 200 g de materia verde por muestra (ocho muestras por parcela) y se realizó una separación en tres grupos: gramíneas y leguminosas sembradas (GLS), gramíneas y leguminosas espontáneas (GLE) y otras especies (OE). En base a estos resultados se calculó el porcentaje de cada uno de estos componentes en la cobertura vegetal. Se introdujeron las submuestras en estufa de aire forzado a 60 °C durante 48

horas y se determinó el peso seco de cada uno de los tres componentes lo que permitió el cálculo de la producción de biomasa seca en kg por ha.

Crecimiento del arbolado

En cada parcela se seleccionó el árbol central y en él se hicieron las mediciones de altura total (m), diámetro normal del árbol (medido a 1,3 m del suelo) y diámetro de copa.

En el caso de los nogales se realizaron las medidas de alturas de todos los árboles centrales con una cinta métrica y con un Vertex III en los pinos. Para la medida de diámetros normales se usó un calibre en el caso del nogal y una forcípula en los pinos, con el que se realizaron dos medidas perpendiculares y se consideró la media. También se tomaron medidas de la proyección de copa. Para ello se utilizó también la cinta métrica en el caso del nogal y el Vertex III en los pinos. Se realizaron dos mediciones de la proyección y se consideró la media.

Análisis estadístico

Los porcentajes de cobertura de los diferentes tipos de vegetación (GLS, GLE y OE) se transformaron mediante el arcoseno para cumplir las condiciones de normalidad.

Los datos se contrastaron mediante análisis de varianza, considerando los factores localidad, mezcla pratense, repetición y las interacciones repetición x localidad y localidad x mezcla. El factor localidad y mezcla se consideraron de efecto fijo y la repetición como factor aleatorio.

En el caso de que el factor mezcla fuese significativo se compararon las medias entre las tres mezclas pratenses mediante el test de Duncan al 5%. Todos los análisis estadísticos se realizaron con el programa SPSS 19 (SPSS, 2011).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El factor localidad contrastado respecto a la interacción repetición x localidad no resultó significativo. La interacción localidad x mezcla tampoco resultó significativa para ninguna de las variables estudiadas. La tabla 1 muestra que bajo nogal hubo diferencias significativas entre las tres mezclas pratenses para el porcentaje de cobertura de GLS, siendo mayores en las mezclas 1 y 2. También hubo diferencias significativas en OE, siendo menores en la mezcla 1. Entre las especies sembradas, la gramínea que tuvo una mayor cobertura fue el *D. glomerata* (32,17% en Carreño y 34,61% en Tineo). *L. perenne* y *A. tenuis* tuvieron una presencia escasa en las dos localidades (<3%). La *F. rubra* solo estuvo presente en Carreño en un porcentaje muy bajo (<3%). El *T. repens* tuvo también una baja presencia en las dos localidades (1-2%). Las gramíneas espontáneas que tuvieron mayor cobertura fueron *Holcus lanatus* y *Anthoxanthum odoratum* y *Trifolium pratense* entre las leguminosas.

Tabla 1. Cobertura vegetal (%) y producción de biomasa (kg/ha) entre paréntesis, según el tratamiento pratense, bajo nogal. Medias de las dos localidades. GLS = Gramíneas y leguminosas sembradas, GLE = Gramíneas y leguminosas espontáneas, OE = Otras especies.

Componente	Mezcla 1	Mezcla 2	Mezcla 3	Control
GLS	32,53a (2090a)	25,87a (1412ab)	11,28b (710b)	-
GLE	29,02 (1712)	29,41 (1720)	38,18 (2048)	44,12 (2262)
OE	30,42b (1638)	38,88ab (1962)	41,99a (1928)	47,13 (2184)
Total	91,97 (5440a)	94,16 (5094ab)	91,45 (4686b)	91,25 (4446)
Suelo desnudo	8,03	5,84	8,55	8,75

Dentro de una línea, medias seguidas de la misma letra no difieren significativamente al nivel de probabilidad del 5% según el test de Duncan.

En cuanto a la producción de biomasa bajo nogal (tabla 1), se encontraron diferencias significativas en la GLS y en la biomasa total para las mezclas 1 y 3.

La tabla 2 muestra que bajo pino radiata también hubo diferencias significativas entre las tres mezclas pratenses para GLS, siendo mayores en la mezcla 1. Entre las especies sembradas, la gramínea que tuvo una mayor presencia, al igual que ocurrió bajo el nogal fue el *D. glomerata* (33,49% en Carreño y 56,39% en Tineo). La *F. rubra* solo apareció en Carreño (11,86%). El *A. tenuis* y el *L. perenne* no aparecieron en ninguna de las dos localidades. El *T. repens* apareció solo en Carreño (1,65%). Las gramíneas espontáneas que tuvieron mayor cobertura fueron *Holcus lanatus* y *Brachypodium pinnatum* en Carreño y *Holcus lanatus* y *Trisetum flavescens* en Tineo. Las leguminosas (*Trifolium patens* y *Trifolium pratense*) tuvieron una presencia muy escasa (<3%).

Tabla 2. Cobertura vegetal (%) y producción de biomasa (kg/ha) entre paréntesis, según el tratamiento pratense, bajo pino radiata. Medias de las dos localidades. GLS = Gramíneas y leguminosas sembradas, GLE = Gramíneas y leguminosas espontáneas, OE = Otras especies.

Componente	Mezcla 1	Mezcla 2	Mezcla 3	Control
GLS	28,54a (1198)	20,17b (762)	25,05b (1172)	-
GLE	22,41 (704)	29,63 (940)	36,03 (982)	65,63 (1924)
OE	11,02 (204b)	16,03 (570a)	11,10 (342ab)	16,24 (386)
Total	61,97 (2106)	65,83 (2272)	72,18 (2496)	81,87 (2310)
Suelo desnudo	38,03	34,17	27,82	18,13

Dentro de una línea, medias seguidas de la misma letra no difieren significativamente al nivel de probabilidad del 5% según el test de Duncan.

En cuanto a la producción de biomasa (tabla 2) no se encontraron diferencias significativas entre los diferentes tratamientos pratenses. Solo se encontraron diferencias significativas para OE, siendo los valores mayores en la mezcla 2. Dentro de este grupo, la especie con mayor representación fue *Centaurea nigra* (11,28% en Carreño y 2,08% en Tineo).

Dentro de las especies sembradas, la especie con mayor cobertura resultó ser el dactilo confirmando los resultados de otros trabajos realizados en el Norte de España en sistemas silvopastorales (Mosquera-Losada *et al.*, 2006).

La menor producción de biomasa y la menor cobertura vegetal de las mezclas pratenses bajo pino radiata respecto al nogal se debe a que existe una fuerte relación entre la producción de pastos del sotobosque y la fracción de cabida cubierta (diámetro de copa) de los árboles (Knowles, 1991). La poca presencia de *L. perenne*, *A. capillaris* y *F. rubra* se puede deber al sistema de manejo llevado en los ensayos mediante dos cortes al año ya que estas especies suelen ser más frecuentes en pastos sometidos a pastoreo con ovejas (Grime *et al.*, 2007).

La presencia del trébol es reducida tanto bajo pino como bajo nogal, debido probablemente al sistema de manejo empleado y a la agresividad de las gramíneas (sobre todo la del dactilo) respecto al trébol blanco en las mezclas pratenses con el paso del tiempo (Piñeiro y Pérez, 1992).

En cuanto al crecimiento del arbolado, en ninguna de las dos especies arbóreas hubo diferencias significativas entre las mezclas pratenses y la vegetación natural ($p > 0,05$) en la altura del árbol, diámetro normal y diámetro de copa (tabla 3).

Tabla 3. Comparación de la altura media, diámetro a 1,30 m de altura y diámetro de copa en *Pinus radiata* y *Juglans X-80* para cada una de las mezclas pratenses y control. Medias de las dos localidades. Intervalo de confianza al 95% entre paréntesis.

Características de los árboles	Pratenses	Juglans X-80	Pinus radiata
Altura, m	Mezcla 1	1,65 (1,16-2,14)	7,20 (6,56-7,84)
	Mezcla 2	1,99 (1,50-2,48)	7,03 (6,39-7,67)
	Mezcla 3	1,97 (1,47-2,46)	6,87 (6,23-7,50)
	Control	1,88 (1,39-2,38)	6,95 (6,31-7,59)
Diámetro normal, cm	Mezcla 1	1,69 (0,93-3,30)	14,73 (13,20-16,26)
	Mezcla 2	1,70 (0,96-2,43)	12,60 (11,07-14,13)
	Mezcla 3	2,28 (1,64-3,38)	12,53 (11,00-14,06)
	Control	2,90 (1,41-3,35)	14,03 (12,50-15,56)
Diámetro de copa, m	Mezcla 1	0,61 (0,38-0,84)	2,83 (2,44-3,23)
	Mezcla 2	0,63 (0,40-0,86)	2,72 (2,32-3,11)
	Mezcla 3	0,79 (0,57-1,02)	3,19 (2,79-3,58)
	Control	0,74 (0,51-0,97)	2,91 (2,51-3,30)

Las medias de la altura, diámetro normal y diámetro de copa, para cada especie de árbol, seguidas por diferentes letras en cada columna fueron significativamente diferentes mediante el test de Duncan con un nivel de significación de $p < 0,05$.

CONCLUSIONES

Bajo nogal, la mezcla 1 fue la que presentó una mayor cobertura vegetal de las especies sembradas y producción de biomasa total. Bajo pino radiata, la mezcla 1 presentó una mayor cobertura vegetal de las especies sembradas pero no hubo diferencias significativas entre las mezclas pratenses en la producción de biomasa total. En ambos casos el *D. glomerata* fue la especie sembrada con mayor presencia en la biomasa y en la cobertura vegetal. No hubo diferencias significativas entre las mezclas pratenses y la vegetación natural en el crecimiento del arbolado en ninguna de las dos localidades. El porcentaje de suelo desnudo fue mayor bajo pino radiata que bajo nogal.

AGRADECIMIENTOS

Los autores están agradecidos a D. Jesús Aladro Aladro y D. Javier Cuesta Iglesias estudiantes de la Escuela Politécnica de Mieres, a D. Miguel García del CETEMAS, propietario de la parcela de Tineo y a D. Luis y D^a Luisa de casa "Benito la Viuda", propietarios de la parcela de Carreño.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- GRIME J.P., HODGSON J.G. Y HUNT R. (2007) *Comparative plant ecology. A functional approach to common British species*. Dalbeattie, Escocia, UK: Castlepoint Press.
- KNOWLES R.L. (1991) New Zealand experience with silvopastoral systems: a review. *Forest Ecology and Management*, **45**, 251-267.
- MAJADA J.P. Y OLIVEIRA J.A. (2004) *Desarrollo Agroforestal*. En: SERIDA, Consejería de Medio Rural y Pesca (Eds). Memoria del SERIDA, p. 101. Oviedo, Asturias, España.
- MOSQUERA-LOSADA M.R., FERNÁNDEZ-NUÑEZ E. Y RIGUEIRO-RODRIGUEZ A. (2006) Pasture, tree and soil evolution in silvopastoral systems of Atlantic Europe. *Forest Ecology and Management*, **232**, 135-145.
- PIÑEIRO J. Y PÉREZ M. (1992) *Mezclas pratenses para la España Húmeda*. Madrid, España: Hojas Divulgadoras Núm. 8/92 HD. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. Secretaría General de Estructuras Agrarias.
- RIGUEIRO-RODRIGUEZ A., CASTRO S. Y MOSQUERA-LOSADA M.R. (2010) Effects of dose and period of sewage sludge application on soil, tree and pasture components in a *Pinus radiata* D. Don silvopastoral system. *Agroforestry Systems*, **79**, 237-247.
- SADEI (2010) *La Agricultura Asturiana. Referencias estadísticas 2008-2009*. Oviedo, Asturias, España: Edita Servicio de Publicaciones del Principado de Asturias SADEI.
- SPSS (2011) SPSS for Windows, vers.19.0. SPSS Inc. 1989-2005.

Comparación de costes de control del matorral con desbroce y pastoreo de ganado caprino en un área cortafuegos de la Comunitat Valenciana

Cost comparison of clearing, mechanized and with goats grazing, in a fuelbreak of Valencian Region (Spain)

C. DOPAZO¹ / A.E. LAHIGUERA² / J. SUÁREZ³ / V. MARTÍNEZ⁴ /
A.B. ROBLES⁵ / J.L. GONZÁLEZ-REBOLLAR⁵

¹Grupo de Investigación en Ciencia y Tecnología Forestal. Universidad Politécnica de Valencia. Camino de Vera s/n. 46022 Valencia. cardogon@agf.upv.es.

²Gabiente Técnico. V.A.E.R.S.A.

³Servicio de Prevención y Extinción de Incendios. Generalitat Valenciana

⁴Grupo de Economía Internacional. Universidad Politécnica de Valencia

⁵Grupo de Pastos y Sistemas Mediterráneos. Estación Experimental del Zaidín. C.S.I.C.

Resumen: En los últimos años se han puesto en marcha en diferentes comunidades autónomas programas que integran el pastoreo en la prevención de incendios forestales, con el objetivo principal de controlar la vegetación en áreas cortafuegos. La información sobre la cuantificación de los efectos del ganado sobre la vegetación en estas áreas, así como los análisis entre alternativas de mantenimiento de los desbroces son de interés para la puesta en valor de la ganadería y para los gestores, pero apenas si existe información al respecto. El objetivo es la comparación de costes entre la alternativa más común, de desbroce mecanizado, frente a una alternativa de desbroce mecanizado y pastoreo. Se realiza el estudio a partir de las estimaciones de fitovolumen realizadas desde el año 2004 al 2009 en una explotación de ganado caprino de la raza negra serrana que pasta en áreas cortafuegos con comunidades arbustivas dominadas por *Quercus coccifera* L., *Thymus vulgaris* L. y *Rosmarinus officinalis* L. La reducción de costes asociada al control por pastoreo supone un 24,7% de los costes del desbroce mecanizado para las condiciones del área de estudio, mientras que esa diferencia se reduce con condiciones del medio más adecuadas para el trabajo del tractor.

Palabras clave: selvicultura preventiva, cabra, control del matorral, combustible forestal.

Abstract: In recent years, different regions have launched programs to integrate grazing in forest fire prevention, with the main purpose of vegetation control on fuelbreaks. Although information on the quantification of the effects of livestock on vegetation in fuelbreaks and on the cost comparison between alternatives of maintaining clearings are of interest, there is scarce evidence about them. Thus, our objective is a cost comparison between the most common alternatives, mechanized land clearing, and mechanized clearing followed by grazing. The study was carried from phyto-volume estimates made from 2004 to 2009 on a goat herd of 'negra serrana' breed grazing in firebreaks with shrub communities dominated by *Quercus coccifera* L., *Thymus vulgaris* L. and *Rosmarinus officinalis* L. In the area, the costs reduction by grazing represents about 24.7% of the costs of only-mechanized land clearing, while this difference decreases when environmental conditions are more suitable for tractors held.

Key words: firebreak, fire prevention, small ruminants, bushland management, forest fuel.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el pastoreo para la prevención de incendios forestales es una alternativa en auge en España, donde se han desarrollado diversas experiencias y programas autonómicos a gran escala (Ruiz-Mirazo, 2011), en los que se busca retribuir el pastoreo que consiga un cierto control de la vegetación y permita retrasar la aplicación de los desbroces mecanizados de mantenimiento. La Comunitat Valenciana

fue la pionera, con el establecimiento de un régimen de primas compensatorias a los ganaderos para el control del combustible mediante el pastoreo que ha funcionado desde el año 1996 hasta el año 2009 (Generalitat Valenciana, 2009). Se ha pretendido integrar a los ganaderos en la prevención de incendios forestales con un doble objetivo: el control de la vegetación en las áreas cortafuegos y la disminución del número de incendios originados por el uso incontrolado del fuego para la regeneración de pastos. Sin embargo, la información disponible sobre cuantificación de los efectos sobre la vegetación de áreas cortafuegos, así como las valoraciones económicas, son todavía muy escasos.

Hasta el momento, la única valoración económica publicada, de la que tenemos conocimiento, es la de Varela-Redondo *et al.* (2008), que compara los costes estimados entre desbroces mecanizados y el control del combustible con ganado. Los desbroces considerados se corresponden con los trabajos realizados con motodesbrozadora por las brigadas de extinción, pero no contemplan otra situación muy común en materia de prevención de incendios, la realizada mediante desbroces mecanizados por parte de una empresa especializada. Éste es el caso de la Comunitat Valenciana, donde los desbroces de mantenimiento de áreas cortafuegos se ejecutan en su mayoría con diversos equipos de roza y trituración en función de las condiciones del medio y la vegetación. Los medios más empleados son los tractores con desbrozadoras de cadenas o de martillos, que son sustituidos o auxiliados por operarios con motodesbrozadora manual allí donde los tractores no pueden trabajar en condiciones adecuadas.

A partir de la cuantificación del efecto del pastoreo sobre el matorral en una faja cortafuegos sometida a pastoreo durante un periodo de seis años se plantea como objetivo del presente trabajo la comparación de los costes de desbroce para dos alternativas: la común del desbroce mecanizado (tractores de cadenas con desbrozadoras y motodesbrozadoras) frente a la alternativa del desbroce mecanizado complementado con pastoreo de ganado caprino. Se analizan dos posibles escenarios: para condiciones de desbroce mecanizado fácil y para las condiciones reales del área de estudio, de mayor dificultad.

MATERIAL Y MÉTODOS

La estimación de costes se ha realizado en una parte de la red de áreas cortafuegos del Alto Turia, localizada en terrenos de los términos municipales de Aras de los Olmos, Titaguas y Tuéjar (Valencia). Se sitúa en torno a los 850 msnm, con suelos desarrollados sobre materiales calcáreos y pertenece al piso bioclimático mesomediterráneo superior. La vegetación actual se corresponde con un pinar de *Pinus halepensis* Mill. El área cortafuegos ocupa una longitud de 9.548 m y una superficie de 56 ha, de las que un 29% tiene pendientes superiores al 30%. En esta superficie ha pastado un rebaño de cabra de raza negra serrana orientado a la producción cárnica, con desplazamiento del mismo a otras zonas en parte del verano y del invierno. La carga ganadera global en el área estudiada es próxima a las 3 reses ha⁻¹, para cuya estimación no se han

tenido en cuenta las superficies arboladas colindantes con los cortafuegos, donde el rebaño se ha alimentado también en determinados momentos. El desbroce por el ganado ha afectado de una forma bastante homogénea a toda la superficie pastada.

Dentro de dicha red, la cuantificación del efecto del pastoreo sobre el matorral se ha realizado en una faja cortafuegos del término municipal de Titaguas (Valencia), alejada de puntos de concentración de ganado. Los suelos son poco profundos (5 a 15 cm), desarrollados sobre materiales calcáreos consolidados. Las superficies presentan un mosaico de teselas donde se entremezclan zonas de suelo desnudo o cubierto por los restos del desbroce, con comunidades herbáceas dominadas por *Brachypodium retusum* (Pers.) Beauv. con numerosos terófitos, y comunidades arbustivas en las que destacan *Quercus coccifera* L., *Thymus vulgaris* L., *Rosmarinus officinalis* L. y *Cistus albidus* L. En noviembre de 2003 se realizó el último desbroce mediante desbrozadora de cadenas acoplada a tractor.

Para la estimación del fitovolumen se ha empleado el método “bulk transect” (Etienne y Legrand, 1994). Se han analizado dos tratamientos (pastoreo y control), con 12 transectos permanentes de 20 m x 0,5 m cada uno. El fitovolumen (v) se ha estimado, para cada mata, a partir de su cobertura (s) y altura (h) mediante la fórmula $v=2/3 s h$. El fitovolumen por unidad de superficie se ha estimado, para cada transecto, como suma del de las matas presentes. Los datos abarcan desde el año 2004 hasta el año 2009, en cuya primavera finalizó el pastoreo. Los resultados de estimación del fitovolumen obtenidos son los indicados en la tabla 1, pudiéndose ampliar la información en Dopazo *et al.* (2009).

Tabla 1. Fitovolumen del matorral (m³ ha⁻¹) en zonas control y zonas pastadas tras el desbroce inicial. Pastoreo entre la primavera de 2004 y la primavera de 2009.

	Agosto 2004		Julio 2005		Julio 2006		Julio 2007		Julio 2008		Julio 2009	
	media	e.e.	media	e.e.	media	e.e.	media	e.e.	media	e.e.	media	e.e.
Control	207	51	329	78	597	122	734	142	989	145	1289	180
Pastado	148	21	99	12	213	26	394	45	575	59	673	79
Test realizado			Mann-Whitney		Mann-Whitney				T-test (logV)		T-test (logV)	
			**		**				*		**	

e.e. =error estándar; * significativo (p<0,05); ** significativo (p<0,01).

Se fija el criterio de mantener un fitovolumen inferior a los 600 m³ ha⁻¹. Es una cifra admisible en términos de mantenimiento de cortafuegos, para la que se puede establecer el número de años precisos entre dos desbroces consecutivos con los datos disponibles. En el caso de estudio supone la necesidad de un desbroce de mantenimiento cada tres años en el desbroce mecanizado y cada cinco años con el control de la vegetación con pastoreo (tabla 1). Se calculan los flujos de gastos y los costes totales de mantenimiento para un periodo de 15 años, momento en el que coincide el desbroce de mantenimiento para ambas alternativas. Para la comparación se emplea el valor ac-

tual neto (VAN) correspondiente a cada una de las dos alternativas elegidas. Se toma el año 2004 como año de inicio, empleando una tasa de descuento que permite “llevar” a ese año de inicio los gastos de los quince años de actuación.

El coste del desbroce mecanizado para el área en cuestión se calcula al aplicar al área de estudio los criterios y precios utilizados por la administración valenciana en la redacción de proyectos de mantenimiento de áreas cortafuegos con desbroce mecanizado. Los precios utilizados son los correspondientes a las tarifas para el año 2007 de la empresa pública VAERSA. El coste se corresponde con el presupuesto de ejecución por administración, obtenido a partir del presupuesto de ejecución material con un incremento del 4% de costes indirectos y un 18% de IVA. Es el caso más común al ser VAERSA la principal ejecutora de los trabajos de desbroce para la prevención de incendios en la Comunitat Valenciana.

Los costes de desbroce pueden diferir notablemente en función de las condiciones del medio, por lo que se establecen dos escenarios:

- Escenario 1: supuesto teórico de que todo el área cortafuegos tuviera las mismas características del medio que la zona de toma de datos de fitovolumen (a efectos de tarifas: pendiente <10%, cobertura del matorral < 50%, diámetro del matorral < 3 cm, altura del matorral < 1 m, biomasa < 8 tm ha⁻¹, sin arbolado; con dificultades puntuales por la presencia de grandes piedras o taludes).

- Escenario 2: condiciones reales de las áreas cortafuegos dentro del ámbito de estudio en cuanto a pendiente (29% de la superficie con pendientes superiores al 30%), pedregosidad y arbolado en bandas auxiliares. La vegetación a desbrozar se ha considerado de las mismas características que en el escenario anterior.

Se presupuesta el empleo de desbrozadoras acopladas a tractor para pendientes < 30%. Se emplean motodesbrozadoras con disco triturador en el resto de zonas, así como de apoyo al tractor en las superficies tratadas por éste: un 10% de la superficie por taludes y grandes piedras, y en un círculo de 1 m de radio alrededor de los árboles de las bandas auxiliares.

Los costes de pastoreo se corresponden con el pago de primas compensatorias por hectárea establecidas por la Generalitat Valenciana y recibidas por el ganadero en los años 2004 a 2008. Se asigna como valor anual en ese periodo el promedio de las primas recibidas, teniendo en cuenta el porcentaje que supone el área de estudio respecto a la superficie total adjudicada al ganadero en el año. El valor es de 40,11 euros ha⁻¹.

Para el cálculo del resto de costes a partir de los disponibles se ha empleado, para los años 2004 a 2010, el índice de precios al consumo (IPC); para los años 2011 a 2018 se han calculado estos costes con una estimación del nivel de inflación anual esperada.

RESULTADOS

En la tabla 2 se muestra el presupuesto de ejecución por administración del desbroce mecanizado para los dos escenarios estudiados. En la tabla 3 se muestra el flujo anual de gastos de mantenimiento y el coste total, en valor actual neto del año 2004,

para cada una de las alternativas (desbroce frente a pastoreo y desbroce) y escenarios. Todos los años se cumple el criterio de no superar los 600 m³ ha⁻¹ de fitovolumen y en el año 2018 se puede asumir que el estado de la vegetación es el mismo en las dos alternativas (sin matorral) al coincidir los desbroces de mantenimiento. El coste total de mantenimiento hasta ese año es inferior en la alternativa con pastoreo que en la alternativa de desbroce mecanizado.

Tabla 2. Coste de ejecución por administración de un desbroce de mantenimiento de las áreas cortafuegos para los dos escenarios (escenario 1: pendiente<10%, sin arbolado; escenario 2: características reales del área cortafuegos). Precios del año 2007.

	Escenario 1	Escenario 2
Coste total (euros)	28 723,24	44 439,78
Coste medio (euros ha ⁻¹)	512,92	793,57

Tabla 3. Costes anuales de mantenimiento de las áreas cortafuegos y valor actual neto para cada uno de los escenarios y alternativas de desbroce (euros).

	Escenario 1		Escenario 2	
	Pendiente<10%, sin arbolado		Pendiente y arbolado reales	
	Desbroce	Pastoreo+desb	Desbroce	Pastoreo+desb
2004	0	2246	0	2246
2005	0	2246	0	2246
2006	27 968	2246	43 271	2246
2007	0	2246	0	2246
2008	0	32 176	0	48 553
2009	30 349	2278	46 955	2278
2010	0	2296	0	2296
2011	0	2365	0	2365
2012	32 785	2461	50 724	2461
2013	0	36 674	0	55 339
2014	0	2664	0	2664
2015	36 932	2772	51 140	2772
2016	0	2884	0	2884
2017	0	3001	0	3001
2018	41 604	47 697	64 368	72 088
VAN (€2004)	104 504	87 437	161 685	121 681

DISCUSIÓN

La reducción del coste de mantenimiento de las áreas cortafuegos por el pastoreo supone un 24,7% de los costes del mantenimiento con desbroce mecanizado para las condiciones del área de estudio, mientras que esa diferencia se reduce al 16,3% en el

caso de tratarse de condiciones muy favorables para el trabajo del tractor (90% de la superficie con tractor, en terrenos de poca pendiente y sin arbolado).

En los estudios llevados a cabo en Andalucía (Varela-Redondo *et al.*, 2008) con ganado ovino y caprino se estima que el pago realizado a pastores supone, como promedio, un 23,3% del total de costes del mantenimiento con desbroce mecanizado, lo que es equivalente a unos costes evitados por el pastoreo del 76,7% de los costes de desbroce mecanizado. Este resultado coincide en estimar un menor coste del control de la vegetación con ganado, aunque con mayores diferencias. Los motivos pueden ser muy diversos, al existir un gran número de factores. En primer lugar, aún siendo del mismo orden, son diferentes las cantidades percibidas por los ganaderos en Andalucía, que varían desde los 33,99 a los 69,32 euros ha⁻¹ y año⁻¹. En segundo lugar, los desbroces son realizados por las brigadas de extinción con motodesbrozadora, lo que supone un mayor coste de ejecución. Por último, no hay que olvidar que, además de las condiciones de desbroce, también son diferentes las condiciones del medio y del sistema de pastoreo, así como la metodología empleada para la comparación.

No obstante, un análisis más completo debe tener en cuenta diversas utilidades e inconvenientes del pastoreo. Entre las primeras se encuentran las socioeconómicas ligadas a su actividad productiva (productos de calidad, empleo rural, valores culturales, etc.) y las ambientales (paisaje, biodiversidad, etc.); desde un punto de vista de incendios forestales, cabe considerar la disminución del número de incendios originados por el uso del fuego para la regeneración de pastos y el control de la vegetación herbácea para el periodo de máximo riesgo de incendios. Los inconvenientes suelen estar ligados a incompatibilidades con otros usos e impactos sobre la vegetación, que deben ser previstos y mantenidos dentro de unos niveles asumibles con una gestión adecuada.

CONCLUSIONES

Para los escenarios analizados en el noroeste de la provincia de Valencia, el coste total de mantenimiento de un área cortafuegos es inferior con la alternativa de desbroce mecanizado y pastoreo frente a la de desbroce mecanizado. Los costes evitados por el pastoreo suponen un 24,7% de los del desbroce mecanizado para las condiciones del área de estudio, mientras que esa diferencia se reduce cuando las condiciones del medio son más adecuadas para el tractor.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- DOPAZO C., ROBLES A.B., RUIZ R. Y SAN MIGUEL A. (2009). Efecto del pastoreo en el mantenimiento de cortafuegos en la Comunidad Valenciana. En: S.E.C.F. *Actas del 5º Congreso Forestal Español*. Ávila, España. Disponible en: <http://www.secforestales.org/buscador/pdf/5CFE01-208.pdf> [Consulta 30 septiembre 2011]
- ETIENNE M. Y LEGRAND C. (1994). A non-destructive method to estimate shrubland biomass and combustibility. En: Viegas D.X. (ed.) *Proceedings Second International Conference on Forest Fire Research* Vol I, pp 425-434. Coimbra, Portugal.

- GENERALITAT VALENCIANA (2009). Orden de 11 de mayo de 2009, de la Conselleria de Medio Ambiente, Agua, Urbanismo y Vivienda, por la que se convocan y se aprueban las bases reguladoras de las ayudas gestionadas por la Dirección General de Gestión del Medio Natural, en materia de prevención de incendios forestales, para el ejercicio 2009. *DOCV 6018*, pp 19585-19625 (de 21 de mayo de 2009).
- RUIZ-MIRAZO J. (coord.) (2011) Programas gubernamentales de apoyo al pastoreo para la prevención de incendios forestales en España. En S.E.C.F. (ed.) *Sistemas Agroforestales en España*.
- VARELA-REDONDO E., CALATRAVA-REQUENA J., RUIZ-MIRAZO J., JIMÉNEZ-PIANO R. Y GONZÁLEZ-REBOLLAR J.L. (2008) El pastoreo en la prevención de incendios forestales: análisis comparado de costes evitados frente a medios mecánicos de desbroce de la vegetación. *Pequeños rumiantes*, **9(3)**: 12-20.

Caracterización de la sequía en pastos anuales en dehesas

Characterization of pasture drought in dehesas of Spain

J.A. ESCRIBANO RODRÍGUEZ¹ / A.E. GLIGA² / J.F. LLORENTE MARTÍNEZ³ /
C.G. HERNÁNDEZ DÍAZ-AMBRONA¹

¹Grupo de Sistemas Agrarios AgSystems, Departamento de Producción Vegetal: Fitotecnia. CEIGRAM. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, Universidad Politécnica de Madrid, Ciudad Universitaria s/n, E-28040 Madrid (España). juanagustin.escribano@upm.es
carlosgregorio.hernandez@upm.es

²The University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine. Cluj-Napoca (Rumanía). gligaadrian@gmail.com
³Entidad Estatal de Seguros Agrarios, ENESA, Madrid (España). jlorenm@marm.es

Resumen: La sequía es un término meteorológico que significa un periodo seco prolongado. El objetivo de este trabajo es caracterizar el fenómeno estacional de la sequía en pastos anuales de dehesa. Durante 2010 y 2011 se realizó un seguimiento del pasto herbáceo en El Cubo de Don Sancho (Salamanca), Trujillo (Cáceres) y Pozoblanco (Córdoba). Se midió la producción herbácea y se caracterizó botánicamente cada zona, además se midió mensualmente la variación del contenido de agua en el suelo mediante un TDR y la precipitación. Los datos de campo de precipitación, humedad del suelo y cantidad de pasto en pie, y los datos estimados de evaporación se han comparado con la evolución del índice de vegetación para seguros de sequía por teledetección determinado por Agroseguro. Los resultados mostraron un retardo entre la acumulación de agua en el suelo y el crecimiento del pasto, que se transfiere a las medidas del índice de vegetación por teledetección. En los dos años de estudio los periodos de sequía sucedieron al inicio de crecimiento, justo después de la sequía estacional típica del verano.

Palabras clave: Agua, pastoreo extensivo, producción.

Abstract: Drought is a meteorological term meaning a prolonged dry period. The aim of this study is to characterize the seasonal phenomenon of pasture drought in three different Mediterranean annual grasslands. During 2010 and 2011, botanic composition, herbage production and forage quality were recorded at three Spanish dehesas: El Cubo de Don Sancho (Salamanca), Trujillo (Cáceres) and Pozoblanco (Córdoba). In addition, we measured monthly variation of soil water content using a TDR, collected rainfall data and estimated grassland evapotranspiration. These data were compared with the evolution of the vegetation index provided by Agroseguro to evaluate the incidence of drought in pastures. The results show that at the beginning of the autumn, a long period without rain causes a lack of water recharge in the soil profile that affects production negatively. When precipitation occurs, soil water content is increased and a delay in grassland production and in the vegetation index is reported. In both years of study, at the three types of dehesas, drought happens at the beginning of the growing season, after the common dry period of summer.

Key words: Water, rangeland grazing, production.

INTRODUCCIÓN

La definición de sequía es muy amplia, para poder incluir el gran número de condiciones que existen en la agricultura, y que dependen del balance la pluviometría- evaporación, variabilidad del tiempo, capacidad de retención de agua del suelo, tipo de especies, hábitos de enraizamiento y estado de desarrollo. En zonas con una alta pluviometría, una semana sin lluvia puede causar una pérdida significativa de rendimientos, sin embargo, en zonas semiáridas, este tipo de sequía es común y las prácticas de manejo se modifican para tener en cuenta periodos de tiempo seco más largos de los normales. Se puede hablar también de sequía estacional aquella que ocurre siempre debida a unas mismas condiciones climáticas, como ocurre durante la estación estival en clima mediterráneo.

El término sequía es diferente al déficit hídrico, que ocurre cuando hay un desequilibrio entre suministro de agua del suelo y las necesidades de transpiración, eso

quiere decir que la evapotranspiración real de las plantas es inferior a su evapotranspiración máxima. Aunque el déficit hídrico puede estar causado por una sequía, falta de pluviometría, también puede estar causado por un bajo contenido de agua en el suelo y suele suceder en suelos arenosos con poca capacidad de retención de agua, cuando hay una fuerte demanda evaporativa de la atmósfera y las raíces de la vegetación no son capaces de absorber todo el agua que deberían transpirar. El término sequía se equipara al déficit hídrico cuando es intenso y prolongado y se observa una disminución del crecimiento y, en algunos casos, una modificación del desarrollo.

Para un pasto herbáceo de tipo anual adaptamos los tres patrones de sequía de Jordan y Miller (1980). El primer caso es el más común y el que determina el comportamiento de los pastos herbáceos anuales. Está caracterizado por la presencia de una sequía terminal y estacional: se produce después del período de crecimiento más importante durante el cual el abastecimiento de agua ha sido el adecuado y termina con la senescencia de la planta. En pastos anuales, la supervivencia o persistencia de las plantas se consigue a través de la semilla que es capaz de sobrevivir al periodo prolongado de falta de agua. Esta situación es característica de las zonas de latitudes medias con lluvias en invierno y primavera, como sucede en climas mediterráneos en los cuales el final de la primavera y comienzos de verano traen consigo niveles altos de evaporación y poca lluvia, un adelanto de este periodo provoca que las semillas no lleguen a madurar y se reduce la persistencia del pasto (Olea, 1988). El segundo caso viene determinado por una gran incertidumbre en el comienzo de la estación lluviosa. Esa sequía inicial prolonga el estado de latencia seminal y por tanto retrasa el inicio del crecimiento que sucederá más tarde, cuando las temperaturas sean más bajas. En este caso el crecimiento inicial se retrasa, impidiendo que haya una buena otoñada, e incluso favoreciendo una mala germinación, por lo que se produce una reducción en la producción de otoño e invierno. El ciclo productivo es más corto y se hace en condiciones más desfavorables. Por último, el tercer caso es característico de muchas zonas (húmedas y semiáridas), en los que los totales de precipitación estacional pueden ser adecuados, pero la variabilidad durante la estación de crecimiento es alta. Las sequías pueden ocurrir en cualquier momento a lo largo de esta estación cuando, por otra parte, la temperatura y la radiación son propicias para el crecimiento del cultivo. La incidencia sobre el crecimiento es variable y sobre la persistencia también, dependiendo del momento en que éstas sucedan.

En general, los pastizales están adaptados a los patrones usuales de sequía del clima mediterráneo. La diversidad de especies con ciclos de crecimiento diferentes hace que los efectos de la sequía sean menores, aunque la falta de agua siempre supone una reducción de la producción. El objetivo de este trabajo es caracterizar los patrones de sequía de los pastos de tres dehesas españolas ubicadas en tres tipos climáticos diferentes y compararlos con el índice de vegetación para seguros de sequía por teledetección determinado por Agroseguero para cada una de las tres comarcas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este estudio se ha realizado en tres dehesas (tabla 1) situadas en el Cubo de Don Sancho (Salamanca), Trujillo (Cáceres) y Pozoblanco (Córdoba), correspondientes a los tipos climáticos III, II y I según Sánchez de Ron *et al.* (2007) respectivamente. El ensayo comenzó en mayo de 2010 y terminó en diciembre de 2011. En cada dehesa se marcó una parcela de 60 m × 60 m, excluida del pastoreo para llevar a cabo la toma de datos. Las parcelas estaban desprovistas de arbolado para facilitar el seguimiento satelital y la toma de datos en campo. Se tomaron datos de las estaciones meteorológicas más cercanas del Servicio de Asesoramiento al Regante (SIAR), de la Red de Asesoramiento al Regante de Extremadura (REDAREX) y de la Agencia Estatal de Meteorología (AE-MET) para caracterizar el clima de cada localidad. Además se dispuso de un pluviómetro automático HOB0-200 en cada parcela. El contenido de humedad del suelo en porcentaje de volumen se determinó mediante medida directa con un sensor TDR 300 smm (*Time Domain Reflectance*) del tipo *Soilmoisture Equipment Corp 6050×1 Trase System I* previamente calibrado. En cada parcela se midieron, mensualmente durante la actividad vegetativa del pasto, en tres puntos al azar y a tres profundidades acumulativas (20 cm, 40 cm y 60 cm), los valores de porcentaje de agua en volumen y la constante dieléctrica del suelo. El contenido de agua para cada horizonte se calculó por diferencia de los valores acumulados, expresándose en milímetros de agua y en porcentaje volumétrico. Se calculó la evapotranspiración actual como el valor mínimo de la evapotranspiración de referencia obtenida de la estación meteorológica correspondiente y la suma de la precipitación menos el incremento de la reserva de agua en el suelo entre dos muestreos consecutivos.

Tabla 1. Características topográficas, climáticas, y edáficas de las dehesas estudiadas.

Provincia	Salamanca	Cáceres	Córdoba
Comarca	Vitigudino	Trujillo	Pedroches
Altitud (msnm)	756	564	579
Temperatura media anual (°C)	15	15	18
Precipitación media anual (mm)	504	472	638
ET ₀ (mm/día)	4,67	3,67	3,20
Litología	Granito	Pizarra	Granito
Tipo de suelo	<i>Dystric cambisol</i>	<i>Eutric cambisol</i>	<i>Dystric cambisol</i>
Textura	Franco Arenosa	Franca	Franco Arcillo Arenosa
Materia orgánica (%)	2,2	3,0	2,5
pH	4,9	5,4	5,7
Vegetación	Encinas y robles con pastos anuales subnitrofilos	Encinas con pastos anuales subnitrofilos con cantuesos y otros matorrales	Encinas con pastos anuales subnitrofilos con retama

Se determinó mensualmente la biomasa total de la parte aérea en peso fresco, mediante tres cortes, con cuadrados segados de 0,5 m por 0,5 m, y el peso seco se determinó secando las muestras en estufa a 72 °C durante 48 horas hasta peso constante.

Se tomaron los datos del índice de vegetación para seguros de sequía por teledetección dados decenalmente y para cada comarca por Agroseguro (<http://www.agroseguro.es>), normalizándose las cuatro clases de la siguiente forma: con sequía extrema: 0, con sequía leve: 25, entre la media y sequía leve: 50 y por encima de la media: 75.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En El Cubo de Don Sancho la producción de materia seca por hectárea alcanzada por la vegetación herbácea en julio de 2010 fue de 300 kg/ha, la máxima producción alcanzada en 2011 fue de 1582 kg/ha a principios del mes de junio. La menor producción registrada en 2010 se debió a que la parcela sufrió un pastoreo intenso previo al inicio del ensayo. En Trujillo la producción de materia seca por hectárea alcanzada por la vegetación herbácea en julio de 2010 fue de 2494 kg/ha, la máxima producción alcanzada en 2011 fue de 2857 kg/ha a mediados de junio. En Pozoblanco la producción de materia seca por hectárea alcanzada por la vegetación herbácea en julio de 2010 fue de 1661 kg/ha, la máxima producción alcanzada en 2011 fue de 2629 kg/ha a primeros de mayo.

A primeros de julio el contenido de agua en el suelo en los primeros 40 cm de profundidad alcanzó el punto de marchitez permanente y se mantuvo así durante todo el verano en las tres zonas (fig. 1). En el horizonte entre 40 cm y 60 cm se observó un ligero descenso dependiendo de la cantidad de agua acumulada previamente. Durante el verano (de julio a septiembre) gran parte del contenido de agua en el suelo se pierde por evaporación, principalmente en el mes de julio, al final del cual se alcanza el punto de marchitez permanente, perdiéndose una quinta parte del agua almacenada por evaporación. En esos meses la evapotranspiración de referencia diaria (ET_0) fue máxima con valores que oscilaron en Salamanca entre 6,2 y 5,7 mm/día respectivamente en 2010 y 2011, en Cáceres entre 7,4 y 6,5 mm/día respectivamente y en Córdoba 6,6 y 6,7 mm/día respectivamente. La evapotranspiración actual calculada para esos meses fue de entre el 3% y el 10% de la ET_0 . La evapotranspiración actual acumulada para el periodo de crecimiento del pasto entre octubre de 2010 hasta octubre de 2011 fue 441 mm en Salamanca, 547 mm en Cáceres y 507 mm en Córdoba, valores que representaron el 89%, 70% y 66% de la precipitación acumulada respectivamente en cada zona y periodo.

La comparación de la cantidad de materia seca en pie con la evolución del contenido de agua en los horizontes del suelo mostró un retardo, mayor cuando el contenido de agua en el suelo es máximo. La mayor cantidad de pasto en pie se alcanzó en Córdoba en la primera quincena de mayo, y casi un mes más tarde en Cáceres y Salamanca. El valor normalizado de las clases del índice de vegetación para seguros de sequía por teledetección recoge este retardo (fig. 1). Desde el inicio del verano de 2011 y hasta finales de noviembre de 2011 el valor normalizado de las clases del índice de vegetación fue descendiendo en las tres comarcas, hasta alcanzar la clase sequía extrema. En el caso de Trujillo

entre septiembre y octubre de 2011 hubo 50 días continuados sin lluvias, afectando al establecimiento del pasto de otoño y marcando el inicio de un periodo de sequía según el seguro de sequía en pastos. Lo mismo ha ocurrido en las otras dos comarcas, en Córdoba desde el 1 de junio y hasta el 23 de octubre solo se registraron 23 mm de precipitación. La evolución del índice de vegetación para seguros de sequía por teledetección muestra dos eventos de sequía iniciales en 2010, comenzó la última decena de octubre y se prolongó todo el mes de noviembre en Cáceres, ocurriendo una decena más tarde en Salamanca, y no registrándose en Córdoba. El otro evento de sequía inicial ocurrió en 2011, de forma

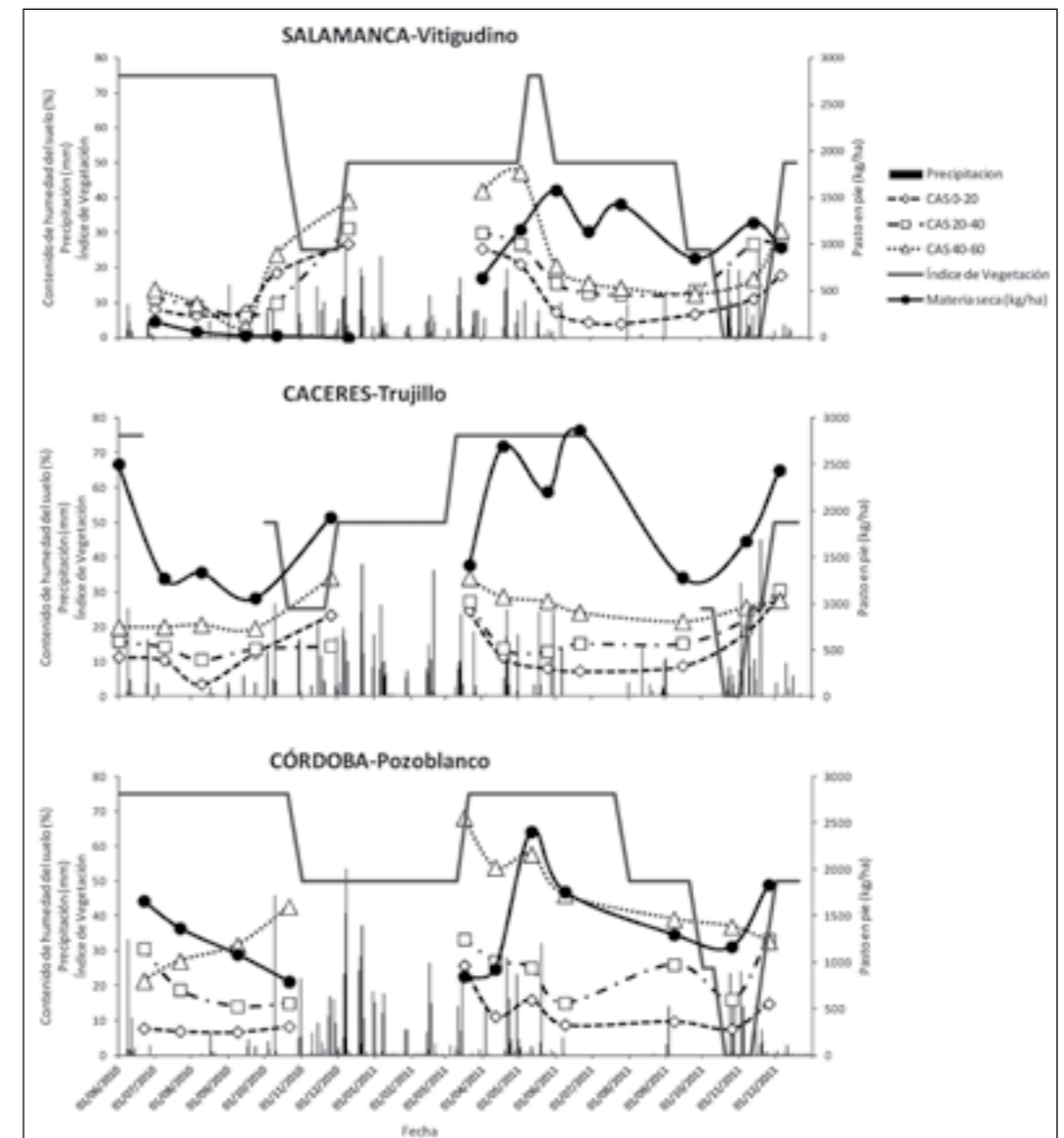


Figura 1. Evolución del contenido de agua del suelo (CAS) en los horizontes de 0-20 cm, 20-40 cm y 40-60 cm del suelo, precipitación diaria (mm/día), pasto en pie en materia seca (kg/ha) e índice de vegetación para seguros de sequía por teledetección de Agroseguro (valor normalizado para sequía extrema: 0; con sequía leve: 25; entre la media y sequía leve: 50; y por encima de la media: 75).

más intensa y duradera debido a la falta de precipitación antes comentada, el periodo de sequía se inicia en la última decena de septiembre hasta finales de noviembre en Córdoba y Cáceres, y en Salamanca se prolonga hasta diciembre. La salida de ese periodo de sequía se observa por un crecimiento del pasto en Córdoba y Cáceres, y no en Salamanca, seguramente debido a las temperaturas más bajas registradas en diciembre.

CONCLUSIONES

En los dos años estudiados y para las tres localidades los eventos más intensos de sequía son del tipo de sequía inicial, lo que afectan al establecimiento del pasto en otoño. El inicio del crecimiento del pasto se retrasa hacia las épocas más frías del año. La intensidad de la sequía en 2011 fue mayor que en 2010 debido a un periodo más prolongado de ausencia de precipitaciones. Se ha encontrado un retardo entre el aumento del contenido de agua en el suelo y el aumento de la producción del pasto. La presencia del mínimo en la curva de evolución del contenido de humedad del suelo se registra también en las curvas de evolución del pasto en pie. Al ser la sequía un fenómeno meteorológico relacionado con la variabilidad de las precipitaciones necesitamos continuar el seguimiento para determinar las pautas de detección de sequía en los pastos de dehesa.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha realizado en parte en el proyecto “Recogida y procesamiento de información agronómica y zootécnica obtenida *in situ* y su integración satelital de precisión para la mejora del seguro para la cobertura de los daños por sequía en pastos 2010 y 2011” financiado por ENESA y realizado en el CEIGRAM. El programa ERASMUS ha becado a Adrian-Eugen Gliga. Agradecemos también a los ganaderos por poder disponer de sus dehesas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- JORDAN W.R. Y MILLER F.R. (1980) Genetic variability in sorghum root systems: implication for drought tolerance. En: N.C. Turner y P.J. Kramer (eds), *Adaptation of Plants to Water and High Temperature Stresses*, 383-399. New York, Estados Unidos: Wiley Interscience.
- OLEA L. (1988) *Persistencia y producción de pastos en el S.O. de España: Introducción de trébol subterráneo*. Colección de tesis doctorales INIA núm. 74. Madrid, España: Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias.
- SÁNCHEZ DE RON D., ELENA ROSELLÓ R., ROIG S. Y GARCÍA DEL BARRIO J.M. (2007) Los paisajes de dehesa en España y su relación con el ambiente geoclimático. *Cuad. Soc. Esp. Cienc. For.*, **22**, 171-176.

Comparación de dos métodos para la estimación de los daños por sequía en pastos de dehesa

Comparative methods for assessment of dehesa pasture drought insurance in Spain

A.E. GLIGA¹ / J.A. ESCRIBANO RODRÍGUEZ² / C.G. HERNÁNDEZ DÍAZ-AMBRONA²

¹The University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine, Cluj-Napoca (Rumanía). gligaadrian@gmail.com

²Grupo de Sistemas Agrarios AgSystems. Departamento de Producción Vegetal: Fitotecnia y Centro de Estudios e Investigación para la Gestión de Riegos Agrarios y Mediambientales (CEIGRAM). Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, Universidad Politécnica de Madrid. Ciudad Universitaria s/n. 28040 Madrid (España). juanagustin.escribano@upm.es, carlosgregorio.hernandez@upm.es.

Resumen: El Sistema de Seguros Agrarios con el Seguro de cobertura de los daños por sequía en los pastos aprovechados por el ganado en régimen extensivo (línea de seguro 133) aplica la teledetección mediante un índice de vegetación (NDVI), con el fin de solucionar los problemas de peritación que surgen cuando se tiene que determinar la cantidad y calidad del pasto afectado por la sequía. Por ello el seguro de cobertura de los daños por sequía en pastos es el principal instrumento para hacer frente al gasto que supone la necesidad de suplemento de alimentación del ganado reproductor debido a la sequía. En las comarcas de Vitigudino, Trujillo y Valle de los Pedroches (España) se comparó la evolución del seguro de sequía en pastos desde 2006 a 2010 con un modelo matemático de crecimiento del pasto en función de las variables ecofisiológicas y ambientales. Sumadas las decenas de sequía extrema y sequía leve, el modelo matemático contabilizó un número mayor de decenas que las proporcionadas por Agroseguro. La recomendación es comparar las curvas de crecimiento del pasto con las curvas de evolución del NDVI, para ajustar ambos modelos.

Palabras clave: Índice de vegetación, modelos, NDVI, silvopastoralismo.

Abstract: The Agricultural Insurance System in Spain applies remote sensing to estimate vegetation indexes (NDVI) useful to estimate drought damages in grazed pastures (insurance line 133). Therefore, the insurance coverage of drought damage in pastures is the main tool to cover the expenses that arise when livestock needs supplementary feeding due to drought. In the counties of Vitigudino, Trujillo and Valley of the Pedroches in Spain the evolution of pasture drought insurance was compared from 2006 to 2010 with a grass growth mathematical model based on ecophysiological and environmental variables. Adding the decennial scores of extreme drought and mild drought, the ecological model showed a greater number of scores than the estimations provided by Agroseguro. The recommendation is to compare grass growth curves with the curves of evolution of the NDVI, to adjust both models.

Key words: Agroforestry, vegetation index, model, NDVI.

INTRODUCCIÓN

El sistema de producción de ganado en extensivo está basado en el aprovechamiento de los recursos naturales. Por esta razón, su manejo trata de sincronizar las curvas de oferta de pasto con las de demanda de los animales. En los pastos de dehesa la curva de oferta de pasto es bimodal, por lo que en sistemas de explotación estantes hay periodos del año en los cuales la producción de pastos es escasa y variable, por lo que el ganadero difícilmente puede acoplar ambas curvas, presentándose reiteradamente periodos de falta de alimento para el ganado. La producción de animales en extensivo está condicionada por el precio de los forrajes y piensos que hay que proporcionar al ganado en épocas de insuficiencia de pastos, por lo que el encarecimiento de

los forrajes y piensos, junto con la incidencia de las enfermedades, hace que exista una alta preocupación por la viabilidad económica de las explotaciones ganaderas extensivas. El Sistema de Seguros Agrarios ha dado respuesta a este desacoplamiento con el seguro de cobertura de los daños por sequía en los pastos aprovechados por el ganado en régimen extensivo (línea de seguro 133). Este es un seguro indexado que aplica la teledetección mediante la medida de un índice de vegetación, con el fin de solucionar los problemas de peritación que surgen cuando se tiene que determinar la cantidad y calidad del pasto afectado por la sequía, en distintas zonas del territorio con importantes variaciones en el tipo de suelo, de pasto, de carga ganadera y de tipo de ganado. Por ello el seguro de cobertura de daños por sequía en pastos es el principal instrumento para hacer frente al gasto que supone la necesidad de suplemento de alimentación del ganado reproductor debido a la sequía (Báez, 2010). El seguro se basa en la medición por satélite del índice de diferencia normalizada de vegetación, NDVI, obteniéndose el valor medio para una comarca homogénea medido exclusivamente en parcelas de pasto herbáceo desprovistas de arbolado o de matorral. El NDVI es un índice utilizado para estimar la actividad fotosintética, el contenido de humedad y el desarrollo de la vegetación en base a las mediciones de sensores remotos sensibles a la intensidad de la radiación de ciertas bandas del espectro electromagnético que la vegetación emite o refleja. El NDVI se define por la siguiente relación (Rouse *et al.*, 1973):

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{RED}) / (\text{NIR} + \text{RED})$$

Donde NIR y RED son los valores de reflectancia correspondientes a las longitudes de onda del infrarrojo cercano y del rojo respectivamente (en el caso del seguro, los canales infrarrojo próximo y visible son tomados por el sensor MODIS que vuela a bordo del satélite Terra). Todo organismo vegetal contiene pigmentos que captan diversas bandas del espectro de luz que utilizan en las reacciones fotosintéticas. Dos bandas del espectro visible, la azul (430 nm) y la roja (600 nm) muestran la cantidad de energía absorbida por las plantas. Estas dos frecuencias de la luz son las más absorbidas por las plantas, por consiguiente son poco reflectadas. En contraste, la banda del infrarrojo cercano (750 nm – 1100 nm) actúa justo de forma inversa; es reflejado casi en su totalidad. La mayor absorción del rojo y azul, junto con la fuerte reflexión del infrarrojo cercano es la diferencia espectral de la respuesta de toda la vegetación. Ninguna otra cubierta refleja de forma semejante, y por lo tanto, esta peculiaridad ha sido usada durante mucho tiempo para poder diferenciar las superficies con vegetación de las demás superficies.

La causa inicial de toda sequía es la escasez de precipitaciones (sequía meteorológica) lo que deriva en una insuficiencia de agua para las plantas (sequía hidrológica) necesaria para garantizar su normal crecimiento y desarrollo. El diseño del contrato de seguro de sequía en pastos en España, desde su implementación, ha sufrido variaciones en sus condiciones lo que dificulta el análisis histórico (Báez, 2010). Aunque se implanta en 2001 no es hasta 2004 cuando se consolida en número de pólizas contratadas y volumen, a partir de ahí sigue una evolución variable marcada por un

comportamiento desigual en el número de pólizas registradas cada año, condicionado principalmente por dos variables: las fechas de cierre de contratación del seguro y las condiciones meteorológicas reinantes los meses antes del cierre. Es llamativo el caso del año 2005 cuando se prolongó el cierre al mes de febrero, cuando ya eran evidentes los síntomas de sequía, llegándose a asegurar más de 6,5 millones de cabezas frente al rango habitual, que está entre uno y dos millones de cabezas. A pesar de ello, dada la magnitud de la sequía, tuvieron que aprobarse medidas extraordinarias de ayuda (Orden APA/1704/2007, de 5 de junio, por la que se aprueba la convocatoria de ayudas reguladas en el Real Decreto 598/2007, de 4 de mayo, para compensar pérdidas extraordinarias producidas por la sequía en pastos, en la campaña 2005/2006). La menor o mayor participación de los ganaderos en su contratación depende de si se cubren sus expectativas de riesgo o no. Para tomar una decisión correcta el ganadero tiene por un lado que estudiar las condiciones del seguro y por otro las condiciones agroambientales de su explotación. Debido a los numerosos cambios o ajustes del seguro en cada campaña la toma de decisión es compleja.

El objetivo de este trabajo es comparar dos métodos de estimación de la variación de la producción de los pastos: uno basado en índices de vegetación y otro en un modelo numérico.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este estudio se ha realizado en tres comarcas: Vitigudino (Salamanca), Trujillo (Cáceres) y valle de los Pedroches (Córdoba), que se corresponden a dehesas de los tipos climáticos III, II y I según Sánchez de Ron *et al.* (2007). De la página web de Agroseguro (Agroseguro, 2011) se descargaron para cada una de las comarcas de estudio todos los registros decenales desde el año 2005 a 2010. Agroseguro proporciona una clasificación discreta de la decena en los términos de: sequía extrema, sequía leve, por debajo de la producción media y por encima de la producción media.

La producción diaria del pasto se ha calculado mediante el modelo numérico que simula diariamente la cantidad de biomasa de la parte aérea del pasto en función del pasto acumulado el período anterior y de su crecimiento diario (adaptado de Almoquera, 2007):

$$\tilde{b}_t = \tilde{b}_{t-1} k_s + \min[(1 - e^{-r \cdot \tilde{b}_{t-1} \cdot k_s}) \times r k_s \times k_s \times f(T), r k_s \times f(T)]$$

Siendo a \tilde{b}_t la variable de estado que refleja la disponibilidad de pasto en el momento t ; k_s es el coeficiente de senescencia del pasto que se aplica cuando se agosta el pasto tomando un valor de 0,1. El crecimiento diario del pasto herbáceo es función de un vector de variables climáticas en el período t , del estado del pasto herbáceo en el período anterior ($t-1$), y de un conjunto de parámetros que se derivan de las propiedades del suelo y de las características y composición del pasto herbáceo. El crecimiento del pasto se calcula a partir de la radiación solar (r) transformada a radiación fotosinté-

ticamente activa (k_p) y multiplicado por la eficiencia del uso de la radiación del pasto herbáceo considerado (k_r). La biomasa del periodo anterior (b_{t-1}) se emplea para calcular el índice de área foliar para la siguiente decena conforme el valor del área foliar específica del pasto (k_f) y del coeficiente de extinción de la radiación solar que depende de las propiedades ópticas de las hojas que forma el pasto (k_e), también el crecimiento del pasto depende de la disponibilidad de agua del suelo (w) y de la eficiencia en el uso del agua (k_a). Para el cálculo del contenido de agua del suelo se considera un suelo tipo de 60 centímetros de profundidad, con una capacidad de campo volumétrica del 25% y un punto de marchitez permanente del 10%. En ambos casos el crecimiento está limitado por el efecto de la temperatura del aire sobre el crecimiento $f(T)$ que se aplica al máximo crecimiento potencial ya sea por disponibilidad de radiación solar o de agua, siendo T la temperatura media diaria del aire. Con la curva de producción diaria se determinó la evolución por decenas para comparar el resultado del modelo de crecimiento del pasto con la evaluación decenal del índice de vegetación obtenido de Agroseguro (2011).

Tabla 1. Parámetros ecofisiológicos del modelo de crecimiento de pasto.

Parámetro	Acrónimo	Valor	Fuente
Efecto de la temperatura sobre el crecimiento (5 °C, 10 °C, 20 °C y 25 °C)	$f(T)$	0,1,1,0	Galbraith <i>et al.</i> , 1981
Eficiencia en el uso de la radiación fotosintéticamente activa (g MJ ⁻¹)	k_r	1,62	Wight y Skiles, 1987
Eficiencia en el uso del agua (kg ha ⁻¹ mm ⁻¹)	k_a	12,97	Martín Polo <i>et al.</i> , 2003
Ratio de radiación fotosintéticamente activa respecto a global	k_p	0,5	Connor <i>et al.</i> , 2011
Área foliar específica (m ² kg ⁻¹)	k_f	22	Sheehy <i>et al.</i> , 1979
Coficiente de extinción de la radiación solar	k_e	0,4	Loomis y Williams, 1969

Se aplicó el modelo de crecimiento de pastos a cada una de las zonas con datos meteorológicos diarios (radiación solar, precipitación, temperatura máxima y mínima) obtenidos de la estaciones del Sistema de Información Agroclimática para el Regadío (SIAR) en Hinojosa del Duque (Córdoba), Ciudad Rodrigo (Salamanca) y Cáceres (Casatejada) desde 2005 a 2010.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las decenas se contabilizaron con sequía extrema (cuando el NDVI medido está por debajo del valor medio del NDVI menos 1,5 veces su desviación típica) y sequía leve (cuando el NDVI está por debajo del valor medio del NDVI menos 0,7 multiplicado por su desviación típica) entre 31 y 39 decenas según zonas, lo que representó una frecuencia del 20% al 25% sobre el número de decenas con datos y entre el 15% y el 19% sobre el total de 207 decenas consecutivas evaluadas desde el año 2005 (tabla 2). Teniendo en cuenta que en algunas zonas el seguro no contabiliza la sequía estacional que va de julio a septiembre, la recurrencia de sequías en las zonas de dehesa estudiadas es muy alta. Mientras, el modelo numérico dio una frecuencia que varió entre un 22% y

un 30%, es decir, se observó una desviación positiva entre el modelo y las estimaciones de Agroseguro de entre cuatro y ocho decenas en seis años.

Desde la implantación de este seguro en 2003 (ORDEN APA/1704/2003, de 16 de junio, por la que se definen el ámbito de aplicación, las condiciones técnicas mínimas de explotación, precios y fechas de suscripción en relación con el seguro para la cobertura de daños por sequía en pastos, comprendido en el Plan Anual de Seguros Agrarios Combinados) hasta la última actualización apenas se ha modificado la cuantía asegurable por animal, por lo que al referirse al sobre coste de la suplementación de los animales el seguro no se ha actualizado conforme a la variación del coste de los piensos.

Tabla 2. Número de decenas de sequía leve y sequía extrema, por debajo de la media y por encima, número sin contabilizar o con sequía estacional desde el año 2005 al año 2010 según la aplicación del modelo de simulación del crecimiento del pasto y las estimaciones de Agroseguro (y en porcentaje sobre el total).

Evento	Cáceres		Córdoba		Salamanca	
	Modelo	Agroseguro	Modelo	Agroseguro	Modelo	Agroseguro
Sequia extrema	16 (8)	18 (9)	4 (2)	22 (11)	3 (1)	8 (4)
Sequia leve	30 (14)	21 (10)	52 (25)	15 (7)	40 (19)	23 (11)
Entre la media y la sequia leve	66 (32)	66 (32)	63 (30)	65 (31)	72 (35)	64 (31)
Por encima de la producción media	71 (34)	50 (24)	69 (33)	50 (24)	84 (41)	60 (29)
Decenas sin datos	24 (12)	52 (25)	19 (9)	55 (27)	8 (4)	52 (25)

CONCLUSIONES

El análisis histórico de los datos de Agroseguro en tres zonas de dehesa mostró una alta recurrencia de la sequía llegándose a contabilizar hasta una decena de sequía por cada cuatro decenas. La aplicación del modelo numérico basado en parámetros meteorológicos y ecofisiológicos del pasto muestra diferencias en la categorización de sequía extrema y sequía leve respecto a los datos estimados por el sistema de seguros agrarios. Creemos que la aplicación del modelo numérico sobre series históricas de datos meteorológicos puede ayudar al ganadero a tomar una decisión correcta sobre el seguro de sequía en pastos.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha realizado en parte en el proyecto “Recogida y procesamiento de información agronómica y zootécnica obtenida *in situ* y su integración satelital de precisión para la mejora del seguro para la cobertura de los daños por sequía en pastos 2010 y 2011” financiado por ENESA y realizado en el CEIGRAM. El programa de ERASMUS ha facilitado la estancia de Adrian-Eugen Gliga en el Grupo de Sistemas Agrarios AgSystems de la Universidad Politécnica de Madrid.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGROSEGURO (2011) *Seguro de sequía en pastos*. Disponible en <http://www.agroseguro.es/indices/servlet/agro.pastos.controlx.PastosServlet>. Madrid, España: Agroseguro.
- ALMOGUERA J. (2007) *Modelo dehesa sobre las relaciones pastizal-encinar-ganado*. Madrid, España: Universidad Politécnica de Madrid.
- BÁEZ K. (2010) *El potencial del seguro indexado en Chile: una aplicación a la gestión del riesgo de Sequía en pastos*. Madrid, España: Universidad Politécnica de Madrid.
- CONNOR D., LOOMIS R.S. Y CASSMAN K.G. (2011) *Crop ecology*. Cambridge, Reino Unido: Cambridge University Press.
- GALBRAITH K.A., ARNOLD G.W. Y CARBON B.A. (1981) Dynamics of plant and animal production of a subterranean clover pasture grazed by sheep: Part 2- Structure and validation of the pasture growth model. *Agricultural systems*, **6**, 23-43.
- LOOMIS R.S. Y WILLIAMS W.A. (1969) Productivity and the morphology of crop stands: patterns with leaves. En: Eastin J.D. et al. (Eds), *Physiological Aspects of Crops Yield*, pp. 27-47. Madison, Wisconsin, Estados Unidos: American Society of Agronomy.
- MARTÍN POLO J.L., VALLE GUTIÉRREZ C.J., BLANCO DE PABLOS A. Y SÁNCHEZ RODRÍGUEZ, M. E. (2003) La dehesa y los recursos forrajeros: fertilización laboreo y siembra. II. Productividad y utilización del agua de lluvia. *Spanish Journal of Agricultural Research*, **1**, 35-42.
- ROUSE J.W. JR., HAAS R.H., SCHELL J.A. Y DEERING D.W. (1973) *Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation*. College Station, Texas, Estados Unidos: Remote Sensing Center, Texas A&M Univ.
- SÁNCHEZ DE RON D., ELENA ROSELLÓ R., ROIG S. Y GARCÍA DEL BARRIO J.M. (2007) Los paisajes de dehesa en España y su relación con el ambiente geoclimático. *Cuad. Soc. Esp. Cienc. For.*, **22**, 171-176.
- SHEEHY J.E., COBBY J.M. Y RYLE G.J.A. (1979) The Growth of Perennial Ryegrass: A Model. *Annals of Botany*, **43**, 335-354.
- WIGHT J.R. Y SKILES J.W. (Eds) (1987) *SPUR, simulation of production and utilization of rangelands: Documentation and user guide*. Houston, Texas, Estados Unidos: USDA-ARS, ARS-63

Respuesta de la composición florística y la diversidad biológica de pastizales a las estrategias de manejo en una dehesa de la Sierra de Guadarrama, Madrid

Response of floristic composition and grassland biodiversity to management strategies in an open woodland in Sierra de Guadarrama (Spain)

T. MARTÍNEZ¹ / J. URQUIA¹ / J.I. TEJERINA¹ / J.M. DE MIGUEL²

¹Instituto Madrileño de Investigación y Desarrollo Rural Agrario (IMIDRA). El Encín, Apdo 127. Alcalá de Henares, Madrid. teodora.martinez@madrid.org

²Dpto. Interuniversitario de Ecología. F. de Biología. U. Complutense de Madrid

Resumen: Este estudio tipifica y caracteriza las comunidades de pastizal en función de su composición florística, riqueza y diversidad biológica en un sistema silvopastoral de dehesa situado en la Sierra de Guadarrama (Finca de Riosequillo, Buitrago de Lozoya, Madrid). Se identifican las tendencias principales de variación espacial de los pastizales y se analiza su relación con diferentes factores geofísicos y de uso humano como la estrategia de manejo rotacional del ganado vacuno extensivo y la utilización de caceras para el riego de algunos pastizales. La tendencia principal de variación espacial de los pastizales tiene que ver con un gradiente de oligotrofia-eutrofia de los suelos. A esta tendencia de variación se superpone otra relacionada con su posición en el gradiente geomorfológico de la finca. Los pastizales regados mantienen menores valores de diversidad alfa. Sin embargo, la presencia de pastizales regados y no regados permite mantener una elevada diversidad beta en el conjunto de la finca.

Palabras clave: Sistemas silvopastorales, pastizales, ganado vacuno, diversidad, riego.

Abstract: This study typifies and characterizes grassland communities on the basis of their floristic composition, richness and biodiversity in a dehesa (open woodland) system in the Sierra de Guadarrama (Riosequillo Farm). It identifies the major trends in the grasslands' spatial variation, and discusses their relationship with several geophysical and human use-related factors such as a rotational strategy for extensively grazed cattle and the use of irrigation ditches in some pastures. The main spatial variation trend in the grasslands is related to an oligotrophy-eutrophy soil gradient. This variation trend overlaps with another, related to the position on the farm's geomorphological gradient. Irrigated grasslands have a lower alpha diversity. However, the existence of irrigated and non-irrigated pastures allows the maintenance of a high beta diversity throughout the property.

Key words: Silvopasture systems, grasslands, cattle, diversity, irrigation.

INTRODUCCIÓN

Uno de los objetivos de mayor relevancia impulsado por la Política Agraria Común propugna la implicación de los sistemas de producción de la ganadería extensiva en la conservación de la biodiversidad del territorio y su protección frente a la degradación por incendios o erosión (Osoro *et al.* 2000). Sin embargo, el aprovechamiento pascícola por el ganado en los medios forestales y pastos de puerto ha descendido considerablemente, dichos sistemas actuaban como estrategias de gestión (Monserrat y Fillat, 2005) y sería conveniente recuperar como herramienta medioambiental para mantener y conservar nuestros paisajes rurales modelados a lo largo del tiempo por el hombre y los animales. En los distintos territorios, la dinámica de las comunidades vegetales cambiará o se verá más o menos modificada según los efectos, perturbaciones,

manejo del ganado y gestión que se desarrolle en cada uno de ellos. En la Comunidad de Madrid se dispone de una gran información sobre las comunidades de pastizales de las zonas serranas estudiadas bajo distintos aspectos: caracterización, tipificación, producción, ecología, siendo de gran interés la recopilación obtenida en San Miguel *et al.* (2009); De Miguel (1989) analiza la estructura de los sistemas silvopastorales de dehesa y el comportamiento del ganado en una dehesa del centro de la península. Sin embargo, faltan estudios sobre el efecto del pastoreo sobre la vegetación, sobre la interacción del ganado con las distintas comunidades vegetales en relación con el uso antrópico y la gestión del territorio de las fincas o explotaciones ganaderas. Así pues, los objetivos del trabajo han sido caracterizar las comunidades de pastizal en función de su composición florística, riqueza, diversidad y tendencia principal de variación espacial, identificando los factores ambientales o de uso humano y manejo del ganado en un sistema silvopastoral de dehesa utilizado por ganado vacuno en la Sierra de Guadarrama.

MATERIAL Y MÉTODOS

El trabajo de campo se desarrolló en la Finca de Riosequillo (Buitrago de Lozoya), una zona adhesada ubicada en la zona media de la Sierra de Guadarrama. La vegetación corresponde a la serie meso-supramediterráneo Guadarrámico-Ibérica de encinares sobre suelos ácidos, que se enriquece con componentes propios de la serie riparia mesomediterránea sobre esos mismos suelos (fresnedas y saucedas) (Rivas Martínez, 1982). En la Finca de Riosequillo, propiedad de la Comunidad de Madrid, existe un rebaño de ganado vacuno de raza Avileña pura compuesto por 50 vacas y sus crías correspondientes. El ganado sigue un sistema de pastoreo extensivo rotacional con suplementación en los periodos desfavorables de escasez de alimento. La finca, de 147,7 ha, está dividida en cuarteles (de distinta superficie, o rangos entre 7,2 ha el más pequeño a 38,5 ha el más grande) a través de los cuales se realiza la rotación del ganado desde primavera a otoño, y donde se desarrollan otras actividades de uso y gestión de los recursos, como el riego por caceras (zanjas) de diferentes zonas, la corta y henificación de la hierba, y la poda y aprovechamiento de las ramas de fresno.

El muestreo de la vegetación realizado en septiembre/octubre fue estratificado, basado en la sectorización previa del territorio (ocho cuarteles) y en función de dos tipos de factores importantes para poder explicar la variabilidad y diversidad de las comunidades mantenida por el sistema silvopastoral implantado. El primer factor que se consideró fue la rotación del ganado en los distintos cuarteles, siendo el segundo los principales tipos de formaciones vegetales presentes, sus características geofísicas, y de uso y gestión. Consecuentemente, en cada cuartel se diferenciaron distintas parcelas o escenarios ambientales en función de los factores que se consideraron de mayor interés para explicar su variabilidad interna. Se muestrearon un total de 30 parcelas, suponiendo cada una de ellas la superficie de un círculo de 30 metros de radio. Cada parcela se seleccionó y caracterizó en función de características: fisiográficas, geomorfológicas, cobertura arbolada, cobertura leñosa y herbácea.

En cada parcela se distribuyeron al azar 5 cuadrados elementales de muestreo de 1 metro de lado, registrándose todas las especies de plantas arraigadas en el interior del mismo. Se tomaron datos de presencia de cada especie, recalculando su abundancia mediante una frecuencia relativa (0-100). La unidad de análisis para el estudio de vegetación fue la parcela (30), utilizando los cuadrados o plots como réplicas. Cada parcela fue caracterizada en función del conjunto de especies y de variables ambientales registradas en las mismas.

Los datos se analizaron empleando análisis multivariantes de ordenación para la identificación de las tendencias principales de variación espacial de los pastizales en función de su composición florística. Se utilizó un análisis de correspondencias (AC) (Hill, 1973) sobre una matriz de 30 parcelas x 91 especies herbáceas. Se calcularon los índices de diversidad biológica: Riqueza (S) = número total de especies registradas y Diversidad de Shannon (H' expresado en nat) = $-\sum p_i \ln p_i$, donde p_i = la abundancia relativa de la especie. Se estimó la diversidad beta para el conjunto del territorio. Para ello se elaboró un espectro acumulativo de diversidad, resultante de ir agregando al azar la riqueza de especies de las diferentes parcelas (Magurran, 1988). Mediante la correlación de Pearson se relacionaron los valores de riqueza de especies y los del índice de diversidad de Shannon. Igualmente, a partir de la correlación de Pearson se relacionó la principal tendencia de variación espacial de la vegetación (oligotrofia-eutrofia), es decir, los valores de las parcelas en el eje 1 de la ordenación y sus valores de riqueza de especies herbáceas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se registraron 95 taxones herbáceos (tabla 1), siendo las de la familia de las gramíneas las más abundantes. Aunque abundan los terófitos, una cantidad importante de taxones son perennes confirmando a los pastizales de la finca un cierto interés pastoral al aprovecharse durante más tiempo. Teniendo en cuenta el valor pastoral de las gramíneas (González Bernáldez, 1986) se observó la existencia de dos grandes grupos de especies de plantas. Un grupo correspondía a especies que son abundantes y de gran interés ganadero como *Agrostis castellana*, *Dactylis glomerata*, *Lolium perenne* y *Poa bulbosa* principalmente, que suelen soportan bien el pastoreo, tienen alto o medio valor bromatológico y contribuyen a la retención del suelo frente a la erosión. El otro grupo estaba compuesto especialmente por gramíneas abundantes en ciertas zonas de la finca y que pueden ser indicadoras de pastizales sometidos a una mayor carga ganadera, que habría favorecido situaciones de cierta nitrofilia del suelo por un mayor aporte de estiércol, destacando entre ellas *Bromus diandrus*, *B. hordeaceus* y *Hordeum murinum*. La información obtenida del AC manifiesta que la tendencia principal de variación tiene que ver con un gradiente de oligotrofia-eutrofia de los suelos (fig. 1), que se relaciona directamente con el uso de riego y con la diferente presión ganadera de las parcelas, como se mencionó anteriormente. A esta tendencia de variación se superpone otra que determina cambios de composición florística de los pastizales en función de su posición en el gradiente geomorfológico de la finca y del efecto del arbolado. Esta segunda tendencia de variación segrega sobre todo entre pastizales regados.

Tabla 1. Composición florística herbácea de los pastizales de la Finca de Riosequillo.

Herbáceas	Fr %	Otras Familias (Continuación)	Fr %
Gramíneas	50,40		
<i>Agrostis castellana</i> Boiss. & Reut.	9,20	<i>Crucianella angustifolia</i> L.	1,68
<i>Bromus hordeaceus</i> L.	5,57	<i>Petrorhagia prolifera</i> (L.) P.W. Ball & Heywood	1,51
<i>Dactylis glomerata</i> L.	5,13	<i>Crepis capillaris</i> (L.) Wallr.	1,42
<i>Festuca ampla</i> Hack.	3,35	<i>Xolantha guttata</i> (L.) Raf.	1,33
<i>Poa bulbosa</i> L.	3,35	<i>Senecio jacobaea</i> L.	1,24
<i>Lolium perenne</i> L.	3,19	<i>Armeria alliacea</i> (Cav.) Hoffmanns. & Link	1,06
<i>Bromus diandrus</i> Roth	2,82	<i>Moenchia erecta</i> (L.) P. Gaertn.,	1,06
<i>Hordeum murinum</i> Huds.	2,82	<i>Sedum amplexicaule</i> DC.	0,97
<i>Aira caryophylla</i> L.	2,57	<i>Convolvulus arvensis</i> L.	0,89
<i>Cynosurus echinatus</i> L.	2,21	<i>Galium parisiense</i> L.	0,89
<i>Bromus sterilis</i> L.	1,95	<i>Centaurea alba</i> L.	0,80
<i>Cynosurus cristatus</i> L.	1,51	<i>Merendera pyrenaica</i> (Pourr.) P.Fourn.	0,80
<i>Vulpia</i> spp.	1,33	<i>Bupleurum gerardi</i> All.	0,71
<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers.	1,24	<i>Eryngium campestre</i> L.	0,71
<i>Bromus tectorum</i> L.	0,97	<i>Filago pyramidata</i> L.	0,71
<i>Anthoxanthum aristatum</i> Boiss.	0,71	<i>Anthriscus caucalis</i> M. Bieb.	0,62
<i>Holcus setigulum</i> Boiss. & Reut.	0,71	<i>Teesdalia coronopifolia</i> (J.P. Bergeret) Thell.	0,62
<i>Nardus stricta</i> L.	0,70	<i>Leontodon taraxacoides</i> (Vill.) Mérat	0,53
<i>Taeniatherum caput-medusae</i> (L.) Nevski	0,35	<i>Prunella vulgaris</i> L.	0,53
<i>Arrhenatherum album</i> (Vahl) W.D. Clayton	0,18	<i>Sanguisorba verrucosa</i> (Link ex G. Don) Ces.	0,53
<i>Stipa lagascae</i> Roem. & Schult.	0,18	<i>Logfia minima</i> (Sm.) Dumort.	0,44
<i>Avena barbata</i> Pott ex Link	0,09	<i>Sisymbrium runcinatum</i> Lag. ex DC.	0,44
<i>Avenula marginata</i> (Lowe) Holub	0,09	<i>Andryala integrifolia</i> L.	0,35
<i>Holcus lanatus</i> L.	0,09	<i>Anthemis arvensis</i> L.	0,35
<i>Micropyrum tenellum</i> (L.) Link	0,09	<i>Hypochoeris glabra</i> L.	0,35
Ciperáceas-Juncáceas	6,38	<i>Veronica arvensis</i> L.	0,35
<i>Carex</i> spp.	4,25	<i>Echium plantagineum</i> L.	0,27
<i>Juncus squarrosus</i> L.	1,33	<i>Euphorbia exigua</i> L.	0,27
<i>Juncus bufonius</i> L.	0,44	<i>Myosotis</i> sp.	0,27
<i>Juncus articulatus</i> L. subsp. <i>articulatus</i>	0,27	<i>Plantago holosteum</i> Scop.	0,27
<i>Luzula</i> sp.	0,09	<i>Allium</i> spp.	0,18
Leguminosas	3,99	<i>Brassica barrelieri</i> (L.) Janka	0,18
<i>Vicia</i> spp.	1,06	<i>Chamaemelum nobile</i> (L.) All.	0,18
<i>Lathyrus angulatus</i> L.	0,80	<i>Daucus carota</i> L.	0,18
<i>Lotus corniculatus</i> L.	0,53	<i>Herniaria glabra</i> L.	0,18
<i>Trifolium arvense</i> L.	0,53	<i>Lapsana communis</i> L. subsp. <i>communis</i>	0,18
<i>Ornithopus compressus</i> L.	0,35	<i>Leontodon carpetanus</i> Lange	0,18
<i>Lotus angustissimus</i> L.	0,27	<i>Malva</i> sp.	0,18
<i>Trifolium glomeratum</i> L.	0,18	<i>Plantago lagopus</i> L.	0,18
<i>Ornithopus perpusillus</i> L.	0,09	<i>Anacyclus clavatus</i> (Desf.) Pers.	0,09
<i>Trifolium campestre</i> Schreb. in Sturm	0,09	<i>Asperula aristata</i> L.	0,09
<i>Trifolium strictum</i> L.	0,09	<i>Carlina racemosa</i> L.	0,09
Otras Familias	39,24	<i>Cerastium</i> spp.	0,09
<i>Plantago lanceolata</i> L.	3,45	<i>Eryngium tenue</i> Lam.	0,09
<i>Rumex acetosella</i> L.	2,48	<i>Geranium molle</i> L.	0,09
<i>Hypochoeris radicata</i> L.	2,39	<i>Polygonum aviculare</i> L.	0,09
<i>Asphodelus</i> spp.	2,30	<i>Sherardia arvensis</i> L.	0,09
<i>Rumex crispus</i> L.	2,13	<i>Tolpis barbata</i> (L.) Gaertn.	0,09
<i>Pilosilla castellana</i> (Boiss. & Reut.).	1,95	<i>Tordylium maximum</i> L.	0,09

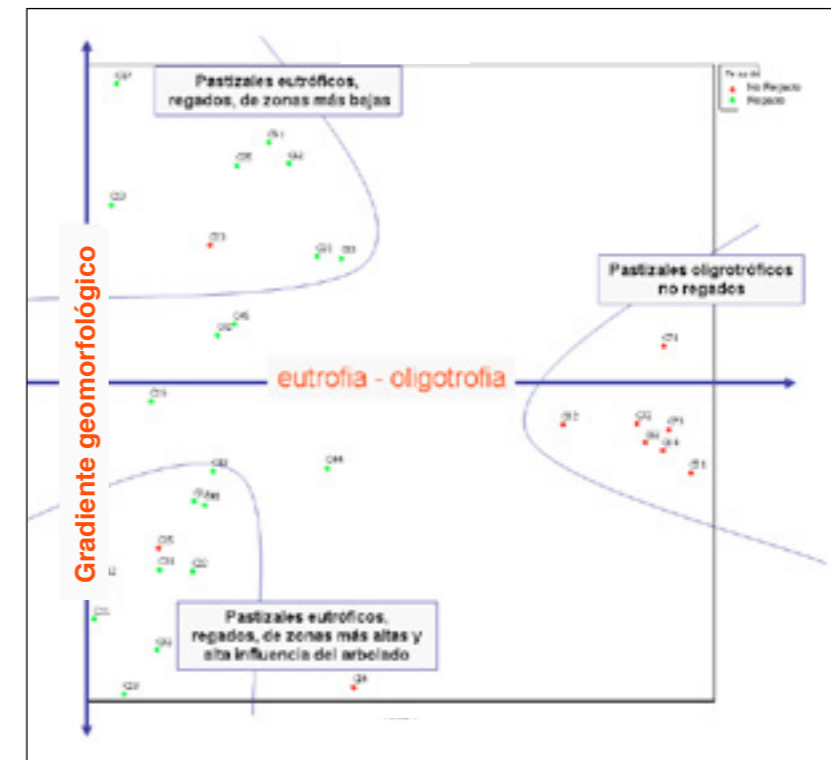


Figura 1. Esquema que resume los factores responsables de las dos primeras tendencias de variación espacial de los pastizales de la Finca de Riosequillo.

El valor indicador de algunas de las especies informa de los factores que subyacen en cada una de las dos tendencias mencionadas. Los pastizales situados hacia el extremo derecho del eje 1 (parcelas C51, C52, C71, C72, C73, C82 y C84) se caracterizan por la presencia de especies como *Tolpis barbata*, *Ornithopus perpusillus*, *O. compressus*, *Lotus angustissimus*, *Asperula aristata*, *Micropyrum tenellum*, *Evax carpetana*, *Trifolium campestre*, *Crucianella angustifolia*, *Euphorbia exigua*, *Bupleurum gerardi*, *Centaurea alba*, *Arrhenatherum album*, *Leontodon taraxacoides*, *Xolantha guttata*, *Filago pyramidata*, *Plantago holosteum*, y *Crepis capillaris*, especies que suelen ser frecuentes en pastizales sobre suelos oligotróficos y con escasa humedad edáfica. Por el contrario, los pastizales situados hacia el extremo izquierdo del eje (parcelas C11, C12, C13, C15, C16, C17, C23, C31, C32), tienden a presentar especies como *Tordylium maximum*, *Polygonum aviculare*, *Avena barbata*, *Juncus articulatus*, *Cynosurus cristatus*, *Anacyclus clavatus*, *Leontodon carpetanus*, *Lolium perenne*, *Hordeum murinum*, *Holcus setigulum*, *H. lanatus*, *Rumex crispus* y *Malva* sp., que suelen ser más abundantes en pastizales más fértiles, posiblemente por aportes de estiércol y por una mayor humedad edáfica. La comparación entre ambos grupos de especies indica la existencia de un gradiente de oligotrofia-eutrofia como principal factor responsable de la variabilidad espacial de los pastos analizados.

Las parcelas mostraron una tendencia a agruparse en función del cuartel al que pertenecen (fig. 1), lo que podría indicar la importancia de la rotación de pastoreo para explicar la estructura de los pastizales. Sin embargo, se detecta que el papel de los cuarteles sobre la composición de los pastizales está más relacionado con el hecho de ser regados o no, al comprobar en el eje 1 la fuerte segregación de las parcelas por este motivo. El hecho de que en la mayoría de las parcelas de un mismo cuartel se lleve a cabo la misma gestión de riego, explicaría la relación del eje 1 con los cuarteles. En las parcelas regadas la presencia del ganado es mayor que en las no regadas por ser más abundante la vegetación y por cuestiones de manejo, ya que en los periodos de invierno y paridera permanecen más tiempo en dichos cuarteles, lo que implica un mayor aporte de estiércol. El eje 2 de la ordenación está relacionado con la posición de las parcelas en el gradiente geomorfológico de la finca y con la cobertura arbolada. En un mismo escenario de eutrofia el eje 2 diferencia pastizales más ligados a zonas altas o medias del relieve, algunos de ellos con abundante vegetación arbórea (extremo inferior del eje 2), de los ligados a zonas más bajas (extremo superior).

Riqueza y diversidad biológica de los pastizales

La tabla 2 muestra los valores de riqueza y diversidad biológica del índice de Shannon de las 30 parcelas de muestreo.

Tabla 2. Índices de riqueza (S) y de Diversidad de Shannon (H') de las 30 parcelas muestreadas (P), C=Cuartel, indicando el nº de cuartel y de parcela.

P	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C21	C22	C23	C31	C32	C41	C42	C43
S	7	9	12	21	12	11	11	21	15	15	15	15	15	11	14
H'	1,8	2	2,3	3	2,3	2,3	2,3	2,9	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,3	2,5
Riego	Sí	Sí	Sí	No	No	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
P	C44	C45	C51	C52	C61	C62	C63	C71	C72	C73	C81	C82	C83	C84	C85
S	27	21	25	31	14	13	18	26	28	32	15	27	10	33	14
H'	3,1	2,9	3	3,3	2,5	2,4	2,7	3,2	3,2	3,4	2,6	3,2	2,1	3,3	2,5
Riego	Sí	Sí	No	No	Sí	Sí	Sí	No	No	No	Sí	No	Sí	No	Sí

La correlación de Pearson entre los valores de riqueza y el índice de Shannon fue alta y muy significativa ($r > 0,91$; $p < 0,001$). La riqueza de especies por parcela varió en un rango entre 7 y 33. Los valores más bajos de riqueza y diversidad se observaron en las parcelas regadas y/o cercanas a los arroyos o con cierta humedad, y sometidas a una mayor presencia del ganado (S media $14,4 \pm 4,5$; H' media $2,5 \pm 0,3$), mientras que los valores más altos se observaron en los pastizales no regados (S media $26,1 \pm 6,5$; H' media $3,1 \pm 0,3$). Se identificó una relación entre la principal tendencia de variación espacial de la vegetación (oligotrofia-eutrofia) y los valores de riqueza de especies, observando una alta y significativa correlación entre los valores de las parcelas en el eje 1 de la ordenación y sus valores de riqueza de especies herbáceas (r Pearson = $0,88$; $p < 0,001$).

Se observó una alta diversidad beta, mostrada por un patrón acumulado de riqueza de especies herbáceas marcadamente diagonal (fig. 2). Aunque los valores más altos de riqueza se obtuvieron en los pastizales no regados, los regados, teniendo menor riqueza absoluta, explican la alta diversidad beta de la finca al aportar especies diferentes a las de las zonas no regadas. El riego aumenta la diversidad beta de la finca pero disminuye la diversidad alfa (a nivel de parcela), circunstancia que debe considerarse ya que una elevada diversidad beta puede conllevar un riesgo de extinción local de especies frente a alteraciones drásticas de porciones del territorio.

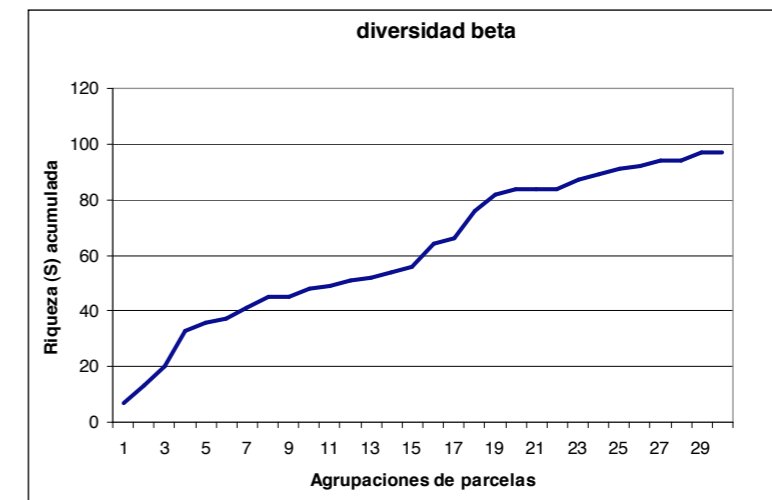


Figura 2. Riqueza acumulada de herbáceas en función de agrupaciones progresivas de las 30 parcelas de muestreo.

CONCLUSIONES

Las dos tendencias principales de variación espacial de las comunidades de pastizal se resumen en un gradiente principal de oligotrofia-eutrofia de los suelos derivado en su mayor parte de la presencia o no de riego.

El riego disminuye la diversidad alfa (nivel de parcela) pero aumenta la diversidad beta del territorio proporcionando una notable heterogeneidad al conjunto de la finca.

Se manifiesta el interés de algunos de los tipos de gestión de la explotación para explicar la estructura de sus pastizales y entender su elevada diversidad biológica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- DE MIGUEL J.M. (1989) *Estructura de un sistema silvopastoral de dehesa. Vegetación, hábitat y uso del territorio por el ganado*. Tesis doctoral. UCM. Madrid.
- HILL M.O. (1973) Reciprocal averaging: an eigenvector method of ordination. *Journal of Ecology*, **61**, 237-249.

- GONZÁLEZ BERNÁLDEZ F. (1986) *Gramíneas pratenses de Madrid*. Consejería de Agricultura y ganadería. Comunidad de Madrid. Madrid.
- MAGURRAN A E. (1988). *Ecological diversity and its measurement*. Croom Helm, London.
- MONTSERRAT P. Y FILLAT F. (2005) Los sistemas ganaderos de montaña son acumuladores de capacidad gestora. En *Producciones agroganaderas: Gestión eficiente y conservación del medio natural*, pp 267-273. Gijón, SEEP.
- OROSO K. CELAYA R. MARTÍNEZ A Y ZORITA E. (2000) Pastoreo de las comunidades vegetales de montaña por ruminantes domésticos: Producción animal y dinámica vegetal. *Pastos*, 3-50.
- RIVAS MARTINEZ S. (1982) *Mapa de las series de vegetación de Madrid*. Diputación de Madrid.
- SAN MIGUEL A. *et al.* (2009) Los Pastos de la Comunidad de Madrid. Tipología, cartografía y evaluación. Consejería de Medio Ambiente, Vivienda y Ordenación del Territorio. Madrid.

Segunda parte

Botánica y ecología de pastos

CAPÍTULO INTRODUCTORIO

Biodiversidad y servicios ecosistémicos en pastos: distribución y respuesta al cambio global

M.T. SEBASTIÁ / R. LLURBA / F. GOURIVEAU / X. DE LAMO / A. RIBAS / N. ALTIMIR

Efecto alelopático de la esparceta (*Onobrychis viciifolia scop.*) sobre diferentes especies forrajeras

C. CHOCARRO / J. LLOVERAS

Efecto del estrés hídrico sobre el contenido de compuestos fenólicos en *Festuca rubra*

B.R. VÁZQUEZ DE ALDANA / B. GONZÁLEZ RODRÍGUEZ / A. GARCÍA CIUDAD / A. ÁLVAREZ PASCUA / B. GARCÍA CRIADO

Respuesta del crecimiento de *Trifolium repens* a la presencia de hojarasca de diversas especies del bosque de ribera

B.R. VÁZQUEZ DE ALDANA / P. DE LAS HERAS / M.E. PÉREZ-CORONA

Los pastos de *Carex brevicollis* hospedan un patógeno del haya

I. ZABALGOGEAZCOA / J. GÓMEZ / S. SÁNCHEZ / J. PEDRO / R.M. CANALS

Respuesta del maíz (*Zea mays*) en suelos contaminados por metales pesados después de crecer una comunidad de pasto

J. PASTOR / M. J. GUTIÉRREZ-GINÉS / A. J. HERNÁNDEZ

Cambios mediados por abandono de pastoreo e incremento de temperatura en pastos mediterráneos oligotrofos del Parque Natural de Doñana

B. OJEDA DOMÍNGUEZ / M.J. LEIVA MORALES

Efectos de una quema prescrita sobre el suelo y la vegetación de un pasto altimontano del Pirineo navarro

L. SAN EMETERIO / E. RUPÉREZ / J.M. SENOSIAIN / J. PEDRO / R.M. CANALS

¿Cómo influye la fertilidad del suelo sobre la diversidad funcional edáfica y florística a escala de prado?

I. MIJANGOS AMEZAGA / I. ALBIZU BEITIA / S. MENDARTE AZKUE / J.A. GONZÁLEZ-OREJA / J. ZAPATERO MARTITEGUI / C. GARBISU CRESPO

Estudio de la mejora de fertilidad de suelos cultivados con maíz forrajero al aplicarse biosólidos mediante la valoración de artrópodos edáficos

L. FLORES-PARDAVÉ / A. J. HERNÁNDEZ

Efecto del pastoreo por diferentes especies ganaderas sobre la estructura vegetal de pajonales en los Andes centrales del Perú

J. BARTOLOMÉ / E. QUISPE / O. SIGUAS / J. CONTRERAS / W. ARANA / M. ESPINOZA

Patrón temporal de recuperación de semillas de seis especies herbáceas consumidas por el ganado caprino

D. GRANDE / J.M. MANCILLA-LEYTÓN / M. DELGADO-PERTÍÑEZ / A. MARTÍN VICENTE

Resultados preliminares del papel del ganado caprino en la dispersión de cinco especies de matorral mediterráneo

D. GRANDE / J.M. MANCILLA-LEYTÓN / M. DELGADO-PERTÍÑEZ / A. MARTÍN VICENTE

Caracterización florística y fitosociológica de los pastizales del complejo lagunar de Villacañas (Toledo) incluidos en la directiva hábitat

J. ROJO / R. PÉREZ-BADIA / C. VAQUERO / F. FERNÁNDEZ-GONZÁLEZ

Listado de los tipos de pastizales y prados presentes en Navarra

A. BERAŠTEGI / J. PERALTA / M. LORDA / J.L. REMÓN / I. GARCÍA-MIJANGOS / I. BIURRUN

Cartografía 1:25.000 de los pastos de Navarra: aplicaciones para la gestión

V. FERRER / A. IRIARTE / I. ITURRIAGA / M. SALVATIERRA

Desarrollo de un plan de gestión sostenible de pastos comunales a escala municipal

I. MENÉNDEZ ARTIME / I. VÁZQUEZ FERNÁNDEZ / J. BUSQUÉ MARCOS / E. BAYARRI GARCÍA

Biodiversidad y servicios ecosistémicos en pastos: distribución y respuesta al cambio global

Biodiversity and ecosystem services in grasslands and rangelands: distribution and response to global change

M.T. SEBASTIÀ^{1,2} / R. LLURBA^{1,2} / F. GOURIVEAU¹ / X. DE LAMO¹ / A. RIBAS^{1,3} / N. ALTIMIR¹

¹ECOFUN. Centre Tecnològic Forestal de Catalunya. Ctra. Sant Llorenç km 2. 25280 Solsona (España). teresa.sebastia@cfc.cat.

²Dept. HBJ. ETSEA. Universitat de Lleida. Av. Rovira Roure 191. 25198 Lleida (España).

³BABVE, Universitat Autònoma of Barcelona

Resumen: Debido a su posición geográfica y a su orografía compleja, los pastos en el Mediterráneo presentan una elevada diversidad vegetal a escala regional, de paisaje y de comunidad. Estos ecosistemas pueden presentar elementos de tres regiones biogeográficas diferenciadas: irano-turanianos en las zonas más áridas, propiamente mediterráneos, y euroasiáticos en las zonas más frescas. Por otro lado, estas comunidades suministran una gran cantidad de bienes y servicios ecosistémicos, algunos de los cuales se han revalorizado recientemente gracias a la ganadería ecológica y los usos cinegéticos. Otro servicio ecosistémico muy relevante de los pastos se relaciona la capacidad de mitigación del cambio climático. La cantidad de carbono acumulado en suelos de pastos del Mediterráneo es muy significativo y hay que establecer medidas para conservarlo e incrementarlo. Estudios de flujos de carbono en el ecosistema revelan la gran dependencia climática de los procesos de sumidero. Finalmente, diversos estudios revelan la dependencia de los bienes y servicios ecosistémicos de la biodiversidad, y la vulnerabilidad de ambos frente al cambio climático. Las respuestas documentadas incluyen: disminución de especies, variaciones en proporción de grupos funcionales, cambios en la productividad del pasto, disminución de la calidad forrajera y disminución de la respiración del suelo.

Palabras clave: mitigación del cambio climático, cambio de uso del suelo, carbono edáfico, emisiones de gases invernadero, ganadería extensiva.

Summary: Grasslands and rangelands in the Mediterranean are highly heterogeneous at regional, landscape and community scales because of the geographical position and the complex topography of this region. These ecosystems can present elements from three distinct biogeographical regions: Irano-Turanian in the most arid zones, Mediterranean, and Euro-Asiatic in the fresher areas. On the other hand, those grasslands provide a significant amount of ecosystem services, some of which have acquired added value recently thanks to organic farming and hunting. Another relevant ecosystem service they provide is related to the carbon cycle and climate change mitigation. Grasslands and rangelands in the Mediterranean store a significant amount of soil organic carbon and it is necessary to design measures to preserve it and increase it. Carbon flux studies in grassland ecosystems reveal the climatic dependence of sink processes. Finally, various studies reveal the dependency between biodiversity and ecosystem services, and suggest the high vulnerability of both to climate change. Documented responses include: decreases in plant species; shifts in plant functional types; shifts in forage productivity; decreases in forage quality; decrease of soil respiration.

Key words: climate change mitigation, land use change, soil organic carbon, greenhouse gas emission, grazing management

INTRODUCCIÓN

Debido a su localización geográfica a caballo entre Eurasia y África, y a su orografía compleja que comprende una gran cantidad de sistemas montañosos, la cuenca mediterránea es extraordinariamente diversa y recibe un gran número de influencias biogeográficas. En la región mediterránea existe una gran variedad de comunidades vegetales no cultivadas y generalmente sin arbolado que tienen en común la presencia de un estrato herbáceo más o menos desarrollado, y que a menudo están asociadas con el pastoreo por animales domésticos. El amplio espectro de climas

dentro de la cuenca mediterránea, ligado a su localización y topografía compleja, hace que estas comunidades presenten una gran heterogeneidad en cuanto a fisonomía y estructura. En efecto, los pastos en el Mediterráneo pueden variar desde prados densos totalmente dominados por plantas herbáceas hasta áreas de vegetación fragmentada donde los arbustos y las matas son acompañantes importantes. Incluso, en algunos casos pueden incluir bosques más o menos claros, o una asociación del estrato herbáceo con grandes árboles más o menos laxamente distribuidos, como sucede en las dehesas (Olea y San Miguel, 2006). De acuerdo con el Nomenclátor de la Sociedad Española para el Estudio de los Pastos (Ferrer *et al.*, 1997), todas estas comunidades se incluirían genéricamente dentro de la denominación de pastos.

Los pastos del Mediterráneo pueden ser naturales, en zonas áridas de menos de 300 mm de precipitación (Blondel y Aronson, 1999), por encima del límite altitudinal del bosque, o incluso en ciertos tipos especiales de suelos; o bien estar asociados con procesos sucesionales, consecuencia de la degradación del bosque o del abandono de las tierras cultivadas. Sin embargo, debido a su uso frecuente por pastoreo, se suelen considerar más adecuadamente comunidades semi-naturales. Los pastos en el Mediterráneo se encuentran en la confluencia de dos mundos biogeográficos muy diversos: los pastos semi-naturales euroasiáticos (Rychnovská, 1993) y las estepas irano-turánicas (Allen, 2009). Junto con elementos específicamente mediterráneos, estos serían los orígenes principales de la biota de estos ecosistemas.

Los pastos mediterráneos típicos están formados por combinaciones dinámicas de gramíneas perennes de los géneros *Stipa* y *Brachypodium* mezcladas con especies herbáceas anuales (Blondel y Aronson, 1999). A medida que el clima se vuelve más árido, los pastos de gramíneas se enriquecen en matas y arbustos esteparios de los géneros *Artemisia*, *Ephedra* o *Pistacia* entre otros (Allen, 2009). Por el contrario, cuando la precipitación aumenta y la temperatura disminuye, por ejemplo en el Mediterráneo más septentrional, los pastos se van enriqueciendo en elementos eurosiberianos e incluso boreo-alpinos, particularmente a medida que aumenta la altitud (Allen, 2009).

Por todas estas razones, los pastos mediterráneos constituyen ecosistemas muy importantes desde el punto de vista del mantenimiento de la biodiversidad, a nivel regional, de paisaje e intra-comunidad. En este trabajo nos centramos particularmente en los pastos semi-naturales euroasiáticos presentes en el nordeste de la Península Ibérica, sobretodo en zonas de montaña. Los pastos frío-templados de Eurasia presentan una uniformidad considerable en sus funciones ecológicas a lo largo de una región geográfica muy amplia (Rychnovská, 1993). Este tipo de pasto ha sido estudiado intensivamente por nuestro grupo en el Pirineo a lo largo de varios años. Presentamos algunos factores de variación de su diversidad así como algunos bienes y servicios que estos ecosistemas proveen, particularmente en lo que se refiere a su capacidad de acumular carbono en el suelo, y por lo tanto de mitigación del cambio climático. También tratamos de proporcionar una visión más amplia incluyendo información propia y de la bibliografía sobre otros tipos de pastos de zonas mediterráneas más áridas. En particular, comparamos prados frío-templados, pastos mediterráneos y pastos de zonas

áridas en el contexto de los posibles efectos del cambio climático y de uso del suelo (de Bello *et al.*, 2007).

En la zona norte y altas montañas de la Península Ibérica, los pastos euroasiáticos están en el límite meridional de la distribución biogeográfica del bioma (Rychnovská, 1993). Las especies y los ecosistemas se consideran altamente vulnerables en el margen de su distribución frente al cambio climático y de usos del suelo (Sala *et al.*, 2000). El efecto del cambio climático sobre la vegetación podría ser más pronunciado en estas regiones de transición entre el clima meso-templado y el árido (Lavorel *et al.*, 1998). Se espera que los pastos mediterráneos sufran particularmente los efectos de este cambio (Sala *et al.*, 2000; Alkemade *et al.*, 2011), y se necesitan estrategias para gestionar de manera sostenible estos recursos escasos, así como los bienes y servicios que los pastos proporcionan (Fleisher y Sternberg, 2006). La conservación de la biodiversidad y de los bienes y servicios asociados a estos ecosistemas debería ser prioritaria, pero para ello deberían conocerse mejor sus interacciones. Este es el objetivo de esta revisión, que en cualquier caso no pretende ser exhaustiva.

LA DIVERSIDAD DE LOS PASTOS Y SU DISTRIBUCIÓN

El análisis del atlas digitalizado de la flora europea (*Atlas Florae Europaeae*; Lahti y Lampinen, 1999) pone de manifiesto la diversidad florística de las montañas del sur de Europa, y en general de la región mediterránea (Finnie *et al.*, 2007). Por otra parte, los pastos semi-naturales euroasiáticos se consideran entre los ecosistemas más diversos de Europa, particularmente aquellos que se desarrollan sobre substrato calizo (Pärtel *et al.*, 2005). Esto se ha relacionado en parte con factores biogeográficos que se remontan al momento geológico interglaciar seco en que se expanden las comunidades herbáceas en la región (Bredenkamp *et al.*, 2002), predominantemente dominada por rocas calizas en esa época (Pärtel *et al.*, 2005). La acción de los animales pastantes, salvajes primero y después domésticos, a veces incluso la misma especie domesticada, ha contribuido también sin duda al mantenimiento y diversificación de los pastos europeos (Pärtel *et al.*, 2005; de Bello *et al.*, 2006). Por tanto, los pastos euroasiáticos constituyen ecosistemas con una elevada productividad que proporcionan alimento renovable y de bajo coste para los animales pastantes, y que incluyen una biodiversidad muy elevada, mantenida por las poblaciones locales a través de la gestión extensiva a largo plazo.

Los pastos de las montañas de la región mediterránea septentrional comparten muchas similitudes en cuanto a flora, vegetación y ecología con pastos de otras zonas frío-templadas europeas (Canals & Sebastià, 2000a; Sebastià, 2004). En la Península Ibérica, los pastos frío-templados se encuentran muy frecuentemente distribuidos en zonas orográfica y topográficamente complejas. Los factores abióticos constituyen un primer filtro en la distribución de estas comunidades (Sebastià, 2004). En particular, Sebastià (2004) encontró una fuerte diferenciación entre la vegetación de pastos méxicos y de pastos xéricos coexistentes en el paisaje, ligada a la microtopografía; esta a su vez afectaba a las propiedades microclimáticas y edáficas (tabla 1).

Los factores abióticos han sido reconocidos como los principales responsables de la variación de la vegetación de los pastos dentro del paisaje (Sebastià, 2004). El siguiente factor más importante en la variación de la distribución y composición de las comunidades pastorales es la gestión (Cingolani *et al.*, 2003; Sebastià *et al.*, 2008a). En efecto, se encontró una variación significativa en la diversidad específica y funcional de plantas en distintos pastos del nordeste español en función de la presión ganadera a lo largo de gradientes climáticos (de Bello *et al.*, 2005; 2006; 2007). De acuerdo a estos trabajos, pastos de zonas más áridas tenían menor diversidad específica pero mayor diversidad funcional que pastos frío-templados (de Bello *et al.*, 2005). Además, las zonas más fuertemente pastoreadas presentaban mayor diversidad pero contenían una flora más banal que las zonas con menor presión ganadera o abandonadas (de Bello *et al.*, 2006), poniendo de relieve el dilema entre cantidad y calidad de la diversidad, ya expresado por Canals y Sebastià (2000b) en pastos de montaña navarros. En pastos de zonas áridas, patrones pre-existentes de la vegetación pueden interactuar con el pastoreo (de Bello *et al.*, 2007) y determinar el balance entre la protección y la erosión del suelo (Alados *et al.*, 2004).

Tabla 1. Características microclimáticas, edáficas y de diversidad de prados pirenaicos mésicos y xéricos. Fuente: Sebastià, 2004; Mola & Sebastià, inédito.

		Pastos mésicos	Pastos xéricos
Microclima	Coefficiente de extinción de luz	42,6	23,8
	Temperatura en dosel, °C	16,4±1,61 SE	15,4±1,49 SE
	Gradiente de temperatura, °C	2,6±0,62	1,7±0,33
	Humedad relativa en dosel, %	84,2±3,17	77,8±2,59
	Gradiente de humedad relativa, %	12,5±3,06	9,6±3,24
Suelo	Profundidad del suelo, cm	40 a >90	5 a 15
	Pedregosidad, %	1,63±0,73	30,11±2,54
	pH	5,83±0,07	7,08±0,05
	Nitrógeno total, %	0,68±0,02	0,62±0,03
	Fósforo, mg kg ⁻¹	27,15±2,28	12,17±0,70
	Potasio, cmol kg ⁻¹	0,75±0,05	0,72±0,04
	Magnesio, cmol kg ⁻¹	1,82±0,14	1,21±0,07
Vegetación	Riqueza florística (nº especies/muestra)	17-26	16-18
	Diversidad alfa	12-29	18-20
	Diversidad lambda	107-242	157-189
	Índice de Margalef	8-18	11-13
	Dominancia de Berger-Parker	0,23-0,39	0,15-0,37
	Dominancia media de Berger-Parker	0,27-0,41	0,25-0,39

Además de la presión ganadera, el tipo de ganado también tiene un papel relevante sobre los patrones de la vegetación. En pastos subalpinos pirenaicos se ha detectado cómo la especie pastante es responsable de la variación de la distribución de las comu-

nidades de pastos en el paisaje (Aldezabal *et al.*, 2002) y de las especies vegetales dentro del pasto (Sebastià *et al.*, 2008a; fig. 1). En pastos utilizados preferentemente por vacas se incrementa la heterogeneidad florística del pasto, pero el pastoreo por ovejas, que ha sido el más extendido tradicionalmente en los Pirineos, favorece una serie de especies endémicas pirenaicas de gran interés conservacionista (Sebastià *et al.*, 2008a; fig. 1). A nivel del paisaje sería al revés, el pastoreo por ovejas va ligado a una mayor diversificación (Aldezabal *et al.*, 2002; Sebastià *et al.*, 2008a).

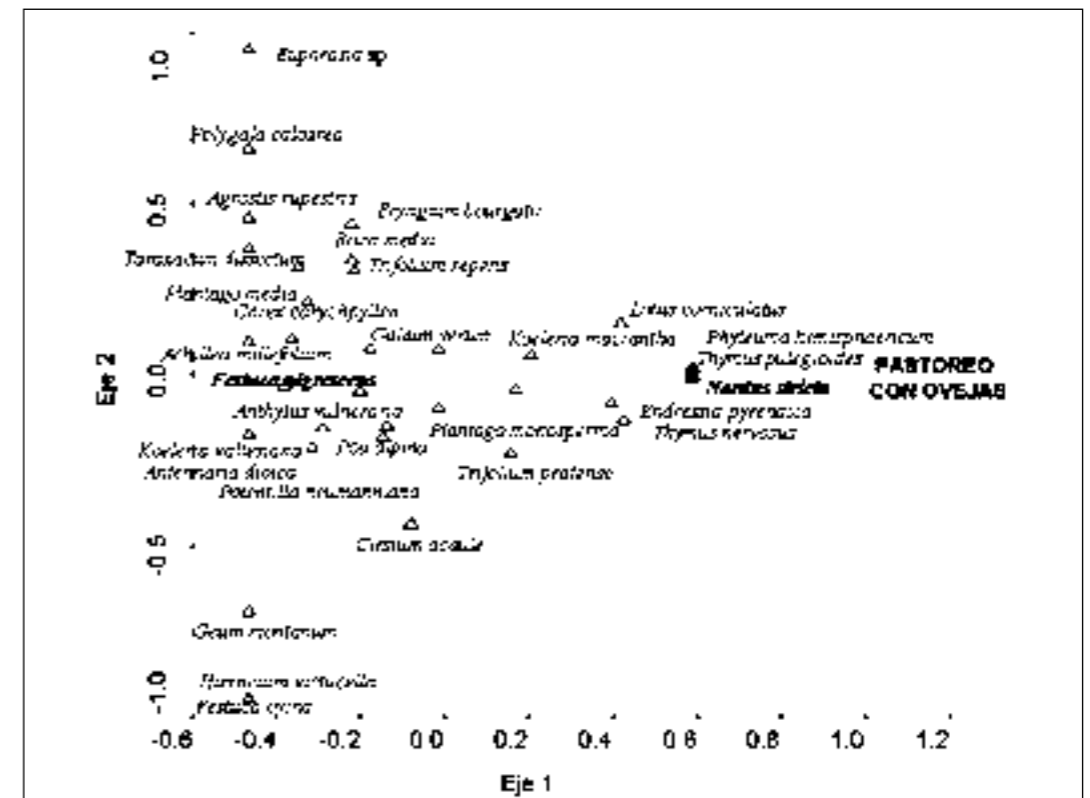


Figura 1. Distribución de especies de pastos según un Análisis Factorial de Correspondencias sin tendencia (DCA). En la parte positiva del eje 1, especies ligadas al pastoreo por ovejas; en la negativa, por vacas. El pastoreo por vacas favorece *Festuca nigrescens* y una gran variedad de acompañantes, diferenciadas sobre el eje 2. El pastoreo por ovejas favorece la dominancia de *Nardus stricta* y selecciona un número reducido de especies, pero favorece la presencia de algunas especies de interés de conservación. Fuente: Sebastià *et al.*, 2008a.

El pastoreo es la perturbación más importante y más constante que sufren los pastos, pero existe otra serie de perturbaciones más localizadas y ocasionales que también son relevantes en la dinámica de la biodiversidad (Canals y Sebastià, 2004). En particular, en prados pirenaicos de altitud se han reconocido diversos mecanismos que permiten mantener o incrementar la diversidad vegetal, asociados a algunas de estas perturbaciones: incremento en la disponibilidad del recurso espacio (McCon-

naughay y Bazzaz, 1991) susceptible de ser ocupado por plantas colonizadoras poco competitivas (descrito para la mayoría de perturbaciones de pastos pirenaicos; Canals y Sebastià, 2004); incremento en la disponibilidad de nutrientes fácilmente asimilables que pueden ser utilizados por especies no micorrízicas (descrito en toperas; Canals y Sebastià, 2000b); facilitación de la germinación de semillas enterradas en profundidad (descrito en excavaciones de jabalí; Bueno *et al.*, 2011); existencia de interacciones inter-específicas, de refugio o tróficas (descrito en hormigueros en Canals y Sebastià, 2002; y en Sebastià y Puig, 2008). También se ha reconocido que estas perturbaciones deben afectar una superficie de cierto tamaño crítico mínimo para mantener el papel promotor de la biodiversidad; en caso contrario, las propias plantas circundantes cierran la cicatriz dejada en un plazo de tiempo bastante corto (descrito en madrigueras de topillos; Sebastià y Puig, 2008).

LOS BIENES Y SERVICIOS DE LOS PASTOS

Los pastos presentan gran relevancia ecológica porque protegen suelos a menudo frágiles, acumulan carbono en el suelo, proporcionan hábitat para la flora y fauna salvajes, y contribuyen a la regulación hídrica de amplios sistemas fluviales. En consecuencia, ambientalmente los pastos proporcionan diversidad biológica y funciones ecosistémicas (Gómez-García *et al.*, 2009). Entre los bienes y servicios que estos ecosistemas proporcionan se pueden citar: producción de alimento (forraje de siega y diente), materiales (combustible, fibra, corcho), servicios biogeoquímicos (regulación del ciclo del agua, conservación de la fertilidad del suelo, sumideros de carbono), recursos genéticos (germoplasma de plantas forrajeras y de cultivo, plantas medicinales), valor estético y uso recreativo, refugio y conservación de la naturaleza, incluyendo gestión de la fauna (Costanza *et al.*, 1997; Marnette 2002; Fleischer y Sternberg, 2006; Lund, 2007; Sebastià *et al.*, 2008b).

Por otro lado, los pastos son también muy relevantes económica y socialmente porque constituyen el recurso alimentario principal en los sistemas ganaderos tradicionales en muchas zonas del mundo, incluyendo el Mediterráneo, y ofrecen por tanto un medio de vida a millones de personas (Lund, 2007) y también un sistema de valores (Caballero, 2007). Actualmente, los sistemas de pastos extensivos están experimentando un incremento económico asociado con la ganadería ecológica incluso en los países mediterráneos relativamente ricos, aunque en esos países en general se desarrollen en las zonas marginales. Por ejemplo, en Cataluña la superficie de pastos reconocidos como ecológicos incrementó de 2.727 a 49.639 ha entre 2000 y 2010 (CCPAE, 1995-2010; fig. 2), demostrando un reconocimiento creciente por este tipo de gestión y sus beneficios ambientales. Aún así, la producción ecológica total, incluyendo los pastos, solamente representa entre el 2,2 y el 5% de la superficie agrícola útil total catalana. Por otra parte, en los últimos años se pueden llegar a producir ingresos importantes gracias al interés de los pastos como áreas de caza (San Miguel, 2005, Sebastià *et al.*, 2008b). En conjunto, los pastos son vitales para las poblaciones

de las zonas marginales, pero los bienes y servicios que proporcionan a menudo se aprovechan más allá de su zona geográfica original. La introducción de nuevos usos, o la revalorización de los usos tradicionales, pueden ayudar al mantenimiento del valor socio-económico de los pastos.

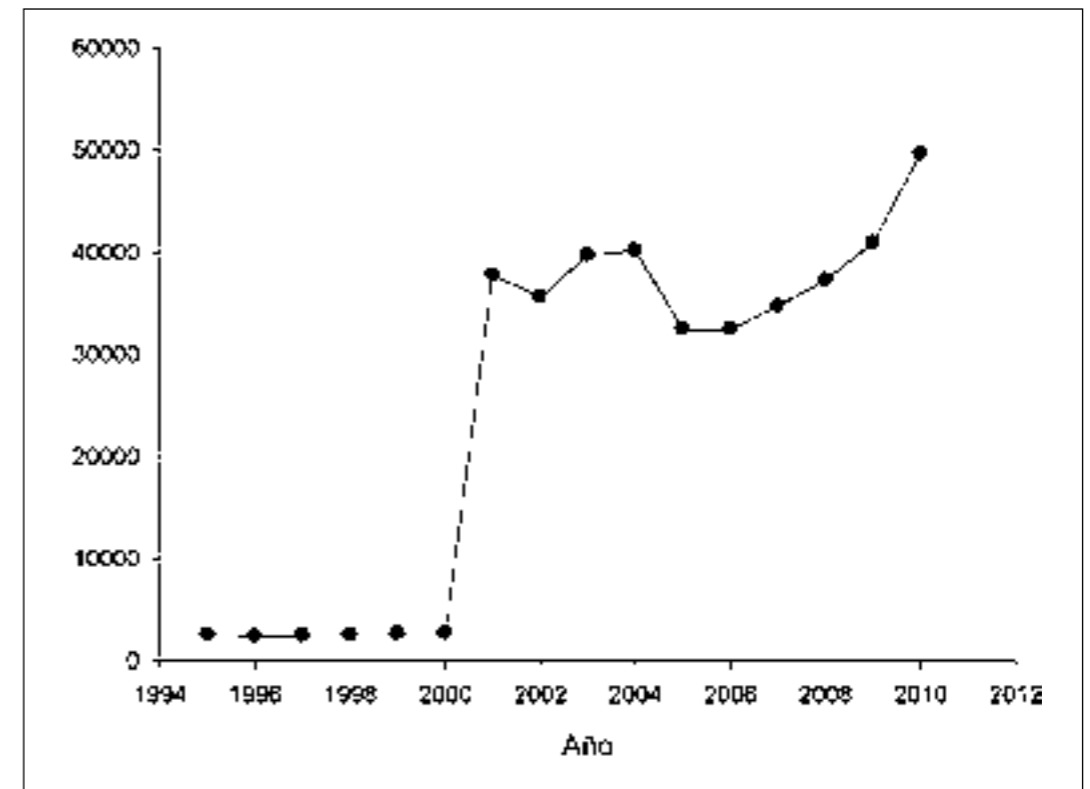


Figura 2. Evolución de la superficie (en ha.) ocupada por prados, pastos y forrajes ecológicos en Cataluña. Fuente: CCPAE, 1995-2010.

EL CARBONO DE LOS PASTOS EN LA PRODUCCIÓN Y LA MITIGACIÓN

La materia orgánica del suelo tiene una importante función en los ecosistemas como reservorio de fertilidad, y también desde el punto de vista del cambio climático, por su función de mitigación (Evans *et al.*, 2009), debido al gran tamaño y en general larga residencia del carbono orgánico en el suelo. Existe un consenso creciente entre la comunidad científica que estudia el cambio climático sobre la importancia de los pastos como sumideros potenciales de carbono (Soussana *et al.*, 2007; Cernusca *et al.*, 2008). Los pastos actúan predominantemente como sumideros de CO₂ atmosférico y pueden secuestrar carbono en el suelo de manera efectiva (Soussana *et al.* 2007; 2010; Schultze *et al.*, 2009). La respuesta de los pastos sin embargo puede depender del tipo de gestión que se lleve a cabo. Por ello, además del posible papel como sumideros, es

muy importante mantener un tipo de gestión que conserve el carbono orgánico que ya existe en el suelo de los pastos. Además, el balance final de su papel en la mitigación dependerá también de la dinámica de otros gases de efecto invernadero relevantes en los pastos, como el metano y el óxido nitroso (Hopkins y del Prado, 2007; Schulze *et al.*, 2010).

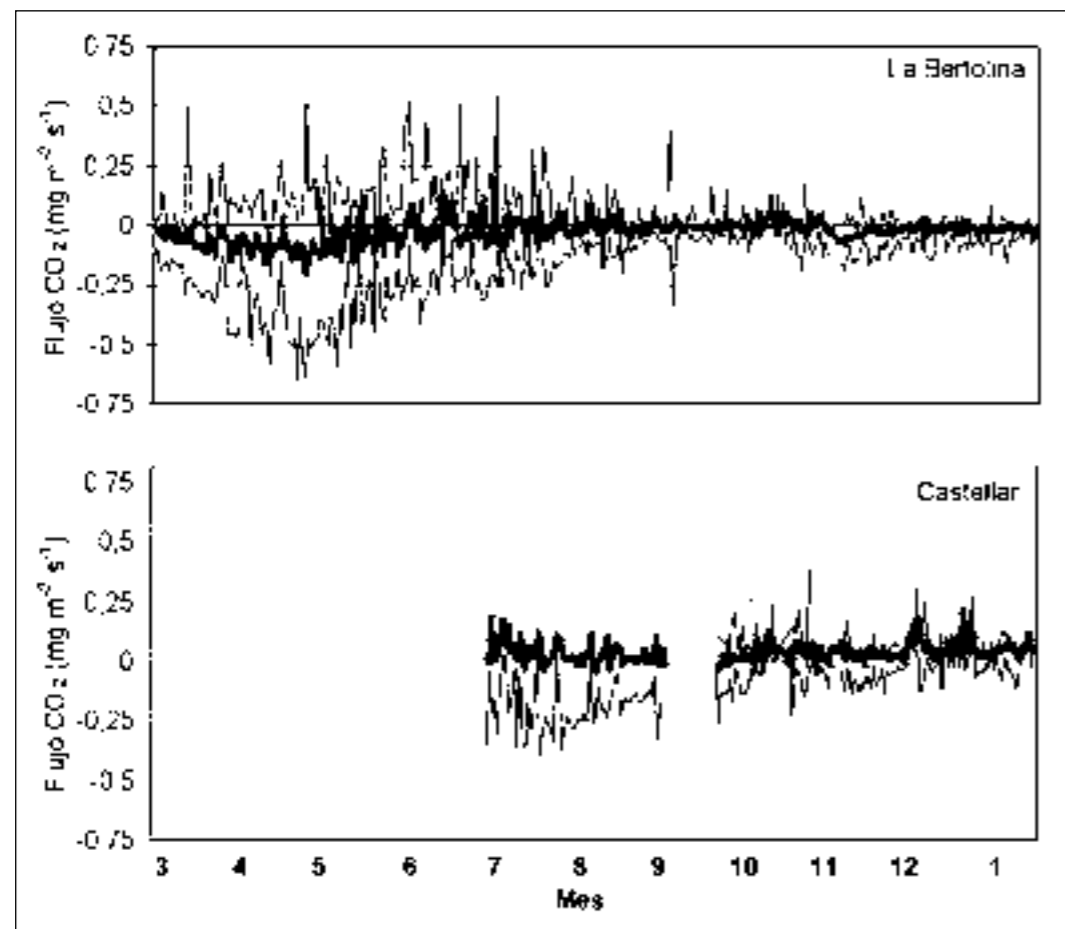


Figura 3. Evolución temporal del flujo de CO₂ a nivel de ecosistema en dos pastos de montaña del Pirineo, a lo largo de un gradiente altitudinal y climático: La Bertolina (montano) y Castellar (subalpino). Los valores negativos denotan captación y los positivos, emisión de CO₂. Datos preliminares medidos con la técnica micro-meteorológica de detección de flujos turbulentos. Se muestran valores diarios medios (línea negra gruesa), mínimos diarios (línea gris inferior) y máximos nocturnos (línea gris superior). Fuente: Altimir *et al.*, inédito.

Estudios desarrollados en pastos de la región mediterránea están básicamente de acuerdo con este diagnóstico. Los contenidos de carbono orgánico en el suelo (SOCS) encontrados en los primeros 30 cm del suelo se ha estimado que eran en promedio de unos 70 Mg C ha⁻¹ en pastos mediterráneos, según una regresión basada en datos de diversos estudios de la bibliografía (Rodeghiero *et al.*, 2011; Sebastià *et al.*, inédito).

Este valor es similar a los 73 Mg C ha⁻¹ encontrados por Rodríguez-Murillo (2001) en suelos de pastos españoles, y superior a los 60 Mg C ha⁻¹ encontrados por Miralles *et al.* (2009) en pastos secos del sudeste español, donde los suelos típicos podrían no alcanzar los 30 cm. Resultados comparativos indican que los pastos de carácter euro-asiático del Mediterráneo acumularían más carbono que los de clima mediterráneo o los áridos (García-Pausas *et al.*, 2007; Bossi *et al.*, en preparación).

Además del estudio del contenido de carbono en el suelo, en años recientes se ha llevado a cabo un gran esfuerzo para elucidar el balance del carbono en los ecosistemas. Una de las herramientas que se han utilizado para obtener valores globales ha sido la del estudio de los flujos de carbono a nivel del ecosistema mediante la técnica de las torres de medida de flujos turbulentos (*eddy-covariance*). El análisis de los flujos de carbono en un pasto mediterráneo con plantas C3 y C4 mediante esta técnica reveló que en conjunto el pasto actuaba como un sumidero de carbono, y que se producía una compensación entre los años secos, en que el pasto se comportaba como una fuente, y los húmedos, en que se comportaba como un fuerte sumidero (Aires *et al.*, 2008).

En el Pirineo oriental se han instalado tres torres de flujos turbulentos en pastos a lo largo de gradientes altitudinales climáticos, gracias al proyecto FLUXPYR (INTERREG IV-A / POCTEFA). Uno de ellos se siembra en rotación con cereal y leguminosa, y dos son semi-naturales, uno montano sobre un campo abandonado hace más de 15 años y otro subalpino utilizado como pasto desde hace siglos. La comparación de datos preliminares brutos de estos dos últimos pastos ilustra las tendencias arriba comentadas. Ambos presentan un balance diario de CO₂ muy próximo a cero, y las perturbaciones o extremos climáticos pueden hacer decantar el balance hacia un lado u otro, como se observa en la recuperación en La Bertolina en noviembre, tras un período de lluvias (fig. 3). También se observa que en el pasto subalpino de Castellar hay una actividad más intensa por unidad de superficie en comparación con el pasto montano de La Bertolina, tanto de día como de noche, lo cual era esperable puesto que en Castellar hay más biomasa activa durante el periodo de desarrollo vegetal estival y condiciones menos limitantes, particularmente en cuanto a menor riesgo de sequía (fig. 3).

LA BIODIVERSIDAD Y LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS

La biodiversidad puede considerarse, por un lado, como un servicio proporcionado por los ecosistemas, y por otro como un agente generador de servicios ecosistémicos, por su papel en la estabilización del funcionamiento de los ecosistemas y el consecuente aprovisionamiento de bienes y servicios. El incremento de diversidad en pastos se traduce en un incremento de la productividad (Hooper *et al.*, 2005; Kirwan *et al.*, 2007) y de la resistencia a la invasibilidad (Kirwan *et al.*, 2007). Este hecho podría tener relevancia de cara a la función de mitigación al conllevar un incremento del secuestro de C, aunque éste dependerá del balance final entre el C asimilado y las pérdidas por respiración (Macdonald *et al.*, 2011). Fornara & Tilman (2008) en-

cuentran un incremento de C y N totales en el suelo como respuesta a la diversidad, y la misma tendencia aparece en los resultados preliminares en pastos del Pirineo, en que la diversidad parece incrementar el contenido de C en el suelo (Sebastià *et al.*, en preparación).

RESPUESTA DE LA BIODIVERSIDAD Y LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS DE LOS PASTOS FRENTE AL CAMBIO GLOBAL

Los pastos, el sur de Europa y la zona mediterránea se han identificado como puntos particularmente vulnerables al cambio climático (Sala *et al.*, 2000, Alkemade *et al.*, 2011). Sin embargo, algunos modelos revelan que la microtopografía compleja de las zonas montañosas podría favorecer la existencia de refugios para la biodiversidad, incluyendo especies de plantas (Engler *et al.*, 2011) y de mariposas (Picó y van Groenendael, 2007).

La diversidad puede incrementar la adaptabilidad de los sistemas pastorales al cambio climático, por el efecto portafolio o la hipótesis del seguro, según la cual, una mayor diversidad puede incrementar la probabilidad de que haya una especie resistente a las condiciones climáticas cambiantes (Loreau *et al.*, 2001), o a factores de estrés bióticos relacionados con éstas. De esta manera, se incrementaría la estabilidad ecosistémica frente a perturbaciones (Proulx *et al.*, 2010) y las posibilidades de adaptación del ecosistema al cambio climático. Recíprocamente, la pérdida de biodiversidad con el cambio climático y de uso del suelo puede conducir a una desestabilización en el aprovisionamiento de los bienes y servicios de los pastos. Las consecuencias pueden cuantificarse en términos ecológicos, pero también económicos (Fleischer y Sternberg, 2006).

Diversos estudios muestran la respuesta de los pastos del Mediterráneo utilizando diversas metodologías: gradientes climáticos a menudo aprovechando gradientes altitudinales (de Bello *et al.*, 2005; 2006; 2007; 2009); manipulaciones de precipitación y/o temperatura en el campo (Miranda *et al.*, 2009; Talmon *et al.*, 2010); y experimentos de trasplante entre zonas climáticas diferentes (Sebastià, 2007; Sebastià *et al.*, 2008c). Estos estudios revelan una disminución de la biodiversidad (Sebastià *et al.*, 2008c; Miranda *et al.*, 2009), cambios significativos en la composición de especies de plantas (Sebastià *et al.*, 2008c), y también en la proporción de los grupos funcionales (Sebastià, 2007; Talmon *et al.*, 2010) con factores de cambio climático, básicamente aumento de temperatura y disminución de precipitación. Entre las consecuencias de estos cambios sobre las funciones ecosistémicas se han citado: reducción de la productividad en pastos de las zonas más secas (Miranda *et al.*, 2009); aumento de la productividad asociado a una disminución de la calidad del pasto como consecuencia de la sustitución de forrajeras apetecibles por plantas poco palatables (Sebastià, 2007); una disminución de la respiración del suelo, más acusada cuanto más árida es la zona y menor es la proporción de arbustos (Talmon *et al.*, 2010; Matías *et al.*, 2012).

CONCLUSIONES

En conclusión, debido a su interés recreativo y a su uso como forraje, los pastos mediterráneos son muy relevantes ecológica y socio-económicamente en los lugares en los que se desarrollan; pero los bienes y servicios que proporcionan, incluyendo la capacidad de almacenar carbono orgánico en el suelo, repercuten más allá de su zona de origen. Entre la variedad de bienes y servicios ecosistémicos que proporcionan, además de forraje para el ganado, se encuentran aprovisionamiento de agua, sumideros de carbono y por tanto regulación del clima, y conservación de la fertilidad y del suelo. Estos ecosistemas son un almacén de biodiversidad y un compendio de funciones ecológicas. La ganadería extensiva constituye una herramienta de gestión poderosa que puede y debe utilizarse en el mantenimiento de la diversidad biológica y de bienes y servicios de los pastos.

Agradecimientos

Agradecemos a las siguientes agencias e instituciones: la Unión Europea a través de sus programas INTERREG III-A (proyecto I3A-4-147-E), INTERREG IV-A (proyecto FLUXPYR), FP6/2002-2006 (proyecto CARBOMONT) y FP7/2007-2013 (proyectos CarboEurope, y CAPACITI, convenio MC nº 275855 a NA); FECYT (proyectos CARBOPAS, CARBOAGROPAS, OBAMA, CAPAS); INIA (proyecto CARBOCLUS), Ministerio de Medio Ambiente (proyectos D-SPRING y OPS); la CTP (Programa POCTEFA); y distintas agencias de la Generalitat de Catalunya. Ideas desarrolladas en esta revisión se han beneficiado de las acciones integradas COST 639 y COST 852 de la UE; y de la preparación de diversas ponencias invitadas, a cuyos comités organizadores queremos agradecer su confianza, particularmente al de la 51ª Reunión Científica de la SEEP 2012.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AIRES L.M., PIO C.A. Y PEREIRA J.S. (2008) The effect of drought on energy and water vapour exchange above a mediterranean C3/C4 grassland in Southern Portugal. *Agricultural and Forest Meteorology*, **148**, 565-579.
- ALADOS C.L., EL AICH A., PAPANASTASIS V.P., OZBEK H., NAVARRO T., FREITAS H., VRAHNAKIS M., LARROSI D. Y CABEZUDO B. (2004) Changes in plant spatial patterns and diversity along successional gradients on Mediterranean grazing ecosystems. *Ecological Modelling*, **180**, 523-535.
- ALDEZABAL A., GARCÍA-GONZÁLEZ R., GÓMEZ-GARCÍA D. Y FILLAT F. (2002). El papel de los herbívoros en la conservación de los pastos. *Ecosistemas*, 2002/3 (URL: www.aeet.org/ecosistemas/investigacion6.htm)
- ALKEMADE R., BAKKENES M. Y EICKHOUT B. (2011) Towards a general relationship between climate change and biodiversity: an example for plant species in Europe. *Regional Environmental Change*, **11**, 143-150.

- ALLEN H. (2009) Vegetation and ecosystem dynamics. En: J.C. Woodward (ed) *The Physical Geography of the Mediterranean*, 203-227, Oxford University Press.
- BLONDEL J. Y ARONSON J. (1999) *Biology and Wildlife of the Mediterranean Region*. Oxford University Press.
- BREDENKAMP G.J., SPADA F. Y KAZMIERCZAK E. (2002) On the origin of northern and southern hemisphere grasslands, *Plant Ecology*, **163**, 209-229.
- BUENO C.G., REINÉ R., ALADOS C.L. Y GÓMEZ-GARCÍA D. (2011) Effects of large wild boar disturbances on alpine soil seed banks. *Basic and Applied Ecology*, **12**, 125-133.
- CABALLERO R. (2007) High Nature Value (HNV) grazing systems in Europe: a link between biodiversity and farm economics. *The Open Agriculture Journal*, **1**, 11-19.
- CANALS R.M. Y SEBASTIÀ M.T. 2000a. Analyzing mechanisms regulating diversity in rangelands through comparative studies: a case in Southwestern Pyrenees. *Biodiversity and Conservation*, **9**, 965-984.
- CANALS R.M. Y SEBASTIÀ M.T. 2000b. Soil nutrient fluxes and vegetation changes on molehills. *Journal of Vegetation Science*, **11**, 23-30.
- CANALS R.M. Y SEBASTIÀ M.T. (2002) Heathland dynamics in biotically disturbed areas: on the role of some features enhancing heath success. *Acta Oecologica*, **23**, 303-312.
- CANALS R.M. Y SEBASTIÀ M.T. (2004) Papel de las perturbaciones de pequeños mamíferos en pastos de montaña. *Pastos*, **34**, 47-60.
- CERNUSCA A., BAHN M., BERNINGER F., TAPPEINER U. Y WOHLFAHRT G. (2008) Effects of Land-Use Changes on Sources, Sinks and Fluxes of Carbon in European Mountain Grasslands. *Ecosystems*, **11**, 1335-1337.
- CINGOLANI A.M., CABIDO M.R., RENISON D. Y SOLÍS NEFFA V. (2003) Combined effects of environment and grazing on vegetation structure in Argentine granite grasslands. *Journal of Vegetation Science*, **14**, 223-232.
- COSTANZA R., D'ARGE R., DE GROOT R., FARBER S., GRASSO M., HANNON B., LIMBURG K., NAEEM S., O'NEILL R., PARUELO J., RASKIN R., SUTTON P. Y VAN DEN BELT M. (1997) The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, **387**, 253-260.
- CCPAE (1995-2010). *Estadístiques 1995-2010*. Consell Català de la Producció Agrària Ecològica. Dep. Agricultura, Ramaderia i Pesca, Generalitat de Catalunya.
- DE BELLO F., LEPS J. Y SEBASTIÀ M. T. (2005) Predictive value of plant traits to grazing along a climatic gradient in the Mediterranean, *Journal of Applied Ecology*, **42**, 824-833.
- DE BELLO F., LEPS J. Y SEBASTIÀ M. T. (2006) Variations in species and functional plant diversity along climatic and grazing gradients. *Ecography*, **29**, 801-810.
- DE BELLO F., LEPS J. Y SEBASTIÀ M. T. (2007) Grazing effects on the species-area relationship: Variation along a climatic gradient in NE Spain. *Journal of Vegetation Science*, **18**, 25-34.
- DE BELLO F., BUCHMANN N., CASALS P., LEPS J. Y SEBASTIÀ M. T. (2009) Relating plant species and functional diversity to community delta C-13 in NE Spain pastures. *Agriculture Ecosystems & Environment*, **131**, 303-307.
- ENGLER R., RANDIN C., THUILLER W., DULLINGER S., ZIMMERMANN N.E., ARAUJO M.B., PEARMAN P.B., ALBERT C.H., CHOLER P., DE LAMO X., DIRNBÖCK T., GÓMEZ-GARCÍA D., GRYTNES J.A., HEEGARD E., HØISTAD F., LE LAY G., NOGUES-BRAVO D., NORMAND S., PIÉDALU C., PUSCAS M., SEBASTIÀ M.T., STANISCI A., THEURILLAT J.P., TRIVEDI M., VITTOZ P. Y GUISAN A. (2011) 21st century climate change threatens mountain flora unequally across Europe. *Global Change Biology*, **17**, 2330-2341.
- FERRER C., SAN MIGUEL A. Y OCAÑA M. (1997) Propuesta para un nomenclátor definitivo de pastos en España. *Pastos*, **27**, 125-161.
- FINNIE T.J.R., PRESTON C.D., HILL M.O., UOTILA P. Y CRAWLEY M.J. (2007) Floristic elements in European vascular plants: an analysis based on *Atlas Florae Europaeae*. *Journal of Biogeography*, **34**, 1848-1872.
- FLEISCHER A. Y STERNBERG M. (2006). The Economic Impact of Global Climate Change on Mediterranean Rangeland Ecosystems: A Space-for-Time Approach. *Ecological Economics*, **59**, 287-29.
- FORNARA D.A. Y TILMAN D. (2008) Plant functional composition influences rates of soil carbon and nitrogen accumulation. *Journal of Ecology*, **96**, 314-322.
- GARCÍA-PAUSAS J., CASALS P., CAMARERO L., HUGUET C., SEBASTIÀ M.T., THOMPSON, R. Y ROMANYÁ J. (2007) Soil organic carbon storage in mountain grasslands of the Pyrenees: effects of climate and topography. *Biogeochemistry*, **82**, 279-289.
- GÓMEZ-GARCÍA D., GARCÍA-GONZÁLEZ R. Y FILLAT F. (2009) Multifuncionalidad de los pastos herbáceos de montaña: hacia una interpretación multidisciplinar de los sistemas pastorales del Pirineo aragonés. En: Reiné R., Barrantes O., Broca A., Ferrer C. (eds.) *La multifuncionalidad de los pastos: producción ganadera sostenible y gestión de ecosistemas*, pp. 15-41. Huesca, España: SEEP.
- HOPKINS A. Y DEL PRADO A. (2007) Implications of climate change for grassland in Europe: impacts, adaptations and mitigation options: a review. *Grass and Forage Science*, **62**, 118-126.
- KIRWAN L., LÜSCHER A., SEBASTIA M.T., FINN J.A., COLLINS R.P., PORQUEDDU C., HELGADOTTIR A., BAADSHAUG O.H., BROPHY C., CORAN C., DALMANNSDÓTTIR S., DELGADO I., ELGERSMA A., FOTHERGILL M., FRANKOW-LINDBERG B.E., GOLINSKI P., GRIEU P., GUSTAVSSON A.M., HÖGLIND M., HUGUENIN-ELIE O., ILIADIS C., JØRGENSEN M., KADZIULIENE Z., KARYOTIS T., LUNNAN T., MALENGIER M., MALTONI S., MEYER V., NYFELER D., NYKANEN-KURKI P., PARENTE J., SMITH J., THUMM U. Y CONNOLLY J. (2007). Evenness drives consistent diversity effects in an intensive grassland system across 28 European sites. *Journal of Ecology*, **95**, 530-539.
- LAHTI T. Y LAMPINEN R. (1999) From dotmaps to bitmaps: *Atlas Florae Europaeae* goes digital. *Acta Bot. Fenn.*, **162**, 5-9.
- LAVOREL S., CANADELL J., RAMBAL S. Y TERRADAS J. (1998) Mediterranean terrestrial ecosystems: research priorities on global change effects. *Global Ecology and Biogeography Letters*, **7**, 157-166.
- LOREAU M., NAEEM S., INCHAUSTI P., BENGTTSSON J., GRIME J.P., HECTOR A., HOOPER D.U., HUSTON M.A., RAFFAELLI D., SCHMID B., TILMAN D. Y WARDLE D.A. (2001) Biodiversity and ecosystem functioning: current knowledge and future challenges. *Science*, **294**, 804-808.
- LUND H.G. (2007). Accounting for the World's Rangelands. *Rangelands*, **29**, 3-10. doi: 10.2111/1551-501X (2007)29[3:AFTWR]2.0.CO;2
- MANNETJE L. (2002) *Global issues of rangeland management*. Available at: <http://www.date.hu/acta-agraria/2002-08i/mannetje.pdf>. Accessed 12 October 2010.
- MARKS E., AFLAKPUI G.K.S., NKEM J., POCH R.M., KHOUMA M., KOKOU K., SAGOE R. Y SEBASTIÀ M.T. (2009) Conservation of soil organic carbon, biodiversity and the provision of other ecosystem services along climatic gradients in West Africa. *Biogeosciences*, **6**, 1825-1838.
- MATÍAS L., CASTRO, J. Y ZAMORA R. (2012) Effect of simulated climate change on soil respiration in a Mediterranean-type ecosystem: rainfall and habitat type are more important than temperature or the soil carbon pool. *Ecosystems*, **15**, 299-310.
- MCCONNAUGHA K.D.M. Y BAZZAZ F.A. (1991) Is physical space a soil resource? *Ecology*, **72**, 94-103.

- MCGUIRE J.R. (1978) Rangelands. Fulfilling the promise through planning. En: Hyder, D.N. (Ed) *Proceedings of the first International Rangeland Congress*, Denver, Colorado, USA: Ed. Society for Range Management.
- MIRALLES I., ORTEGA R., ALMENDROS G., SÁNCHEZ-MARAÑÓN M. Y SORIANO M. (2009) Soil quality and organic carbon ratios in mountain agroecosystems of South-east Spain. *Geoderma*, **150**, 120-128.
- MIRANDA J., PADILLA F.M., LÁZARO R. Y PUGNAIRE F. (2009) Do changes in rainfall patterns affect semiarid annual plant communities? *Journal of Vegetation Science*, **20**, 269-276.
- OLEA L. Y SAN MIGUEL A. (2006) The Spanish dehesa: A traditional Mediterranean silvopastoral system linking production and nature conservation. *Grassland Science in Europe*, **11**, 3-13.
- PÄRTEL M., BRUUN H.H. Y SAMMUL M. (2005) Biodiversity in temperate European grasslands: origin and conservation. *Proceedings of the 13th International Occasional Symposium of the European Grassland Federation*, Tartu, Estonia
- PICÓ F.X. Y VAN GROENENDAEL J. (2007) Large-scale plant conservation in European semi-natural grasslands: a population genetic perspective. *Diversity and Distributions*, **13**, 920-926.
- PROULX R., WIRTH C., VOIGT W., WEIGELT A., ROSCHER C., ATTINGER S., BAADE J., BARNARD R.L., BUCHMANN N., BUSCOT F., EISENHAEUER N., FISCHER M., GLEIXNER G., HALLE S., HILDEBRANDT A., KOWALSKI E., KUU A., LANGE M., MILCU A., NIKLAUS P.A., OELMANN Y., ROSENKRANZ S., SABAIS A., SCHERBER C., SCHERER-LORENZEN M., SCHEU S., SCHULZE E., SCHUMACHER J., SCHWICHTENBERG G., SOUSSANA J., TEMPERTON V.M., WEISSER W.W., WILCKE W. Y SCHMID B. (2010) Diversity promotes temporal stability across levels of ecosystem organization in experimental grasslands. *PLoS ONE*, **5**.
- RODEGHIERO M., RUBIO A., DÍAZ-PINÉS E., ROMANYÀ J., MARAÑÓN-JIMÉNEZ S., LEVY G.J., FERNANDEZ-GETINO A.P., SEBASTIÀ M.T., KARYOTIS T., CHITI T., SIRCA C., MARTINS A., MADEIRA M., ZHIYANSKI M., GRISTINA L. Y LA MANTIA T. (2011) Soil Carbon in Mediterranean Ecosystems and Related Management Problems. En: Jandl R., Rodeghiero M., Olsson M. *Soil Carbon in Sensitive European Ecosystems: From Science to Land Management*. COST and Wiley-Blackwell, Oxford.
- RODRIGUEZ-MURILLO J.C. (2001) Organic carbon content under different types of land use and soil in peninsular Spain. *Biology and Fertility of Soils*, **33**, 53-61.
- RYCHNOVSKÁ M. (1993) Temperate semi-natural grasslands of Eurasia. En: R.T. Coupland (Ed.), *Ecosystems of the world 8B; Natural Grasslands; Eastern hemisphere and résumé*, pp. 125-166. Amsterdam, The Netherlands: Elsevier.
- SALA O.E., CHAPIN III F.S., ARMESTO J.J., BERLOW R., BLOOMFIELD J., DIRZO R., HUBER-SANWALD E., HUENNEKE L.F., JACKSON R.B., KINZIG A., LEEMANS R., LODGE D., MOONEY H.A., OESTERHELD M., POFF N.L., SYKES M.T., WALKER B.H., WALKER M. Y WALL D.H. (2000) Global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science*, **287**, 1770-1774.
- TALMON Y., STERNBERG M. Y GRÜNZWEIG M. (2010) Impact of rainfall manipulations and biotic controls on soil respiration in Mediterranean and desert ecosystems along an aridity gradient. *Global Change Biology*, **17**, 1108-1118.
- SAN MIGUEL A. (2005) La caza mayor y la caza menor. In: González, L.M. y San Miguel, A. (eds) *Manual de buenas prácticas de gestión en fincas de monte mediterráneo de la Red Natura*, pp. 191-221. Madrid, España: Ministerio de Medio Ambiente.
- SCHULZE E., HEINZE C., GASH J., VOLBERS A., FREIBAUER A. Y KENTARCHOS A. (Eds.) (2009) *Integrated Assessment of the European and North Atlantic Carbon Balance*. European Commission, ISBN 978-92-79-07970-2.
- SEBASTIÀ M.T. (2004) Role of topography and soils in grassland structuring at the landscapes and community scales. *Basic and Applied Ecology*, **5**, 331-346.
- SEBASTIÀ M.T. (2007) Plant guilds drive biomass response to global warming and water availability in subalpine grassland, *Journal of Applied Ecology*, **44**, 158-167.
- SEBASTIÀ M.T., DE BELLO F., PUIG L. Y TAULL M. (2008a) Grazing as a factor structuring grasslands in the Pyrenees. *Applied Vegetation Science*, **11**, 215-223.
- SEBASTIÀ M.T., LLURBA R. Y CANALS R.M. (2008b) Low-intensity livestock systems in Europe: an opportunity for quality products, recreation revenues and environmental conservation. *Grassland Science in Europe*, **13**, 892-901.
- SEBASTIÀ M.T., KIRWAN L. Y CONNOLLY J. (2008c) Strong shifts in plant diversity and vegetation composition in grassland shortly after climatic change. *Journal of Vegetation Science*, **19**, 299-327.
- SOUSSANA J. F., y 28 autores más (2007) Full accounting of the greenhouse gas (CO₂, N₂O, CH₄) budget of nine European grassland sites, *Agriculture Ecosystems and Environment*, **121**, 121-134.
- SOUSSANA J. F., TALLEC T. Y BLANFORT V. (2010) Mitigating the greenhouse gas balance of ruminant production systems through carbon sequestration in grasslands. *Animal*, **4**, 334-350.

Efecto alelopático de la esparceta (*Onobrychis viciifolia* scop.) sobre diferentes especies forrajeras

Allelopathic effects of sainfoin (*Onobrychis viciifolia* scop.) on different forage species

C. CHOCARRO / J. LLOVERAS

Centre UdL-IRTA. Rovira Roure 191. 25198. Lleida (España). Chocarro@pvcf.udl.es

Resumen: En este trabajo se analiza el efecto alelopático del extracto acuoso de esparceta (*Onobrychis viciifolia* Scop) sobre otras especies forrajeras. Para el estudio se han utilizado 4 concentraciones diferentes (0-10-20-40 g/l) de extracto acuoso de planta entera de esparceta cuyos efectos se han cuantificando en la germinación y en la longitud radicular de Alfalfa (var. Aragón), de 2 procedencias de esparceta (Jarque y Montañana) y en variedades comerciales de *Lolium perenne*, *Lolium multiflorum*, *Festuca arundinacea*, *Trifolium repens* y *Trifolium pratense*. Los efectos alelopáticos provocados por el extracto acuoso de esparceta se han manifestado de forma más importante en la longitud radicular que en la germinación de las especies. Con concentraciones elevadas se produce una disminución del 30% en la germinación y en un 50% la longitud radicular respecto a la solución control. Además de la autotoxicidad de la esparceta en la germinación y longitud radicular de sus propias semillas, se pone en evidencia la drástica reducción del sistema radicular de los dos tréboles (*T.pratense* y *T. repens*) y en los raigrás (*L. multiflorum* y *L. perenne*). La fitotoxicidad detectada se tendrá que verificar en condiciones de campo para poder determinar su importancia sobre la instalación del cultivo siguiente.

Palabras clave: fitotoxicidad, germinación, longitud radicular.

Abstract: In this paper we analyze the allelopathic effects of aqueous extract of *Onobrychis viciifolia* Scop. in several forage species. We used 4 different concentrations (0-10-20-40 g/l) of aqueous extract of sainfoin and we quantified the percentage of germination and root length of alfalfa (var. Aragón) of sainfoin (Jarque and Montañana) and commercial varieties of *Lolium perenne*, *Lolium multiflorum*, *Festuca arundinacea*, *Trifolium repens* and *Trifolium pratense*. The allelopathic effects caused by the aqueous extract of sainfoin were more evident on the root length than on the germination of the species analyzed. High concentrations of aqueous extract of sainfoin reduced a 30% the germination and a 50% the root length compared to the control solution. We observed autotoxicity effects on the germination and root length of sainfoin seeds and also a drastic reduction of the root system on both clover (*T. pratense* and *T. repens*) and raygrass (*L. multiflorum* and *L. perenne*).

Key words: phytotoxicity, germination, root length.

INTRODUCCIÓN

La alelopatía es un mecanismo de interferencia vegetal, ocasionado por la adición de fitotoxinas al ambiente que se encuentran presentes en numerosas plantas y distribuidos en diferentes tejidos. En condiciones adecuadas pueden ser liberados al medio en cantidades suficientes como para afectar al crecimiento de las plantas vecinas. El uso de la alelopatía es una interesante alternativa para el desarrollo de un manejo integrado de malas hierbas gracias a los cultivos de cobertura con potencial alelopático, minimizando así la aplicación de herbicidas en los cultivos siguientes (Putnam y Duke, 1978).

El potencial alelopático de distintas especies forrajeras o arvenses ha sido ampliamente estudiado por diversos autores (Chon, 2002; Koloren, 2007; Smith y Martin,

1994; Seguin, 2002; Xuan, 2002; San Emeterio *et al.*, 2004; Canals *et al.*, 2005, etc.). Algunos de ellos, se centran especialmente en el efecto autotóxico de la alfalfa por su relevancia dentro de la producción de forrajes, sin embargo, existe muy poca información sobre la fitotoxicidad de otra forrajera importante dentro del secano del noroeste peninsular como es la esparceta (*Onobrychis viciifolia* Scop.)

La esparceta se instala adecuadamente sobre sustratos calizos de secano en altitudes superiores a los 600 m (Delgado *et al.*, 2002) y como cultivo forrajero alcanzó su máxima superficie hacia los años 70 gracias a la promoción del Ministerio de Agricultura. Posteriormente la superficie de esparceta ha ido sufriendo un progresivo descenso debido, entre otras causas, a su menor producción comparada con otros cultivos forrajeros. En la actualidad algunas comunidades autónomas la han incluido dentro de las ayudas agroambientales.

En este trabajo se analiza el efecto fitotóxico del extracto acuoso de *Onobrychis viciifolia* Scop. sobre la germinación y la longitud radicular de otras especies forrajeras presentes en prados y en cultivos forrajeros. Es interesante conocer dicho efecto por las posibles implicaciones agronómicas de su cultivo en campo.

MATERIAL Y MÉTODOS

El material vegetal utilizado para la obtención del extracto acuoso fue esparceta procedente de Montañana (Hu) en inicio de floración. Se secó durante 48 h en una estufa de aire forzado y se molió con un tamiz de 1mm. La solución acuosa se obtuvo mezclando 40 g de material vegetal en 1 litro de agua destilada que fue agitado a temperatura ambiente durante 24 horas. Posteriormente, este material se centrifugó a 3000 rpm durante 3 horas y el sobrenadante se filtró hasta obtener el extracto acuoso. Las concentraciones utilizadas fueron: 40, 20, 10 y 0 g/l.

Las semillas seleccionadas para este estudio fueron: *Medicago sativa* var. Aragón, *Onobrychis viciifolia* procedencia Jarque, *O. viciifolia* procedencia Montañana, *Lolium perenne*, *Lolium multiflorum*, *Festuca arundinacea*, *Trifolium repens*, *Trifolium pratense*. Se sometieron a un tratamiento de desinfección en una dilución de 1:10 de hipoclorito sódico durante 15 minutos y posterior lavado con agua destilada para evitar la presencia de hongos y otros patógenos.

El ensayo consistió en 4 repeticiones por cada una de las concentraciones de extracto acuoso y para cada especie o procedencia. Se utilizaron placas de petri de 9 cm. de diámetro con papel de germinación a las que se añadió 10 ml de extracto acuoso en las distintas concentraciones y sobre las que se distribuyeron cuidadosamente 50 semillas de cada especie. Una vez preparadas las placas, se introdujeron en una cámara de germinación a 24°C en periodo diurno (16h de luz) y a 20°C durante el periodo nocturno (8h oscuridad) siguiendo el protocolo ISTA (1976).

Se evaluó el número de semillas germinadas y la longitud radicular media por placa de petri al cabo de 7 días en el caso de la alfalfa, trébol blanco y trébol violeta, raigrás

inglés y raigrás italiano así como la festuca, mientras que la esparceta se cuantificó al cabo de 9 días debido a su menor velocidad de desarrollo radicular.

El efecto de las diferentes concentraciones de extracto sobre la germinación y la elongación radicular en los 8 tipos de semillas fue analizada a través de un Análisis de Varianza para cada especie en función de la concentración y se utilizó un análisis de DMS para establecer las diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre las medias. Los datos de porcentaje de reducción de la germinación respecto a la solución control (0 g/l) fueron transformados (arcoseno de la raíz cuadrada) para el análisis estadístico. Para la realización de los análisis se utilizó el paquete estadístico SPSS v.15.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El extracto acuoso de esparceta provocó, en general, un efecto inhibitor tanto en la germinación como en la longitud radicular de las especies forrajeras utilizadas. Para poder comparar los resultados obtenidos entre las diferentes especies, se calculó el porcentaje de disminución de la germinación en función de cada germinación patrón (0 g/l) y lo mismo se efectuó con los datos de longitud radicular (fig. 1).

La concentración más baja (10 g/l) ha supuesto, en conjunto, una disminución de la germinación bastante escasa, cercana al 5%, mientras que con 40 g/l se reduce un 30% respecto a las germinaciones control. Se trata de una disminución menor que la que se origina con extractos de alfalfa (Xuan, 2002; Koloren, 2007) ya que pueden llegar a ser con 25 g/l de un 55 y un 65% según las especies.

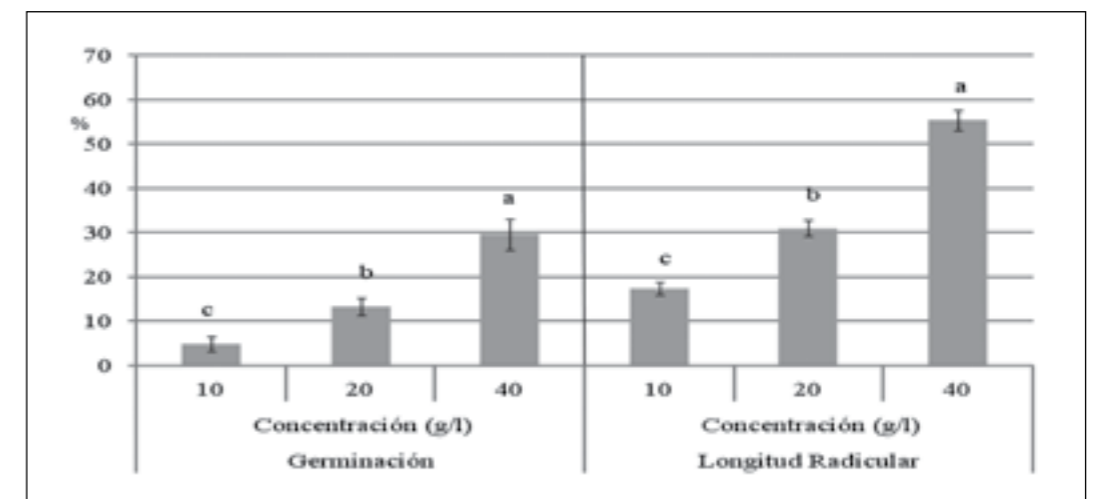


Figura 1. Porcentaje de reducción de la germinación y de la longitud radicular respecto del control (0 g/l) en las especies estudiadas en función de las concentraciones de extracto acuoso de esparceta. Media \pm error estándar. Análisis DMS. Letras diferentes para cada variable indican diferencias significativas $p \leq 0.05$.

Respecto al efecto fitotóxico del extracto acuoso de esparceta sobre el crecimiento radicular, es posible observar (fig. 1), una progresiva reducción de la longitud, llegando a superar el 50% del crecimiento control, cuando las concentraciones son elevadas (40 g/l). Nuestros resultados concuerdan con el estudio de Li (2009) que analiza el efecto alelopático de la esparceta en 7 especies de malas hierbas. Al compararlos con los efectos cuantificados de los extractos de alfalfa (Chon, 2002; Koloren, 2007) podemos apreciar un menor efecto inhibitor ya que a concentraciones altas pueden llegar a reducciones del 70-75%. En todo caso, consideramos que esta sensible reducción radicular detectada en el laboratorio hay que testarla en condiciones de campo donde intervienen un mayor número de variables tanto bióticas como abióticas.

Al desglosar los resultados en función de las especies ensayadas (fig. 2) podemos observar algunas respuestas bien diferenciadas. En primer lugar la alfalfa no ha presentado un patrón claro de inhibición de la germinación ante concentraciones crecientes de extracto de esparceta. A concentraciones bajas (10 g/l) se produce una reducción de la germinación muy pequeña o nula en algunas especies como en *Lolium perenne*, *L. multiflorum*, en los dos tréboles, *Trifolium pratense* y *T. repens* (cercasas al 1-2%) o bien en *Festuca arundinacea* que en estas condiciones no muestra una reducción en su germinación. Sí parece tener un mayor efecto autotóxico sobre la germinación de las dos esparcetas (*O. viciifolia*) ensayadas con estas concentraciones ya que se supera el 10%.

La mayor sensibilidad fitotóxica se detecta en la germinación de la propia esparceta a concentraciones de 40 g/l procedente de Jarque ya que se reduce hasta un 50% su germinación, siendo también importante la disminución que muestran especies como *Lolium perenne* (45%) y *Trifolium repens* (40%). Koloren (2007) analizó el efecto alelopático de la alfalfa sobre *Lolium perenne* y concluyó que a concentraciones de 5,25 y 50 g/l se reduce la germinación un 14, 60 y el 100% respectivamente. En nuestro caso, sobre extracto de esparceta la afección no ha sido tan importante. Las especies que menor respuesta alelopática han demostrado, incluso a concentraciones elevadas, son *Festuca arundinacea* y *Lolium multiflorum*. Si estos resultados se mantienen en condiciones de campo podrían suponer una disminución en el éxito de la siembra por lo que tendríamos que aconsejar una rotación de cultivos tras la siembra de esparceta, o bien sembrar a mayores dosis de semilla.

La respuesta alelopática sobre el crecimiento radicular es, en algunas especies, mucho más importante que sobre la germinación (fig. 3). Chung y Miller (1995) estudiaron el efecto de extractos de 9 gramíneas forrajeras sobre el crecimiento radicular de la alfalfa detectando una disminución cercana al 40%, mientras que con extractos de esparceta nosotros hemos obtenido tan sólo un 33% de reducción en las concentraciones más elevadas. Sin embargo, otras especies como *Lolium perenne* y *Lolium multiflorum* así como los dos tréboles (*Trifolium pratense* y *Trifolium repens*) si que muestran una fuerte sensibilidad, llegando a alcanzar una disminución radicular cercana al 80% respecto al crecimiento control.

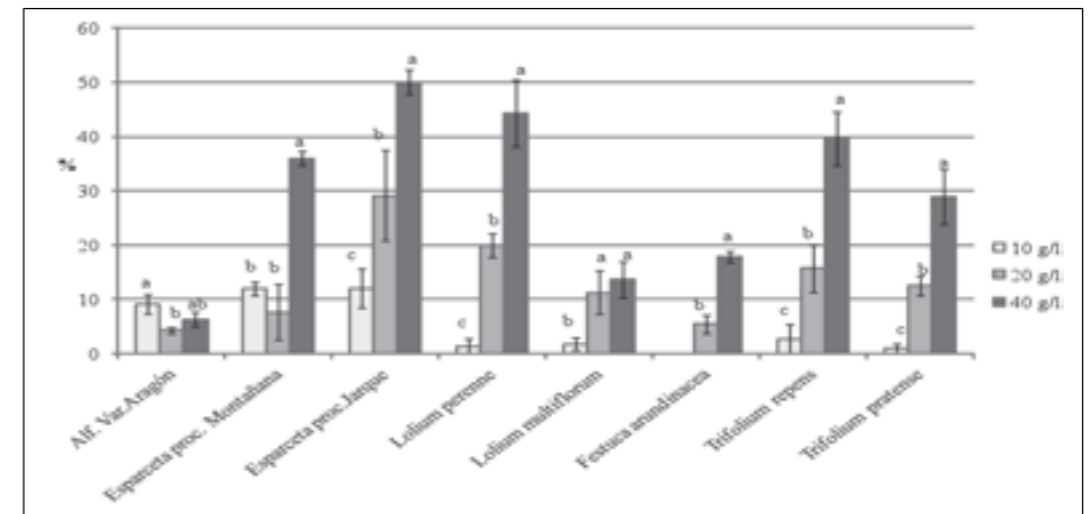


Figura 2. Porcentaje de reducción de la germinación respecto a la germinación control para cada una de las especies estudiadas. Media \pm error estándar. Análisis DMS. Letras diferentes para cada especie indican diferencias significativas $p \leq 0.05$.

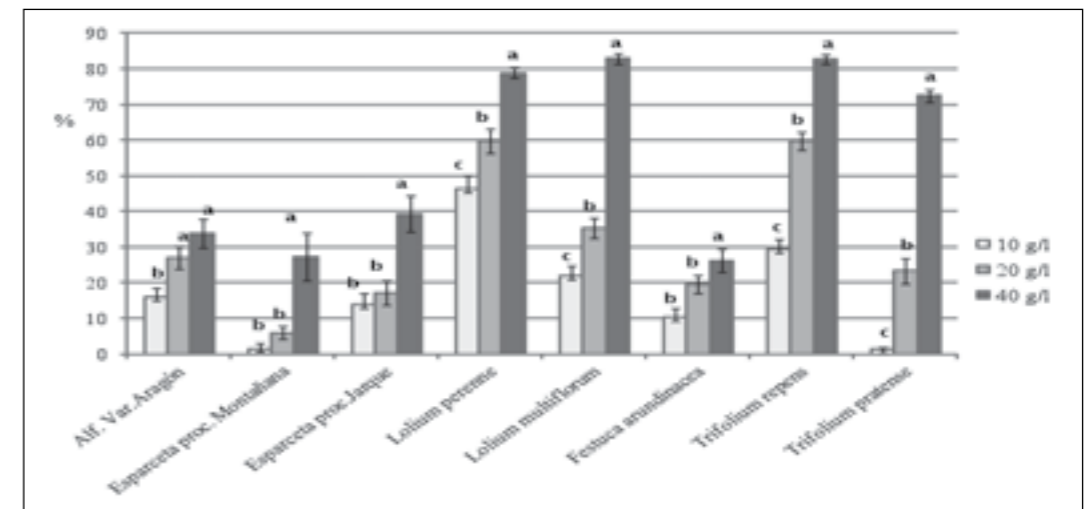


Figura 3. Porcentaje de reducción de la longitud radicular para cada una de las especies estudiadas. Media \pm error estándar. Análisis DMS. Letras diferentes para cada especie indican diferencias significativas $p \leq 0.05$.

CONCLUSIONES

Los efectos alelopáticos provocados por el extracto acuoso de esparceta se han manifestado de forma más importante en la longitud radicular que en la germinación de las especies analizadas (alfalfa, esparceta, raigrás inglés, raigrás italiano, trébol blanco, trébol violeta, *Festuca arundinacea*). La germinación se ha visto afectada un 30% al incrementar la concentración de esparceta hasta los 40 g/l, mientras que la longitud radicular media se reduce en un 50% respecto a crecimientos en solución control.

Se ha podido comprobar el efecto autotóxico que presenta la esparceta provocando una reducción de la germinación (cerca de 50% en esparcetas de procedencia Jarque) y 37% sobre la longitud radicular. El efecto sobre el crecimiento radicular de *Trifolium repens* y *T. pratense* es aun más importante ya que se reduce un 75% a concentraciones elevadas. La alelopatía que produce el extracto de esparceta sobre las tres gramíneas estudiadas se pone de manifiesto a concentraciones elevadas llegando a ser importantes en *Lolium multiflorum* y *L. perenne* con una reducción de la raíz cercanas al 80%.

Consideramos que hay que tener en cuenta esta fitotoxicidad a la hora de gestionar la rotación de cultivos o las densidades de siembra de los cultivos siguientes por las posibles implicaciones agronómicas, si bien hay que corroborar estos resultados obtenidos en el laboratorio con muestreos de campo.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha realizado dentro del proyecto INIA-RTA2009-00063-C02

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CANALS R.M., SAN EMETERIO L. Y PERALTA J. (2005) Autotoxicity in *Lolium rigidum*: analyzing the role of chemically mediated interactions in annual plant populations. *Journal of Theoretical Biology*, **235**, 402-407.
- CHON S. (2002) Effects of alfalfa leaf extracts and phenolic allelochemicals on early seedling growth and root morphology of alfalfa and barnyard grass. *Crop Protection*, **21**, 1077-1082.
- CHUNG I. Y MILLER D. (1995). Natural herbicide potencial of alfalfa residue on selected weed species. *Agronomy Journal*, **87**, 920-925
- DELGADO I., ANDRES C., SIN E. Y OCHOCA M.J. (2002) Estado actual del cultivo de la esparceta (*Onobrychis viciifolia* Scop.). Encuesta realizada a agricultores y productores de semilla. *Pastos*, **32** (2), 235 – 247.
- I.S.T.A. (2006) *International rules for seed testing*. Edition 2006. The International Seed Testing Association (ISTA), Bassersdorf, CH-Switzerland.
- KOLOREN O. (2007) Allelopathic effects of *Medicago sativa* L. and *Vicia cracca* L. leaf and root extracts on weeds. *Pakistan Journal Biological Sciences*, **10**, 1639-1642.
- LI R. (2009) Allelopathy of root exudates of *Onobrychis viciaefolia* on 7 kinds of weed. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, **15**, 7059-7061.
- PUTNAM A.R. Y DUKE W. (1978) Allelopathy in agroecosystems. *Annual review of Phytopathology* **16**, 431-451.
- SAN EMETERIO L., ARROYO A. Y CANALS R.M. (2004) Allelopathic potential of *Lolium rigidum* Gaud. on the early growth of three associated pasture species. *Grass and Forage Science*, **59**, 107-112.
- SEGUIN P. (2002) Alfalfa autotoxicity: Effects of residing delay, original stand age, and cultivar. *Agronomy Journal*, **94**, 775-778.
- SMITH A. Y MARTIN L. (1994) Allelopathic characteristics of grass weeds in the forage ecosystem. *Agronomy Journal*, **86**, 243-246.
- XUAN T. (2002) Varietal differences in allelopathic potencial of alfalfa. *Journal Agronomy and Crop Science*, **188**, 2-7.

Efecto del estrés hídrico sobre el contenido de compuestos fenólicos en *Festuca rubra*

Effect of drought stress on phenolic compounds of *Festuca rubra*

B.R. VÁZQUEZ DE ALDANA / B. GONZÁLEZ RODRÍGUEZ /
A. GARCÍA CIUDAD / A. ÁLVAREZ PASCUA / B. GARCÍA CRIADO

Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Salamanca (IRNASA-CSIC), Cordel de Merinas 40-52, 37008 Salamanca.
beatriz.dealdana@irna.es

Resumen: Los compuestos fenólicos y flavonoides son los metabolitos secundarios de más amplia distribución en las plantas. Tienen un importante papel en procesos fisiológicos y ecológicos y están involucrados en la resistencia de las plantas a distintos tipos de estreses. Además tienen propiedades antioxidantes de interés para la industria alimentaria. *Festuca rubra* es una gramínea perenne frecuente en los pastos de dehesa en la provincia de Salamanca. En este ambiente semiárido, las plantas tienen que soportar una larga sequía estival. El objetivo de este trabajo fue determinar el efecto del estrés hídrico sobre el contenido de compuestos fenólicos en plantas de *Festuca rubra*. Se diseñó un ensayo en invernadero con dos ecotipos de *F. rubra* (ambos infectados por el hongo endofítico *Epichloë festucae*) y tres niveles de disponibilidad de agua. El efecto del estrés hídrico dependió del ecotipo considerado. En uno de los ecotipos se observó una disminución significativa de la producción de biomasa en hojas y raíces al aumentar el nivel de estrés. El incremento de estrés hídrico produjo además una disminución del contenido de fenoles totales y flavonoides en raíces, en el nivel más alto de estrés, mientras que la concentración de compuestos fenólicos totales en hojas no varió de forma significativa.

Palabras clave: flavonoides, gramíneas, raíces, biomasa, sequía.

Abstract: Phenolic compounds and flavonoids are among the most widely distributed secondary metabolites in the plant kingdom. They play an important role in physiological and ecological processes and they are involved in plant resistance to different types of stress. They also have antioxidant properties of interest to the food industry. *Festuca rubra* is a perennial grass common in pasture grasses in the province of Salamanca. In this semiarid environment, plants have to endure a long summer drought. The objective of this research was to determine the effect of water stress on the content of phenolic compounds in plants of *F. rubra*. We designed a greenhouse trial with two ecotypes of *F. rubra* (both infected with endophytic fungus *Epichloë festucae*) and three levels of water availability. The effect of water stress depended on the ecotype considered. In one of the ecotypes, the increase of water stress level produced a significant decrease in biomass production in leaves and roots. The increase of water stress also produced a decrease in total phenolic compounds and flavonoid contents in roots, while the concentration of phenolic compounds in leaves did not vary significantly.

Key words: flavonoids, grasses, root biomass, red fescue.

INTRODUCCIÓN

Los compuestos fenólicos y flavonoides son los metabolitos secundarios de más amplia distribución en las plantas. Tienen un importante papel en procesos fisiológicos y ecológicos y están involucrados en la resistencia de las plantas a distintos tipos de estrés (Treutter, 2005). Estos metabolitos tienen varias funciones de defensa y por tanto su biosíntesis en las plantas está inducida generalmente en respuesta a estímulos abióticos y bióticos como sequía, ozono, radiación UV, metales pesados o ataque de patógenos (Waterman y Mole, 1994). Por otro lado, los compuestos fenólicos tienen un papel importante en las interacciones planta-herbívoro incluyendo efecto insecticida, estimulación herbivorismo, toxicidad y resistencia a enfermedades. Aunque tradi-

cionalmente se ha considerado que algunos compuestos fenólicos (p.e. taninos) pueden ser perjudiciales en nutrición animal por su capacidad de precipitar las proteínas, estudios recientes muestran beneficios en rumiantes (Salminen y Karonen, 2011). Los compuestos fenólicos se acumulan en la planta en sitios estratégicamente importantes donde pueden tener un papel directo o de señalización en la defensa (Treutter, 2005), localizándose en muchos casos en las raíces de las plantas (Saviranta *et al.*, 2010).

El hecho de que los compuestos fenólicos puedan tener un papel en la resistencia de la planta a distintos estreses, motivó a plantearse el objetivo de este trabajo: determinar qué efecto tiene el estrés hídrico en el contenido de compuestos fenólicos totales y flavonoides en plantas de *Festuca rubra*. Esta gramínea perenne es frecuente en pastos de dehesa de la provincia de Salamanca, caracterizados principalmente por un clima semiárido, donde las plantas están sometidas a estrés hídrico con frecuencia.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal

Se llevó a cabo un ensayo en invernadero con plantas de *Festuca rubra* infectadas por el hongo endofítico *Epichloë festucae*, utilizando dos líneas de esta gramínea (P y R). El hecho de utilizar plantas infectadas por el endófito *E. festucae* es debido a que una media del 70% de las plantas de esta gramínea están infectadas de forma natural y asintomática en los pastos de dehesa de la provincia de Salamanca (Zabalgogea *et al.*, 1999). A partir de semillas de plantas recogidas en las dehesas y mantenidas en finca experimental, se obtuvieron plantas que se mantuvieron en macetas en invernadero durante seis meses. En ese momento, las plantas se dividieron en clones, cada una con dos vástagos y se recortó la raíz a una longitud aproximada de 4 cm para obtener plantas de tamaño similar. Se trasplantaron de forma individual a macetas con una mezcla de turba y vermiculita, donde se mantuvieron durante 14 semanas con riegos frecuentes antes de iniciar el tratamiento de estrés hídrico.

Diseño experimental

El tratamiento consistió en tres niveles de estrés hídrico basados en la frecuencia de riego de las plantas: W1 = riego cada 7 días; W2 = riego cada 15 días; C = riegos tres veces por semana. Se realizaron dos ciclos de déficit hídrico, dejando tres semanas de recuperación entre ambos ciclos en las que se efectuaron riegos alternos en todas las macetas. Se aplicó un diseño factorial considerándose seis réplicas de cada combinación tratamiento (C, W1 y W2), y línea de *F. rubra* (P y R). Se colocaron las macetas al azar en el invernadero y se rotaron periódicamente. El ensayo se llevó a cabo en condiciones de T= 22°C/15°C día/noche, y luz natural en primavera. Después de las siete semanas que duró el tratamiento completo, las plantas se cortaron, separando raíces y parte aérea, determinando el peso seco en las muestras liofilizadas.

Análisis químico

Se realizó una extracción con 5 ml de MeOH:H₂O (50:50) sobre 200 mg de muestra liofilizada y molida, durante 30 minutos. Se separó el extracto, mediante centrifugación y posterior filtración. Estos extractos se mantuvieron en el congelador (-30°C) para los análisis químicos posteriores de compuestos fenólicos y flavonoides.

El contenido total de compuestos fenólicos (CFT) se determinó mediante el método colorimétrico de Price (Graham, 1992) por reacción con ferricianuro potásico, utilizando ácido gálico como patrón de referencia para la cuantificación. El contenido total de flavonoides se determinó mediante el método espectrofotométrico descrito por Heimler *et al.* (2005), utilizando catequina como patrón de referencia.

Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza considerando como factores tratamiento de estrés hídrico (C, W1 y W2) y línea de *F. rubra* (P y R), utilizando el programa estadístico SPSS v17.0.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Biomasa aérea y subterránea

Ambos ecotipos de *F. rubra* presentan una distribución de biomasa diferente, así la producción de hojas del ecotipo P fue significativamente (P<0,001) mayor que la de R, sin embargo respecto a la producción de raíces fue mayor (P<0,001) en R que en P (fig. 1). Considerando la biomasa total, el efecto del ecotipo no fue significativo pero hay una interacción significativa con el tratamiento que discutiremos más adelante (tabla 1).

El tratamiento de estrés hídrico tuvo un efecto significativo en la producción de biomasa de las plantas de *F. rubra* (tabla 1). El peso seco de las hojas disminuyó de forma significativa (P<0,01) al aumentar el nivel de estrés. La variación en el peso seco de las raíces se vio afectada por la interacción entre el tratamiento de estrés hídrico y el ecotipo: en el ecotipo R al aumentar el nivel de estrés disminuyó la producción de biomasa en la raíz, sin embargo, en el ecotipo P las diferencias entre tratamientos no fueron estadísticamente significativas (fig. 1). La proporción de biomasa hojas:raíz difiere entre ecotipos, pero no varía con el estrés hídrico (fig. 1, tabla 1).

En general, el ecotipo P tiene pocas variaciones en biomasa (hojas o raíces) con el tratamiento hídrico. Sin embargo, en R, con mayor producción de raíces que de hojas, al aumentar el nivel de estrés hídrico disminuye la producción de biomasa tanto en hojas como en raíces, siendo más acusada la disminución en raíces. Esos resultados pueden resultar sorprendes, ya que una mayor producción de raíces implicaría una mayor capacidad de absorción de agua y por tanto la planta estaría menos afectada por el estrés hídrico. Sin embargo sucede lo contrario, lo que indica que pudieran existir diferencias en la morfología de la raíz que hacen que el ecotipo P sea más eficiente en la absorción de agua.

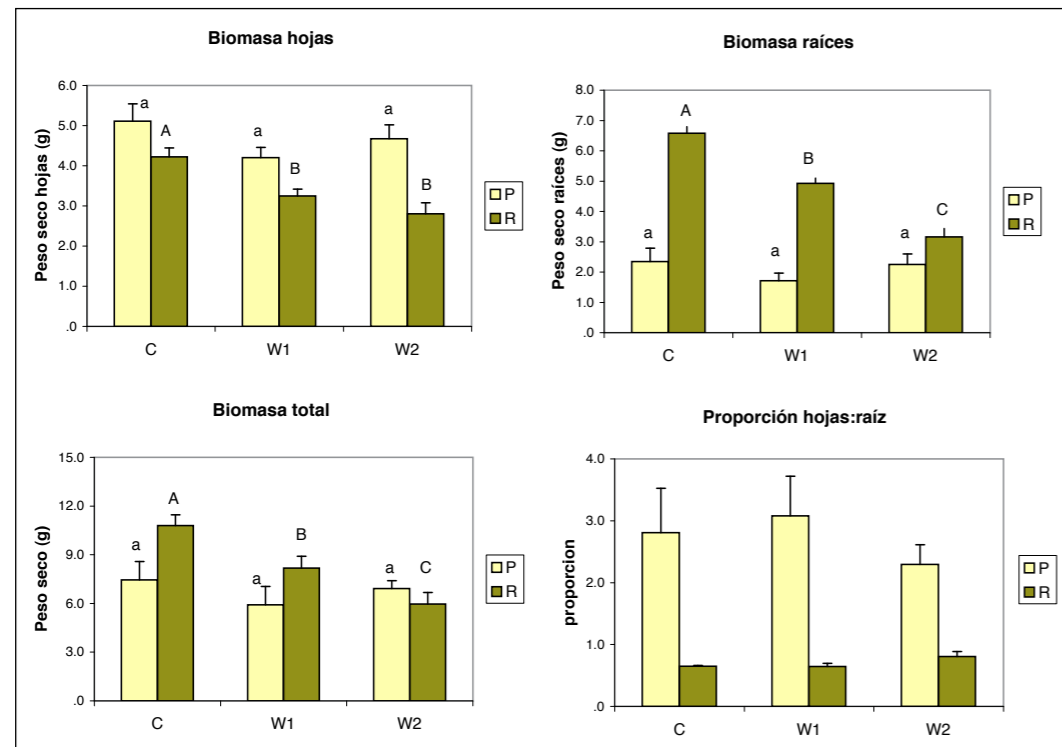


Figura 1. Producción de biomasa en hojas, raíces y total (g peso seco) y proporción hojas: raíces (media ± error estándar) de plantas de *F. rubra*, de dos ecotipos (P y R), sometidas a distintos niveles de estrés hídrico (C, W1, W2). Para cada ecotipo, letras diferentes indican diferencias entre tratamientos a $P < 0,05$.

Considerando la biomasa total, el estrés hídrico disminuye de forma significativa en R, pero en P las diferencias entre los tratamientos C y W2 no fueron significativas.

Tabla 1. Nivel de significación del ANOVA del efecto del tratamiento de estrés hídrico (T) y el ecotipo de la planta (E), sobre distintos parámetros analizados en muestras de hojas y raíces de plantas de *F. rubra*.

	Tratamiento (T)	Ecotipo (E)	T × E
Biomasa hojas	0,004	0,000	0,199
Biomasa raíces	0,005	0,000	0,007
Biomasa total	0,005	0,109	0,027
Proporción hojas: raíz	0,738	0,000	0,484
Fenoles hojas	0,759	0,693	0,724
Fenoles raíces	0,003	0,000	0,050
Flavonoides hojas	0,019	0,003	0,127
Flavonoides raíces	0,001	0,000	0,322

Compuestos fenólicos

En la figura 2 se muestran los resultados de los análisis de compuestos fenólicos totales (CFT) y flavonoides. Ambos ecotipos difieren en la concentración de estos metabolitos secundarios, que en general es mayor en P que en R.

En relación al contenido de CFT en hojas no se encontraron variaciones significativas entre tratamientos de estrés hídrico o ecotipos de *F. rubra* (tabla 1). Sin embargo, en raíces, al aumentar el nivel de estrés hídrico disminuyó el contenido de CFT en ambos ecotipos. Es de destacar el incremento significativo en el nivel W1 respecto al control en el ecotipo P (fig. 2). En el caso del contenido total de flavonoides en hojas, se encontró un efecto del tratamiento hídrico, con disminución significativa entre el control y el nivel W2 (fig. 2). En raíces las variaciones fueron similares a las que se producen en las hojas, aunque en este caso la disminución en el nivel W2 fue mucho más acusada.

Analizando los resultados obtenidos en general, vemos que si bien la concentración de flavonoides es mayor que la de CFT, ambos presentan una tendencia paralela, principalmente en raíces. Por otro lado, si analizamos las hojas de *F. rubra* vemos que la variabilidad obtenida en los fenoles totales es mucho menos pronunciada que en flavonoides.

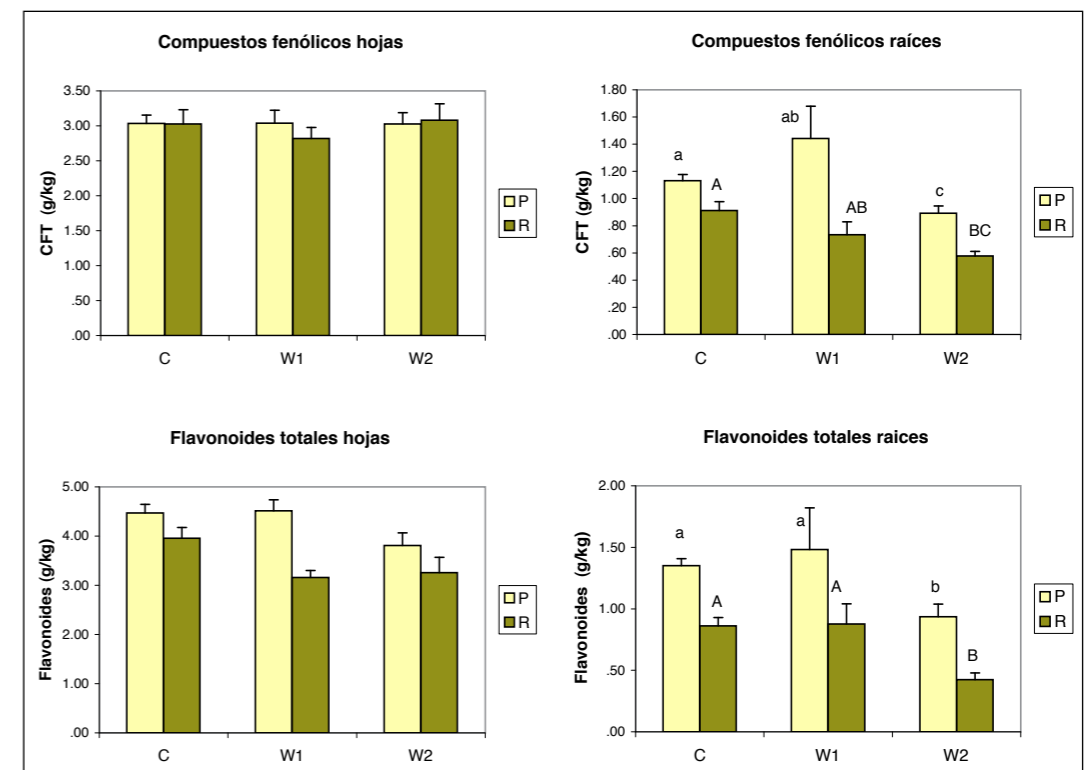


Figura 2. Contenido de compuestos fenólicos totales y flavonoides totales (media ± error estándar) en plantas de *F. rubra*, de dos ecotipos (P y R), sometidas a distintos niveles de estrés hídrico (C, W1, W2). Para cada ecotipo, letras diferentes indican diferencias entre tratamientos a $P < 0,05$.

Mientras que el estrés hídrico tiene un efecto pronunciado en la producción de biomasa del ecotipo R, la variación del contenido de compuestos fenólicos con el estrés hídrico es similar en ambos ecotipos, disminuyendo en ambos casos con el nivel más alto W2. Sobre el efecto del estrés hídrico en el contenido de compuestos fenólicos en plantas, hay casos descritos en los que su concentración en la parte aérea aumenta al aumentar el déficit hídrico en plantas como *Salvia officinalis* (Bettaieb *et al.*, 2011). La disminución de flavonoides y CFT al aumentar el déficit hídrico encontrada en este trabajo indica que no tienen ningún papel en la resistencia de la planta a este tipo de estrés.

CONCLUSIONES

Ambos ecotipos difieren tanto en la distribución de biomasa en hojas y raíces, y en el contenido de CFT y flavonoides.

La respuesta al estrés hídrico en producción de biomasa es diferente en ambos ecotipos: el ecotipo con mayor proporción de biomasa en raíces es el que acusa una disminución al aumentar el estrés hídrico. Sin embargo, la concentración CFT y flavonoides disminuye en ambos ecotipos en el nivel más alto de estrés.

El papel de los compuestos fenólicos y flavonoides no parece ser relevante en la resistencia al estrés hídrico de *Festuca rubra*, en las condiciones en las que se realizó el ensayo.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación, proyecto AGL2008-01159. La participación de Beatriz González Rodríguez fue posible gracias a una beca JAE-Intro del CSIC (beca de Introducción a la Investigación). Se agradecen los comentarios de un revisor anónimo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BETTAIEB I., HAMROUNI-SELLAMI I., BOURGOU S., LIMAM F. Y MARZOUK B. (2011) Drought effects on polyphenol composition and antioxidant activities in aerial parts of *Salvia officinalis* L. *Acta Physiologiae Plantarum*, **33**, 1103-1111.
- GRAHAM H.D. (1992) Stabilization of the prussian blue color in the determination of polyphenols. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, **40**, 801-805.
- HEIMLER D., VIGNOLINI P., DINI M.G. Y ROMANI A. (2005) Rapid tests to assess the antioxidant activity of *Phaseolus vulgaris* L. dry beans. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **53**, 3053-3056.
- SALMINEN J.P. Y KARONEN M. (2011) Chemical ecology of tannins and other phenolics: we need a change in approach. *Functional Ecology*, **25**, 323-338.

- SAVIRANTA N.M.M., JULKUNEN-TIITTO R., OKSANEN E. Y KARJALAINEN R.O. (2010) Red clover (*Trifolium pratense* L.) isoflavones: root phenolic compounds affected by biotic and abiotic stress factors. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, **90**, 418-423.
- TREUTTER D. (2005) Significance of flavonoids in plant resistance and enhancement of their biosynthesis. *Plant Biology*, **7**, 581-591.
- WATERMAN P.G. Y MOLE S. (1994) *Analysis of Phenolic Plant Metabolites*. London, UK: Blackwell Scientific Publications.
- ZABALGOGEAZCOA I., VAZQUEZ-DE-ALDANA B.R., GARCIA-CRIADO B. Y GARCIA-CIUDAD A. (1999) The infection of *Festuca rubra* by the fungal endophyte *Epichloë festucae* in Mediterranean permanent grasslands. *Grass and Forage Science*, **54**, 91-95.

Respuesta del crecimiento de *Trifolium repens* a la presencia de hojarasca de diversas especies del bosque de ribera

Growth response of *Trifolium repens* to litter of several riverine species

B.R. VÁZQUEZ DE ALDANA¹ / P. DE LAS HERAS² / M.E. PÉREZ-CORONA²

¹ Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Salamanca (IRNASA-CSIC), Apartado 257, 37071 Salamanca. beatriz.dealdana@irnasa.csic.es

² Departamento de Ecología, Universidad Complutense de Madrid. 28047. Madrid

Resumen: El trébol blanco es una de las leguminosas más extendidas en zonas húmedas. Los bosques de ribera se caracterizan por una vegetación herbácea aprovechada ocasionalmente por el ganado, y particularmente sensible a la invasión de especies vegetales que pueden alterar su diversidad. El objetivo de este trabajo fue determinar cómo afecta la hojarasca de especies arbóreas nativas e invasoras en el crecimiento de la herbácea nativa *Trifolium repens*. Para ello se realizó un ensayo en invernadero con hojarasca de invasoras *Ailanthus altissima*, *Robinia pseudoacacia*, *Ulmus pumila* y nativas: *Populus alba*, *Populus nigra*, *Ulmus minor*, en cuatro momentos de descomposición. Los resultados muestran una reducción en el crecimiento de *T. repens*, tanto de la parte aérea como de la raíz, con todos los tratamientos de hojarasca (especies y tiempo de descomposición). El porcentaje de emergencia no se ve afectado de forma significativa por ninguno de los tratamientos. Por tanto el efecto de la hojarasca tendría mayor intensidad en el crecimiento de las plantas que en las fases germinativas.

Palabras clave: invasoras, descomposición hojarasca, biomasa, trébol blanco.

Abstract: White clover is one of the most widespread legumes in wet areas. Riparian forests are characterized by a herbaceous layer occasionally exploited by cattle and particularly sensitive to the invasion of plant species which may alter its diversity. The aim of this study was to determine the effect of invasive and native tree leaf litter in several decomposition phases, in the growth of the herbaceous *Trifolium repens*. A trial was conducted in a greenhouse with litter of invasives *Ailanthus altissima*, *Robinia pseudoacacia*, *Ulmus pumila* and natives: *Populus alba*, *Populus nigra*, *Ulmus minor*, in four decomposition phases. The results showed a reduction in the growth of *T. repens* with all litter treatments affecting both shoot and root growth. The percentage of emergency was not significantly affected by either treatment. Therefore, the effect of litter would have higher intensity in the growth of plants in the germ stage.

Key words: invasive species, litter decomposition, biomass, white clover.

INTRODUCCIÓN

Trifolium repens es la leguminosa perenne más importante de todo el mundo para el pastoreo en zonas húmedas. Su óptimo se sitúa en climas húmedos, estableciéndose de forma natural en las cercanías de ríos y arroyos. Los bosques de ribera son ecosistemas donde la vegetación herbácea existente puede ser aprovechada de forma ocasional por el ganado. Estos ecosistemas son además particularmente sensibles a la invasión de especies vegetales que pueden alterar la diversidad de especies vegetales (Vilà *et al.*, 2011) de los distintos estratos (arbóreo y herbáceo) y modificar la composición y producción del pasto.

Uno de los mecanismos clave del éxito de las especies invasoras es la liberación de compuestos químicos que pueden inhibir el crecimiento y la reproducción de otras especies nativas en el área de introducción (Hiero y Callaway, 2003; Inderjit *et al.*, 2008). La descomposición de la hojarasca es considerada como la fuente más importante de

aleloquímicos (Reigosa *et al.*, 1999) aunque su relevancia puede ser diferente en cada ecosistema. Estudios previos de este equipo de trabajo indican que probablemente las sustancias alelopáticas liberadas desde la hojarasca pueden inhibir la germinación y el crecimiento de algunas especies de herbáceas de la comunidad (Pérez Corona *et al.*, 2011a).

En los últimos años se ha detectado en ecosistemas de ribera la presencia de numerosas especies de árboles exóticos que también han invadido otros ecosistemas. Por ejemplo, *Ailanthus altissima*, uno de los árboles exóticos más frecuentes en bordes de caminos y riberas degradadas, tiene efectos alelopáticos (Gómez-Aparicio y Canham, 2008; Heisey y Heisey, 2003) que afectan a la germinación y/o crecimiento de otras especies. Sin embargo, no se han testado sus consecuencias en el sotobosque herbáceo en ecosistemas de ribera.

El objetivo de este trabajo fue estudiar el efecto de la hojarasca de especies arbóreas de bosques de ribera invasoras -*Ulmus pumila*, *Robinia pseudoacacia*, *Ailanthus altissima*- y nativas -*Ulmus minor*, *Populus alba* y *Populus nigra*- en diferentes fases de descomposición sobre el crecimiento de una especie herbácea del sotobosque (*Trifolium pratense*).

MATERIALES Y MÉTODOS

Como especie herbácea receptora se seleccionó una de las predominantes en el sotobosque acompañante de los bosques de ribera de la zona de estudio: *Trifolium repens* (Martínez y Elorrieta, 2000). Semillas de esta especie se adquirieron a una casa comercial (Semillas Silvestres).

En el otoño de 2010 se recogió hojarasca recién caída en la ribera del río Henares (Alcalá de Henares, Madrid) de tres especies arbóreas exóticas invasoras *A. altissima*, *R. pseudoacacia*, *U. pumila* y tres especies nativas: *P. alba*, *P. nigra*, *U. minor* y se llevó al laboratorio donde se secó a temperatura ambiente durante dos semanas. Una vez seca la hojarasca, para cada especie se prepararon 25 bolsas de nailon de 1 cm² de luz de malla, con 4 g de hojarasca (peso seco) en el interior. Las bolsas se enterraron en un bosque de *Ulmus minor* situado en la finca La Canaleja (Alcalá de Henares, Madrid). En un área de unos 25 m² de características homogéneas situada debajo del dosel arbóreo, se seleccionaron 6 puntos, con parcelas de aproximadamente 0,80 cm x 0,80 cm, en las que se enterraron las bolsas bajo una capa de hojarasca de unos 5 cm. Se desenterraron cinco bolsas de cada especie después de un mes (t1), dos meses (t2) y tres meses (t3) de haber sido enterradas. La hojarasca remanente en las bolsas se lavó en el laboratorio con agua destilada para eliminar restos de suelo adherido. Posteriormente, se secó en estufa a 60 °C hasta peso constante y se congeló (-80 °C) hasta su utilización.

En el invernadero se dispusieron 100 macetas de 8 cm de diámetro (64 cm²) en las que se aplicaron los tratamientos resultantes de la combinación factorial de seis especies arbóreas (*A. altissima*, *R. pseudoacacia*, *U. pumila*, *P. alba*, *P. nigra*, *U. minor*) y

cuatro tiempos de descomposición de hojarasca (0, 1, 2 y 3 meses). Se realizaron cuatro réplicas de cada tratamiento, más cuatro réplicas control sin hojarasca. Las macetas se llenaron parcialmente con una mezcla de perlita y arena (2:1). Se completaron (en sus últimos 3 cm) con la misma mezcla a la que se añadió una cantidad de hojarasca calculada a partir de datos sobre entradas de hojarasca al suelo en estos ecosistemas (González Muñoz comm.personal). Se sembraron 10 semillas de *T. repens* por maceta y se dejaron crecer en un invernadero en condiciones de temperatura de 24°C/15°C (día/noche), humedad relativa 55% y luz natural del mes de mayo. Las macetas se regaron tres veces por semana con agua. Después de dos semanas se añadió un fertilizante líquido comercial (en la mitad de la dosis indicada por el fabricante) una vez por semana. Se controló la emergencia de las plántulas diariamente y después de 14 días se clarearon todas las macetas a cinco plántulas. Después de 28 días desde la siembra, se recogieron todas las plantas, determinado en cada caso la biomasa aérea y radicular (peso seco).

Se analizó el efecto de la especie arbórea y de la edad de la hojarasca, es decir de su estado de descomposición, mediante ANOVA de dos vías, y análisis post-hoc de Tukey (Statistica 6.0).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La emergencia de plántulas de *T. repens* se estabilizó 14 días después de la siembra. En ese momento, el porcentaje de emergencia no se vio afectado de forma significativa por la especie de hojarasca o tiempo de descomposición (tabla 1, fig. 1), lo que indica que la presencia de hojarasca en diferentes estados de descomposición no afectaría a la germinación de *T. repens* y el porcentaje de emergencia de plántulas es similar al que ocurre en los tratamientos control (sin hojarasca de especies arbóreas). No parece, por tanto, que en los estados iniciales, cuando las semillas germinan aprovechando sus reservas internas, el crecimiento se vea afectado por factores ambientales externos como la posible presencia de elementos químicos alelopáticos procedentes de la hojarasca en descomposición en el suelo. Estos resultados coinciden con la falta de respuesta de germinación a la presencia de extractos de hojarasca para *P. alba*, *A. altissima* y *U. minor* (Pérez Corona *et al.*, 2011b).

Tabla 1. Resultados del ANOVA realizado para comparar la emergencia y crecimiento de plantas de *T. repens*, en función de la especie arbórea y el tiempo de descomposición de la hojarasca. Se indica el nivel de significación.

	Especie	Tiempo	Especie×tiempo
Emergencia	0,331	0,176	0,891
Biomasa parte aérea	0,000	0,238	0,007
Biomasa raíces	0,028	0,744	0,042

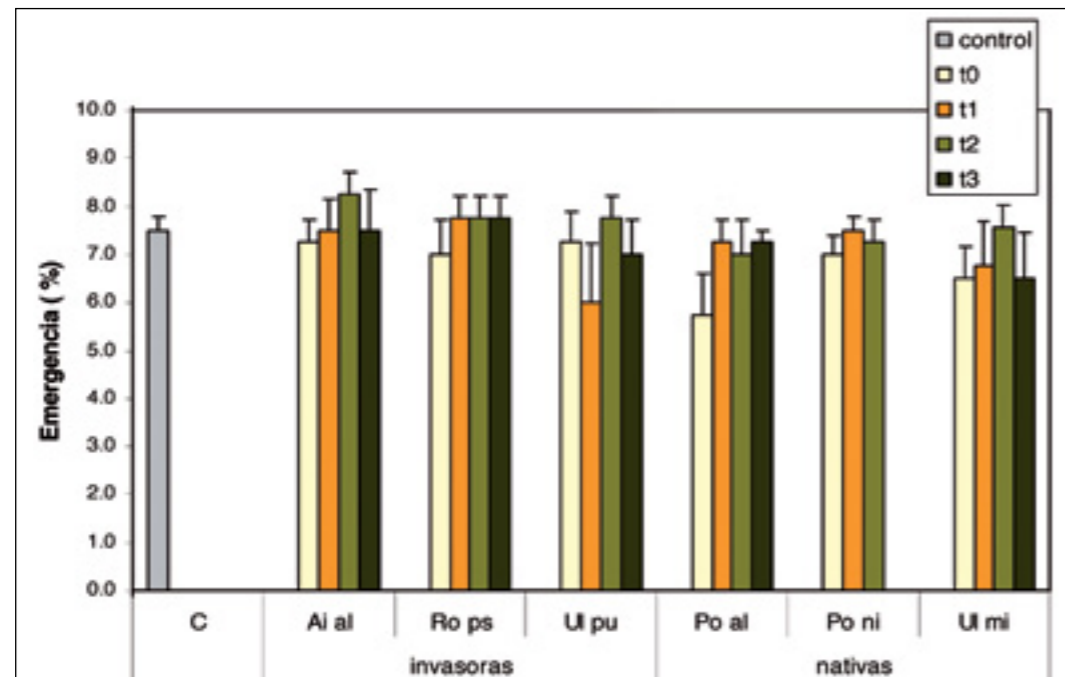


Figura 1. Emergencia de plántulas de *T. repens* creciendo con hojarasca de distintas especies (Ai al = *Ailanthus altissima*, Ro ps= *Robinia pseudoacacia*; Ul pu= *Ulmus pumila*; Po al= *Populus alba*; Po ni= *Populus nigra*; Ul mi= *Ulmus minor*) en diferentes etapas de de descomposición (t0= recién caída; t1= 1 mes; t2= 2 meses; t3= 3 meses), o sin hojarasca en el control (C).

En las fases siguientes del crecimiento es cuando se observan las principales diferencias respecto a la presencia de hojarasca de las diferentes especies. En todos los casos, las plantas control muestran mayor crecimiento que las plantas sometidas al tratamiento de hojarasca de cualquiera de las seis especies arbóreas, en cualquier etapa de descomposición (tabla 1, fig. 2). Es decir, todos los tratamientos con hojarasca reducen el crecimiento de tallos y raíces de *T. repens*. Sin embargo, se encuentran diferencias significativas dependiendo de la especie arbórea y el grado de descomposición de la hojarasca, observándose tres tipos de respuestas en el crecimiento de *T. repens*.

Por un lado, dos de las especies arbóreas invasoras (*U. pumila* y *R. pseudoacacia*) muestran efectos similares sobre el crecimiento de *T. repens*, ambos negativos e independientes del tiempo de descomposición. La hojarasca de *U. pumilla* es la que parece tener un efecto más negativo sobre el crecimiento de *T. repens*, llegando a producir una reducción del crecimiento de un 60% mientras que *R. pseudoacacia* reduce en un 50% aproximadamente. Por otro lado, el crecimiento de *T. repens* es menor cuanto mayor es el tiempo de descomposición de la hojarasca de *U. minor* y *P. nigra*, ambas especies arbóreas nativas. Las diferencias en biomasa aérea y subterránea con respecto a las plantas control aumenta con el tiempo de descomposición de las hojarasca de ambas especies (fig. 2). Es decir, las dos especies nativas afectan negativamente al crecimiento de *T. repens* y lo hacen en mayor medida cuanto mayor es el grado de descomposición de la hojarasca (entre un 50% en t1 y un 70% en t3). La respuesta a la hojarasca de A.

altissima (invasora) y *P. alba* (nativa) es opuesta a la anterior. En este caso, la diferencia de crecimiento de *T. repens* comparada con las plantas control disminuye con el tiempo de descomposición de la hojarasca de ambas especies arbóreas. Es decir, que cuanto más descompuesta está la hojarasca de estas dos especies, el crecimiento de *T. repens*, tanto de tallo como de raíces, es mayor.

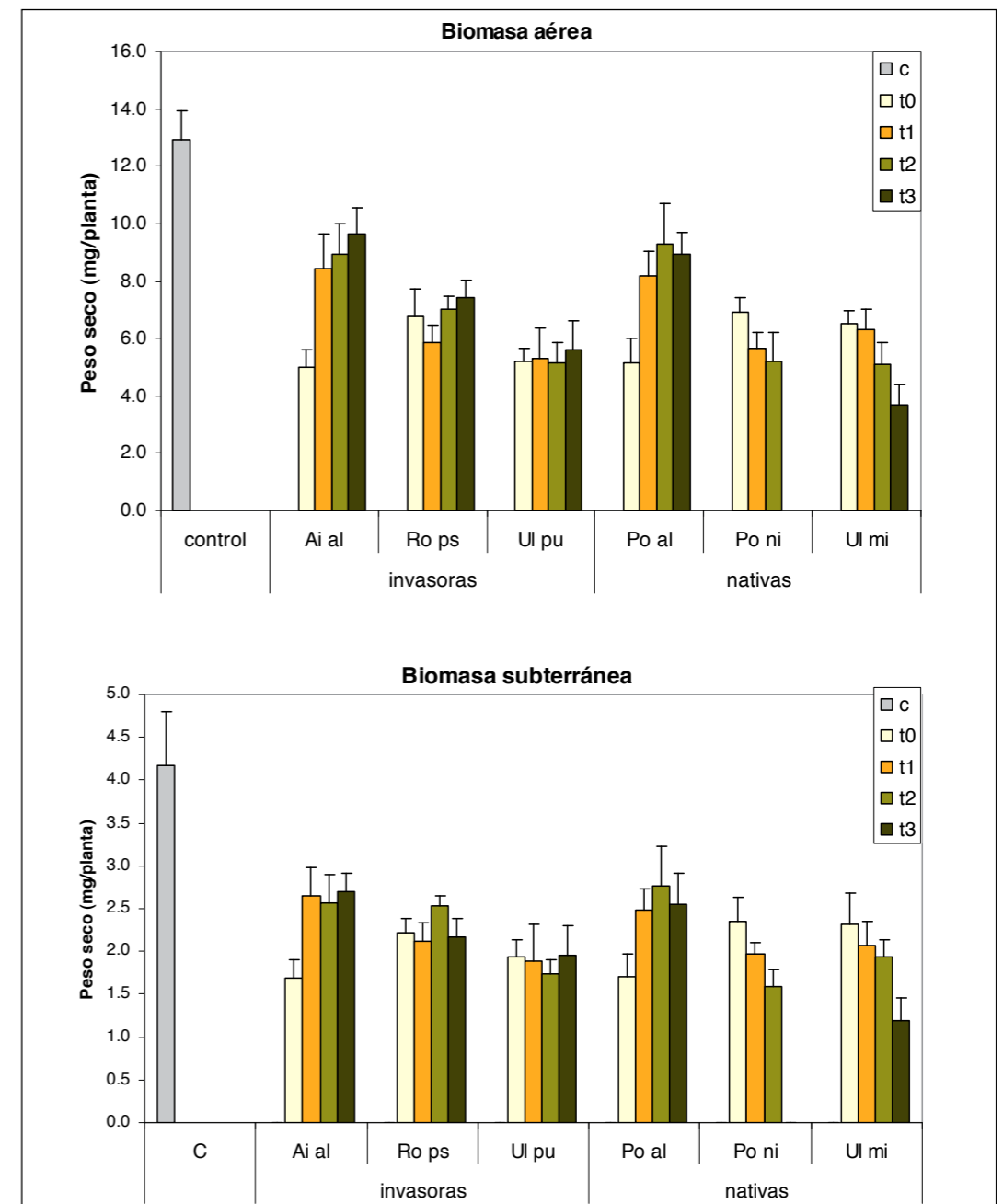


Figura 2. Producción de biomasa de la parte aérea y subterránea de *T. repens* con hojarasca de Ai al = *Ailanthus altissima*, Ro ps= *Robinia pseudoacacia*; Ul pu= *Ulmus pumila*; Po al= *Populus alba*; Po ni= *Populus nigra*; Ul mi= *Ulmus minor*, a distintos tiempos de descomposición (t0= recién caída; t1= 1 mes; t2= 2 meses; t3= 3 meses), o sin hojarasca en el control (C).

Los resultados muestran que no hay un efecto diferencial de la hojarasca dependiendo de si la especie es nativa o exótica. La hojarasca de todas las especies arbóreas reduce el crecimiento de la *T. repens*, tanto de tallos como de raíces. Esta reducción puede ser debida a un efecto alelopático, es decir, a la producción de compuestos químicos en la hojarasca que inhiben el crecimiento de *T. repens*. La descomposición de la hojarasca es considerada como la fuente más importante de aleloquímicos (Reigosa *et al.*, 1999), y su concentración depende de la especie y etapa de descomposición. El hecho de que el efecto de la edad de la hojarasca dependa de cada especie, sugiere que diferentes compuestos químicos puedan estar involucrados en la inhibición del crecimiento de *T. repens*. Nasir *et al.* (2005), encontraron una reducción del crecimiento (raíz y hojas) de varias especies de gramíneas y leguminosas cuando crecen en suelo mezclado con hojas de robinia, de forma similar a los resultados de este estudio con *T. repens*. Además, detectaron en hojas de robinia varios compuestos (robinetina, quercetina) que inhiben el crecimiento de varias especies herbáceas.

Desde el punto de vista de *T. repens* como herbácea componente del pasto, los resultados de este trabajo indican que en los bosques de ribera, la proporción de leguminosas del pasto puede disminuir en cobertura debido a la presencia de hojarasca de distintas especies, tanto nativas como exóticas.

CONCLUSIONES

Todos los tratamientos de hojarasca reducen el crecimiento de *T. repens*, tanto de la biomasa aérea como subterránea. Al aumentar el grado de descomposición de la hojarasca aumenta o disminuye el efecto en *T. repens* dependiendo de la especie arbórea. No se ha encontrado un efecto diferencial entre especies nativas y alóctonas.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido subvencionado por la Comunidad de Castilla-La Mancha, proyecto POII10-0179-4700. Se agradece la colaboración de Amador Álvarez y su paciencia en los muestreos de *T. repens*.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- GÓMEZ-APARICIO L. Y CANHAM C.D. (2008) Neighbourhood analyses of the allelopathic effects of the invasive tree *Ailanthus altissima* in temperate forests. *Journal of Ecology*, **96**, 447-458.
- HEISEY R.M. Y HEISEY T.K. (2003) Herbicidal effects under field conditions of *Ailanthus altissima* bark extract, which contains ailanthone. *Plant and Soil*, **256**, 85-99.
- HIERRO J.L. Y CALLAWAY R.M. (2003). Allelopathy and exotic plant invasion. *Plant and Soil*, **256**, 29-39.
- INDERJIT, SEASTEDT T.R., CALLAWAY R.M. Y POLLOCK J.L. Y KAUR J. (2008). Allelopathy and plant invasions: traditional, congeneric and bio-geographical approaches. *Biological Invasions*, **10**, 875-890.

- MARTÍNEZ T. Y ELORRIETA I. (2000). *El Soto de El Encín*. Dirección General de Agricultura y Alimentación. Comunidad de Madrid
- NASIR H., IQBAL Z., HIRADATE S. Y FUJII Y. (2005) Allelopathic potential of *Robinia pseudoacacia* L. *Journal of Chemical Ecology*, **31**, 2179-2192.
- PÉREZ-CORONA M.E., CRESPO E., RODRIGO J., SANTOS J.A., DE LAS HERAS P., CASTRO DÍEZ P. Y VÁZQUEZ DE ALDANA B.R. (2011a) Efecto alelopático de especies invasoras de ribera sobre la germinación de especies del sotobosque. En: Lopez Carrasco C. *et al.* (Eds.) *Pastos paisajes culturales entre tradición y nuevos paradigmas del siglo XXI*, pp. 189-194. Toledo, España: Sociedad Española para el Estudio de los Pastos.
- PÉREZ-CORONA, M.E., CATALÁN, P., FERNÁNDEZ-SERAL, A., DE LAS HERAS, P., CASTRO, P. Y VÁZQUEZ DE ALDANA, B.R. (2011b). Effect of riverine invasive species in germination and radicle growth of understory species. 12th EEF Congress. Ávila. Septiembre 2011.
- REIGOSA M.J., SANCHEZ-MOREIRAS A. Y GONZALEZ L. (1999) Ecophysiological approach in allelopathy. *Critical Reviews in Plant Sciences*, **18**, 577-608.
- VILÁ M., ESPINAR J.L., HEJDA M., HULME P.E., JAROSIK V., MARON J.L., PERGL J., SCHAFFNER U., SUN Y. Y PYSEK P. 2011. Ecological impacts of invasive alien plants: a meta-analysis of their effects on species, communities and ecosystems. *Ecology Letters*, **14**, 702-708. doi: 10.1111/j.1461-0248.2011.01628.x.

Los pastos de *Carex brevicollis* hospedan un patógeno del haya

Carex brevicollis grasslands host a potentially severe beech pathogen

I. ZABALGOGEAZCOA¹ / J. GÓMEZ² / S. SÁNCHEZ¹ / J. PEDRO² / R.M. CANALS²

¹Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología (CSIC), Apartado 257, 37071 Salamanca. i.zabalgo@irnasa.csic.es
²Departamento de Producción Agraria. UPNA, Campus Arrosadia s/n 31006 Pamplona

Resumen: *Carex brevicollis* es la única especie tóxica de su género dentro de la familia *Cyperaceae*. Este trabajo forma parte de una investigación dirigida a averiguar si la toxicidad de esta planta, debida a su contenido en el alcaloide brevicolina, está relacionada con hongos endófitos que podrían inducir, o directamente producir, el alcaloide. Con este fin se realizó un censo de especies de hongos endófitos, capaces de infectar hojas sin producir síntomas visibles, en poblaciones naturales de *C. brevicollis* ubicadas en la sierra de Urbasa (Navarra). Se detectaron y aislaron endófitos en el 43,6 % de los fragmentos de hoja analizados de cada planta. Estas infecciones correspondían principalmente a hongos pertenecientes a 14 grupos taxonómicos. La especie endofítica dominante fue *Biscogniauxia nummularia*, un patógeno y saprofito de haya (*Fagus sylvatica*), que fue aislado del 80% de las plantas analizadas. El hecho de que *B. nummularia* tenga como huésped alternativo un especie pascícola simpátrica con *Fagus sylvatica* puede tener implicaciones importantes en la epidemiología de la enfermedad causada por este hongo en hayedos, particularmente ante un escenario de cambio climático.

Palabras clave: Hongos endófitos, *Biscogniauxia nummularia*, *Fagus sylvatica*, huésped alternativo.

Abstract: *Carex brevicollis* is the only toxic species of this genus in the botanic family of *Cyperaceae*. This work is part of a research line addressed to find out whether the toxicity of this plant, related to its content in the alkaloid brevicoline, is related to the endophytic microbiota hosting the plant. A census of fungal endophytic species infecting leaves of *C. brevicollis* was carried out in the Sierra de Urbasa (Navarra). We detected and isolated endophytes in 43.6% of leaf fragments analyzed from each plant. Most of these infections belonged to 14 taxonomic groups of endophytic fungi. The dominant fungal species was *Biscogniauxia nummularia*, a beech pathogen that also behaves as saprophytic species, isolated from an 80% of the *C. brevicollis* plants. The fact that *B. nummularia* can infect as alternative host an herbaceous species frequent in temperate grasslands may have important implications in the epidemiology of the disease caused by this fungus in beech forests, particularly in a scenario of climatic change.

Key words: Endophytic fungi, *Biscogniauxia nummularia*, *Fagus sylvatica*, alternative host

INTRODUCCIÓN

Carex *brevicollis* es una ciperácea común en los pastos y hayedos de la sierra de Urbasa en Navarra. Esta planta es la única especie tóxica de su género y su consumo por parte del ganado está asociado a intoxicaciones y problemas reproductivos (Ruiz de los Mozos *et al.*, 2008). La toxicidad de esta planta se debe a su contenido en el alcaloide brevicolina (Lazurjevski y Terentjeva 1976). Se conocen varios casos de plantas que son tóxicas debido a su asociación con hongos productores de toxinas (Clay y Schardl, 2002; Kucht *et al.*, 2004), y recientes investigaciones publicadas por este equipo parecen demostrar que existe una asociación directa entre la síntesis de brevicolina en *Carex brevicollis* y la ocurrencia de poblaciones fúngicas en su interior (San Emeterio *et al.*, 2008).

En este trabajo se realiza una identificación y caracterización de la comunidad de hongos endófitos asociados a los tejidos aéreos de *C. brevicollis*, realizando una determinación del grado de colonización endofítica en plantas desarrolladas en distintos ambientes (pasto abierto y sotobosque del hayedo) e identificando las principales especies fúngicas mediante caracteres microscópicos y moleculares.

MATERIAL Y MÉTODOS

Para estimar el nivel de colonización endofítica de las plantas de pasto abierto y sotobosque se analizaron ejemplares de *C. brevicollis* obtenidos en dos localidades de la Sierra de Urbasa: Udau y Bardoitza. En cada localidad se obtuvieron 20 plantas, 10 en praderas y otras 10 en sotobosque de hayedo. En cada una de estas plantas se estimó el número de fragmentos de hoja infectados por endófitos cultivables en un medio sintético de laboratorio. Fragmentos de cinco mm de cada planta se desinfectaron superficialmente con un tratamiento por inmersión durante 10 minutos en una solución de lejía comercial al 20% (1% cloro activo) seguido de un lavado con agua estéril. De cada planta analizada se depositaron 26 fragmentos en dos placas de Petri de nueve mm con agar de patata y dextrosa (PDA) modificado con 200 mg/ml de cloranfenicol. Las placas se incubaron en la oscuridad a temperatura ambiente y se observó periódicamente la presencia de micelio emergente de los fragmentos de hoja. Cuando esto sucedía, se retiraba el fragmento de hoja de la placa cortando el agar alrededor y obteniendo un fragmento de micelio para obtener un cultivo del hongo emergente de cada fragmento infectado. Tras tres semanas de seguir este procedimiento se contó el número total de fragmentos de hoja infectados en cada planta y los datos se analizaron para estimar la proporción de fragmentos infectados sobre el total de 26 analizados.

Los cultivos de hongos endófitos obtenidos de todas las plantas se agruparon en morfotipos según características macroscópicas como el color y aspecto de los cultivos en PDA. Una o varias cepas representativas de cada morfotipo se identificaron utilizando caracteres microscópicos y moleculares. El carácter molecular utilizado fue la secuencia de nucleótidos de la región ITS1-5.8S rRNA-ITS2, que se obtuvo tras su amplificación por PCR (Sánchez Márquez *et al.*, 2007). Las secuencias nucleótidas se analizaron buscando otras secuencias similares asignadas a taxones en la base de datos de secuencias del European Molecular Biology Laboratory (EMBL). Para la asignación de taxones, se aceptó el género y la especie de la base de datos cuando la similitud de secuencias fue superior al 98%. Cuando la similitud estuvo entre 95-97,9% sólo se aceptó el género. Para similitudes inferiores al 95%, los hongos se consideraron no identificados.

Finalmente, se realizaron también identificaciones de estromas de hongos aislados de ramas de hayedo. Se colocó una porción de estroma de aproximadamente 1 cm² sobre una hoja de papel de filtro húmedo en una placa Petri de nueve cm, las ascosporas disparadas por los peritecios a la tapa de la placa se transfirieron a una placa de PDA y de la germinación de éstas se obtuvieron varios cultivos, uno de los cuales fue posteriormente identificado utilizando caracteres moleculares y morfológicos (Petrini y Petrini, 1985).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Colonización endofítica. Un promedio del 36,0% de los fragmentos de cada planta de Udau estaba colonizado por endófitos, y en Bardoitza el 51,2%. La diferencia en la colonización endofítica entre las plantas de ambas localidades fue estadísticamente significativa ($F_{1,36} = 6,775$, $p = 0,013$), así como el efecto del hábitat ($F_{1,36} = 7,843$, $p = 0,008$), siendo el grado de colonización mayor en las plantas de *C. brevicollis* creciendo en el pasto (51,6%) que en el sotobosque (35,3%) en ambas localidades (fig. 1). Una mayor incidencia de endófitos en plantas de pasto puede estar relacionada con una mayor presión de pastoreo en estas zonas respecto al sotobosque. Las defoliaciones causadas por los herbívoros pueden favorecer la infección de hongos transmitidos horizontalmente, como parece ser el caso de la mayoría de los endófitos no sistémicos (Sánchez *et al.*, 2011). Es posible que la colonización endofítica en las plantas estudiadas sea mayor de lo que se ha estimado, debido a la existencia de especies de hongos no cultivables en el medio sintético utilizado.

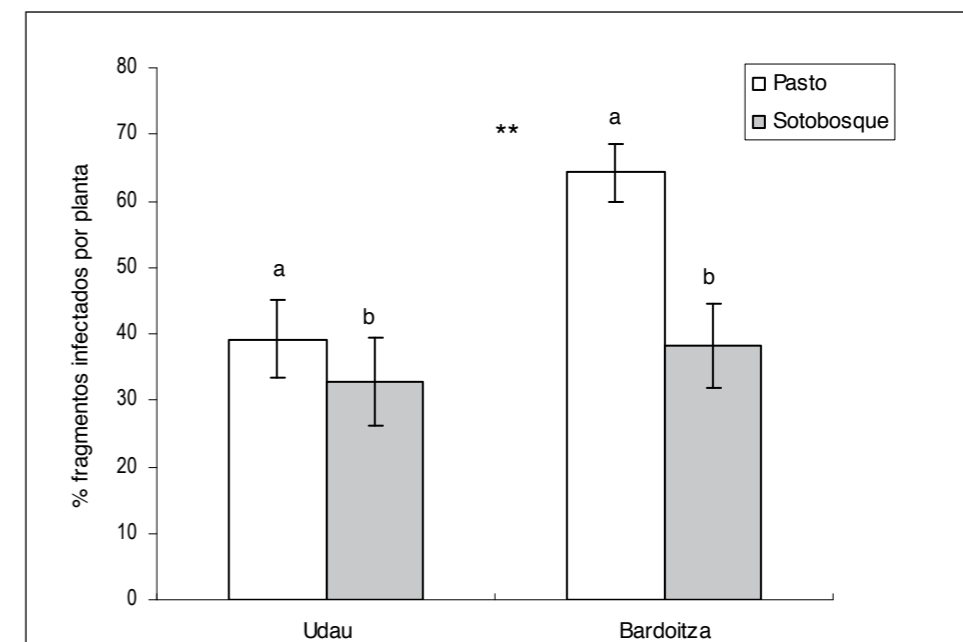


Figura 1. Colonización endofítica (media ± error estándar) en plantas de *Carex brevicollis* de pasto abierto (barras blancas) y de sotobosque de hayedo (barras grises) ($F_{1,36} = 6,775$, $p = 0,013$) en dos localidades de la sierra de Urbasa, Udau y Bardoitza ($F_{1,36} = 7,843$, $p = 0,008$). La estimación se basa en el promedio de fragmentos de hojas infectadas en cada planta.

Diversidad de especies fúngicas. A partir de las muestras de hojas de las 40 plantas analizadas se obtuvieron 347 aislados de hongos endofíticos. Estos aislados se agruparon en 104 morfotipos diferentes, 19 de estos morfotipos contenían más de un aislado y 263 aislados fueron clasificados dentro de estos morfotipos plurales. Cada uno de

los 84 morfotipos restantes estaba compuesto por un único aislado. Utilizando caracteres moleculares sólo se identificaron los morfotipos plurales. Con esta información y datos morfológicos de los cultivos que esporularon en PDA, los 19 morfotipos plurales se agruparon en 14 grupos taxonómicos (tabla 1), lo que indica que la clasificación basada en morfotipos sobreestima el número real de taxones. La mayor parte de las especies identificadas fueron ascomicetos, como es común en la micobiota endofítica de otras especies (Sánchez *et al.*, 2011).

La especie endofítica más abundante fue *Biscogniauxia nummularia*, de la que se obtuvieron 140 aislados, siendo el número de aislados obtenidos en pasto y sotobosque muy similares en cada localidad (tabla 1). *B. nummularia* es un miembro de las *Xylariaceae*, familia que incluye especies con diversos estilos de vida como saprofitos, patógenos o endófitos. Esta especie forma estromas periteciales de colores oscuros en las ramas y troncos del haya europea (*Fagus sylvatica*) y, aunque los estromas pueden aparecer en madera muerta, el hongo también es un patógeno que produce chancros en ramas y troncos de árboles en el sur de Italia e Inglaterra (Hendry *et al.*, 1998; Granatal y Sidoti, 2004).

Tabla 1. Taxones de hongos endofíticos identificados en plantas de *Carex brevicollis*. Se indica el número de aislados obtenidos y de plantas infectadas (paréntesis) en pastos (P) y sotobosques de hayedos (H) en dos localidades, Udaú (U) y Bardoitza (B). Sólo se muestran las especies endofíticas representadas por más de un aislado.

Taxón	Localidad y hábitat				TOTAL
	UP	UH	BP	BH	
<i>Biscogniauxia nummularia</i>	17(6)	17(7)	52(10)	54(9)	140
<i>Hypoxylon fragiforme</i>	1(1)	1(1)	4(4)	5(2)	11
<i>Colletotrichum sp.</i>	5(4)	2(1)	14(6)	-	21
<i>Alternaria spp.</i>	-	-	9(3)	-	9
<i>Cladosporium sp.</i>	3(2)	2(2)	1(1)	-	6
<i>Neofabraea alba</i>	2(1)	-	3(3)	-	5
<i>Penicillium sp.</i>	1(1)	1(1)	1(1)	2(2)	5
<i>Gibberella sp.</i>	1(4)	-	-	-	4
Ascomiceto sin identificar 1	11(1)	1(1)	2(2)	14(9)	28
Ascomiceto sin identificar 2	6(1)	-	-	5(1)	11
Ascomiceto sin identificar 3	1(1)	-	2(1)	-	3
Ascomiceto sin identificar 4	-	-	-	2(1)	2
Ascomiceto sin identificar 5	-	2(1)	-	-	2
Levaduras sin identificar	6(3)	7(4)	3(2)	-	16

***Biscogniauxia nummularia* en hayas.** Los resultados de este estudio nos llevaron, posteriormente, a muestrear en la misma zona de estudio, buscando árboles de haya afectados por *B. nummularia*. Únicamente se encontraron estromas oscuros en ramas muertas o debilitadas de haya, que fueron analizados por microscopía, observándose peritecios con ascoporas ovaladas de color marrón, típicas de *B. nummularia*. Los cultivos obtenidos a partir de ascoporas presentaron en PDA un color marrón claro y un aspecto muy similar a los obtenidos de *C. brevicollis*. Las secuencias nucleotídicas de la región ITS1-5.8S rRNA-ITS2 de cultivos de *C. brevicollis* y de haya fueron idénticas y con alta homología con un aislado tipo de *B. nummularia* (fig. 2). Estos resultados muestran que ambos aislados pertenecen a la misma especie y que, por tanto, las ascoporas lanzadas al exterior por los estromas de *B. nummularia* existentes en hayas podrían penetrar e infectar de manera asintomática *C. brevicollis*. Todavía desconocemos si *B. nummularia* puede producir esporas de algún tipo en plantas de *C. brevicollis*. Si así fuese, esta planta herbácea sería un reservorio de inóculo de un grave patógeno del haya.

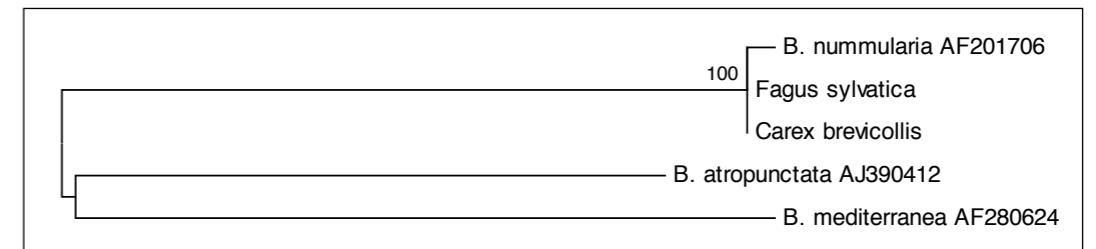


Figura 2. Filograma basado en el alineamiento de secuencias de la región ITS1-5.8S rRNA-ITS2 de aislados de *Biscogniauxia nummularia* obtenidos de muestras de *Carex brevicollis* y *Fagus sylvatica*. La secuencia AF201706 corresponde a la cepa ATCC 36666 de *B. nummularia*, obtenida de *Fagus sp.* Prueba Bootstrap con 1000 réplicas.

CONCLUSIONES

Un censo de la micobiota endofítica de hojas de *C. brevicollis* en la sierra de Urbasa ha mostrado que hay unas 75 especies distintas de hongos, principalmente ascomicetos, que infectan de manera asintomática las hojas de esta planta herbácea. La densidad de endófitos en hoja fue mayor en plantas de pasto que en plantas de sotobosque, lo que podría deberse a la mayor cantidad de daños por pastoreo en plantas de pasto, lo que facilitaría vías de entrada para el inóculo fúngico. La especie endofítica más común fue *Biscogniauxia nummularia*, presente en el 80% de las plantas analizadas. Esta especie es un patógeno del haya, cuya severidad de síntomas causados parece estar directamente relacionada con factores como la sequía y las altas temperaturas (Hendry *et al.*, 2002; Granatal y Sidoti, 2004), factores que incrementarían ante un escenario de cambio climático. Por lo tanto en este trabajo se describe un nueva especie huésped de *B. nummularia* que

resulta ser simpátrica de haya. En el caso de que el hongo pudiera esporular en *Carex*, esta planta sería un reservorio de inóculo del patógeno y podría tener un papel importante en la epidemiología de la enfermedad causada en haya por *B. nummularia*.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CLAY K. Y SCHARDL C. (2002) Evolutionary origins and ecological consequences of endophyte symbiosis with grasses. *The American Naturalist*, **160**, 99-127.
- GRANATA G.Y SIDOTI A. (2004). *Biscogniauxia nummularia*: pathogenic agent of a beech decline. *Forest Pathology*, **34**, 363-367.
- HENDRY S.J., BODDY L. Y LONSDALE D. (2002) Abiotic variables effect differential expression of latent infections in beech (*Fagus sylvatica*). *New Phytologist*, **155**, 449-460.
- HENDRY S.J., LONSDALE D. Y BODDY L. (1998) Strip-cankering of beech (*Fagus sylvatica*): pathology and distribution of symptomatic trees. *New Phytologist*, **140**, 549-565.
- KUCHT S., GROß J., HUSSEIN Y., GROTHE T., KELLER U., BASAR S., KÖNIG W., STEINER U. Y LEISTNER E. (2004) Elimination of ergoline alkaloids following treatment of *Ipomoea asarifolia* (*Convolvulaceae*) with fungicides. *Planta*, **219**, 619-625.
- LAZURJEVSKI G. Y TERENTJEVA I (1976) 1,4-substituted betacarbolines from *Carex brevicollis*. *Heterocycles*, **4**, 1783-1816
- PETRINI L.E. Y PETRINI O. (1985). Xylariaceous fungi as endophytes. *Sydowia*, **38**, 216-234.
- RUIZ DE LOS MOZOS I., OREJA A., SAN EMETERIO L., ZABALGOGÉAZCOA I. Y CANALS R.M. (2008) Troublesome plants in species-rich grasslands: can we maintain the toxic plant *Carex brevicollis* and alleviate its risk to livestock? *Grassland Science in Europe*, **13**, 66-68
- SAN EMETERIO L., RUIZ DE LOS MOZOS I., OREJA A. ZABALGOGÉAZCOA I. Y CANALS R. (2008) Origen de la toxicidad en *Carex brevicollis*, una especie frecuente en pastos montanos templados. *Pastos, clave en la gestión de los territorios: integrando disciplinas*. pp. 255-260. Córdoba.
- SÁNCHEZ S., BILLS G.F., HERRERO N. Y ZABALGOGÉAZCOA I. (2011) Non Systemic fungal endophytes of grasses. *Fungal Ecology* doi:10.1016/j.funeco.2010.12.001.(en prensa)
- SÁNCHEZ S., BILLS G. Y ZABALGOGÉAZCOA I. (2007) The endophytic mycobiota of *Dactylis glomerata*. *Fungal Diversity*, **27**, 171-195.

Respuesta del maíz (*Zea mays*) en suelos contaminados por metales pesados después de crecer una comunidad de pasto

Response of corn (*Zea mays*) to polluted soils by heavy metals after the growth of a grass community

J. PASTOR¹ / M. J. GUTIÉRREZ-GINÉS² / A. J. HERNÁNDEZ²

¹Departamento de Biología Ambiental, MNCN, CSIC. C/Serrano 115 bis. 28006 Madrid (España). jpastor@cma.csic.es

²Departamento de Ecología. Edificio de Ciencias. Universidad de Alcalá. Ctra. Madrid-Barcelona km 33,6. 28871 Alcalá de Henares, Madrid (España). mjesus.gutierrezg@uah.es; anj.hernandez@uah.es

Resumen: En la actualidad existen comunidades de pasto afectadas por un conjunto de metales pesados existentes en la capa superficial de los suelos como consecuencia de antiguas explotaciones mineras abandonadas. Algunas de ellas están siendo sustituidas por cultivos forrajeros. El estudio llevado a cabo en este trabajo trata de conocer la respuesta del maíz a este tipo de situaciones, mediante un bioensayo realizado en mesocosmos en condiciones controladas durante 3 meses, con suelos procedentes del tipo de sistemas aludidos. El maíz fue sembrado después de dos años en que se cosecharon a ras del suelo las plantas de pasto existentes en el banco de semillas de los mesocosmos utilizados. Los resultados obtenidos del análisis químico de parte aérea y radicular de plantas de maíz crecidas en un total de 30 suelos con más de un metal pesado por encima de los niveles admitidos (22 suelos ácidos y 8 básicos), y con 3 réplicas de cada uno de ellos, muestran la capacidad de extracción que el maíz tiene de los metales todavía presentes en los mismos. Se valoran los resultados como especie acumuladora de Al, Mn, Zn, As y Cd (altas concentraciones en parte aérea), por las consecuencias que tiene esta especie utilizada como forrajera si se cultiva en emplazamientos con suelos contaminados por metales.

Palabras clave: bioacumulación, fitoestabilización, salud animal.

Abstract: Nowadays some grassland communities are affected by a set of heavy metals from the topsoil layer. These are consequences of mining operations that were abandoned long time ago. Some of them are being replaced by forage crops. The study presented here attempts to know the response of corn crop to those situations, by means of a bioassay carried out for 3 months in mesocosms under controlled conditions, with soils from these mentioned type of sites. Grass from seedbank grown in mesocosms was harvested for two years before corn was sown. The results of chemical analysis of shoot and root of corn plants grown in a total of 30 soils with more than a heavy metal above accepted levels (22 acidic and 8 basic soils), and 3 replicates of each, showed the extraction capacity of this plant of metals still present in them. Results were assessed as an accumulator species of Al, Mn, Zn, As and Cd (high concentrations in shoots), due to the consequences of the use of this species as forage when is grown on sites with soils polluted by metals.

Key words: bioaccumulation, phytostabilization, animal health.

INTRODUCCIÓN

El reciente informe de la FAO 2010-11 sobre “El estado de los recursos de tierras y aguas del mundo para la alimentación y la agricultura”, alude a que una cuarta parte de las tierras del planeta presenta un elevado estado de degradación, siendo una de sus principales causas la contaminación por metales pesados procedentes de la minería. El impacto que estas actividades producen sobre ecosistemas, paisajes y poblaciones es evidente (Pastor y Hernández, 2009; Hernández y Pastor, 2011). Además, la pobreza en países en desarrollo lleva a la gente a cultivar en lugares no apropiados. Este es el caso del cultivo de maíz para alimentación humana y del ganado (Hernández

et al., 2011). Por ello, este trabajo se centra en un problema que venimos observando, también en nuestro país, en relación a la progresiva sustitución de comunidades de pasto que crecían en suelos contaminados por metales pesados, hacia cultivos forrajeros, especialmente de maíz. Saber si es adecuado su cultivo en los escenarios aludidos, nos ha llevado a diseñar un ensayo, cuyos resultados cuantitativos mostramos como objeto específico de este trabajo.

MATERIAL Y MÉTODOS

Se realizó un bioensayo en mesocosmos en condiciones controladas (15°C -25°C, 60%-70% de humedad) durante tres meses. Los suelos utilizados procedieron de las muestras medias recogidas en cada uno de los 30 lugares seleccionados de los tres emplazamientos de minas abandonadas, y después de haber cosechado dos veces durante dos años las plantas crecidas a partir del banco de semillas. El mesocosmos es una cubeta de plástico de 30 cm x 21 cm x 6 cm según se argumentó en Hernández y Pastor (2008); en cada uno se plantaron 5 plántulas de maíz comercial procedentes de semillas previamente germinadas en cámara de crecimiento. Se dispusieron tres réplicas por suelo y control (procedente de un cultivo del mismo territorio y sin importantes contenidos de metales), y se regaron con 200 ml agua desionizada cada 48 h. Los suelos son franco-arenosos y no se tamizaron para evitar perder agregados y banco de semillas. Se determinó el pH en pasta saturada, la materia orgánica por oxidación con dicromato potásico, el contenido pseudototal de metales (ICP-OES previa extracción con HNO₃ y HCl proporción 4:1) según Hernández y Pastor (1989), y total de As por fluorescencia de rayos X. Al finalizar el bioensayo, las plantas se lavaron con agua desionizada, separadamente la parte aérea de la radicular, se secaron en estufa (70°C, 48 h), y se analizaron los metales mediante ICP-OES previa digestión con HNO₃ y HCl. Se realizaron correlaciones de Pearson entre los datos con el programa SPSS 19.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 1 se muestran los resultados del análisis químico de los suelos utilizados en los mesocosmos. Al estudiar las correlaciones entre elementos en los suelos con predominio de Zn y Pb, vimos que Fe, Mn, Zn, Pb y Cd están correlacionados entre sí positivamente. En los suelos con Cu, están correlacionados entre sí positivamente Zn, Cu y Cd, éste último también con el Cr del suelo. El contenido de Mn de los suelos está correlacionado positivamente con Cd y Ni.

En un trabajo previo se mostraron los resultados obtenidos para las plantas de las comunidades de pasto que crecieron en esos mesocosmos (Hernández y Pastor, 2008). Las tablas 2 y 3 muestran los contenidos de metales de las partes aéreas y raíces de maíz en los distintos suelos en los que creció. En los suelos donde predomina Zn y Pb, el pH está correlacionado positivamente con Al, Fe, Mn, Cu y As de las raíces. Y el Mn, Zn, Pb y Cd de las partes aéreas están correlacionados positivamente con sus contenidos en

las raíces. En los suelos donde el Cu es mayoritario, el Fe, Zn, Cu, Cd y Ni de los suelos está correlacionado positivamente con los encontrados las partes aéreas. El Mn y Cd de las raíces están correlacionados positivamente con los de las partes aéreas. El Cu y Al de los suelos están correlacionados positivamente con éstos en las raíces.

Tabla 1. pH, materia orgánica (%MO), contenido de metales y As (mg/kg).

Muestra	pH	%MO	Al	Fe	Mn	Zn	Cu	Pb	Cd	Ni	Cr	As
Control	7,7	1,3	17 029	10 907	128	26	5,3	7,1	0,0	6,2	4,8	0
Suelos con predominio de Zn y Pb												
1	5,8	7,1	23 460	18 055	160	62	12	20	0,0	14	30,6	0
2	6,9	8,4	21 455	15 935	220	250	16	410	0,5	7,5	2,1	8,0
3	7,2	9,7	25 515	47 875	20375	5095	85	3855	31	36	2,0	326
4	6,9	3,2	25 870	19 205	325	667	10	993	6,1	9,7	1,2	284
5	6,4	3,2	27 115	26 198	443	2595	40	2375	11	17	1,7	213
6	6,4	1,9	18 280	50 833	800	3890	65	2528	19	22	2,2	163
7	4,8	0,7	31 925	21 833	348	2445	55	2590	8,5	15	1,5	377
8	6,8	5,0	40 033	22 123	390	2398	48	2115	9,2	15	2,1	376
9	4,9	2,1	30 700	20 783	143	2230	34	2449	8,1	7,7	1,8	178
10	7,2	5,4	35 050	19 300	465	2290	22	1635	5,3	14	1,1	220
11	5,8	4,0	34 089	18 341	293	1068	11	705	1,0	12	1,2	190
12	6,2	5,1	37 643	20 118	335	1173	23	2268	7,2	11	1,5	232
13	6,4	4,9	38 288	23 814	341	786	15	947	1,8	14	1,2	214
14	7,3	1,7	23 985	33 985	530	8550	98	2118	35	24	3,5	138
15	7,8	1,6	41 620	38 840	640	3340	94	4014	12	21	3,5	232
Suelos con predominio de Cu												
16	5,1	6,7	32 205	22 172	347	89	44	117	0,0	12	1,0	0
17	7,3	0,8	20 205	43 543	1010	156	153	74	1,0	12	1,7	130
18	7,6	0,6	23 485	45 613	1069	161	189	74	4,0	14	1,5	75
19	6,9	2,0	26 425	45 163	844	148	250	105	0,0	12	1	8
20	4,9	5,1	43 630	40 650	675	162	772	161	2,0	20	1,3	37
21	5,0	2,2	34 540	29 325	638	109	756	90	1,0	15	1,5	42
22	5,2	7,1	28 535	28 338	656	183	1195	1942	2,0	14	1,0	40
23	6,3	4,7	29 430	38 125	775	150	275	128	2,0	14	2,0	62
24	5,8	17,8	30 960	26 000	662	246	3500	181	15	14	2,0	79
25	5,5	15,6	25 570	21 625	987	478	1950	123	22	13	2,0	24
26	5,3	11,1	33 648	27 458	479	223	682	128	4,5	16	1,3	15
27	5,2	8,8	39 555	41 813	869	168	1375	161	1,0	22	1,8	52
28	5,0	25,9	33 028	29 542	537	114	688	126	0,3	16	1,5	37
Suelos con predominio de Al												
29	8,2	0,62	175 576	85 133	2788	167	188	38	46	192	194	28
30	8,3	3,8	78 161	39 427	1506	142	115	9	20	121	123	13

Se observa que, a pesar de haber crecido la comunidad vegetal en el suelo durante dos años, con la correspondiente absorción de elementos del suelo, los metales persisten en los mismos y son capaces de acumularse en el maíz, mayormente en las raíces, pero una parte importante también llega a las hojas, que son la parte principalmente

consumida por el ganado. En más del 30% de los casos analizados, Cd, As, Cu, Mn, Pb y Zn se encuentran en las hojas en cantidades superiores a los niveles de referencia para alimentos según la OMS. En el caso de los tres últimos metales, este porcentaje asciende a más del 85%. En ningún caso, la cantidad de Ni y Cr en partes aéreas excede estas referencias. Esto indica que Mn, Pb y Zn, seguidos de Cu, son los metales que pueden suponer un mayor riesgo para la salud de herbívoros que se alimenten de ese maíz forrajero.

Tabla 2. Contenidos de As y metales (mg/Kg) en la parte aérea de plantas de maíz. Valores medios (M., $n=3$) y desviación típica (d.t.).

Suelos		Al	Fe	Mn	Zn	Cu	Pb	Cd	Cr	Ni	As
Control	M	20,9	81,3	51,4	31,4	7,6	0,0	0,0	4,9	0,0	0,0
	d.t.	7,6	9,3	11,9	5,9	0,8	0,0	0,0	2,6	0,0	0,0
Suelos con predominio de Zn y Pb											
1	M	70,4	111,0	135,4	81,2	8,12	1,5	0,10	3,00	0,31	0,00
	d.t.	43,5	137,2	70,2	19,7	3,43	3,0	0,29	3,08	0,35	0,00
2	M	83,4	50,0	128,7	489,4	8,72	30,8	0,14	3,68	0,88	4,60
	d.t.	13,9	61,2	38,9	182,5	5,08	50,9	0,31	1,39	0,33	4,48
3	M	89,4	39,4	44,1	631,0	6,50	20,6	0,00	5,41	2,01	8,06
	d.t.	17,5	46,4	45,3	137,9	3,54	8,10	0,00	1,71	0,87	11,40
4	M	73,4	110,5	141,2	321,6	5,70	59,0	0,00	6,75	3,75	5,45
	d.t.	10,6	76,0	135,5	111,0	0,50	45,5	0,00	4,33	3,30	6,34
5	M	40,6	188,0	142,1	1067,2	9,28	167,7	2,26	19,23	8,36	0,00
	d.t.	19,0	79,5	112,6	897,3	4,02	86,4	1,64	11,66	5,99	0,00
6	M	175,8	235,3	25,4	306,5	9,32	31,1	1,18	14,55	2,75	1,55
	d.t.	127,4	265,4	6,7	285,8	4,19	25,6	0,87	3,24	3,24	3,10
7	M	162,2	168,1	215,8	1493,2	12,70	356,5	2,25	4,93	4,50	5,95
	d.t.	71,8	76,8	56,5	302,6	5,23	142,3	1,06	0,47	1,98	8,41
8	M	45,7	89,3	131,6	514,7	8,48	28,8	0,00	6,37	3,73	0,00
	d.t.	44,4	78,5	87,0	362,0	3,09	30,6	0,00	7,89	5,46	0,00
9	M	101,3	156,4	217,4	326,0	6,95	14,0	0,00	4,10	1,83	1,48
	d.t.	107,7	205,0	88,6	293,8	1,38	13,1	0,00	4,67	2,84	3,63
10	M	535,9	178,2	21,9	125,1	23,58	25,0	0,00	8,15	0,38	0,00
	d.t.	1100,8	349,3	12,9	77,5	26,10	32,9	0,00	14,17	0,55	0,00
11	M	145,8	318,4	296,8	386,6	11,54	24,7	0,27	16,15	3,29	8,80
	d.t.	89,1	347,4	153,1	227,7	14,83	14,0	0,72	23,14	3,98	11,27
12	M	76,6	70,7	152,8	1206,5	6,75	236,6	0,79	4,10	3,51	4,42
	d.t.	27,6	45,9	87,8	751,9	1,98	259,7	1,21	3,12	3,43	6,32
13	M	80,5	67,0	175,6	273,4	14,56	8,8	0,00	10,18	0,30	2,73
	d.t.	48,0	53,6	54,4	199,2	10,02	8,4	0,00	16,75	0,35	5,45
14	M	94,9	78,4	38,2	520,3	7,77	69,3	0,90	5,89	2,99	1,79
	d.t.	34,4	57,7	32,0	136,5	0,59	35,0	0,82	3,43	3,29	3,05
15	M	71,8	147,7	64,3	482,0	8,76	51,7	1,60	11,19	7,17	0,00
	d.t.	38,6	26,3	57,7	200,4	0,88	10,2	0,85	0,65	0,41	0,00
Valores máximos		1337	1018	318	2373	68	657	3,9	68	14	32

Suelos		Al	Fe	Mn	Zn	Cu	Pb	Cd	Cr	Ni	As
Suelos con predominio de Cu											
16	M	84,0	307,7	258,7	52,2	5,1	0,70	0,0	2,10	0,80	2,30
	d.t.	57,6	271,5	341,5	50,8	3,3	0,99	0,0	0,99	1,13	3,25
17	M	173,3	399,5	235,1	104,3	11,6	0,47	0,0	11,30	2,98	1,53
	d.t.	44,4	87,4	229,6	14,1	3,7	0,81	0,0	7,39	1,26	2,66
18	M	182,3	440,0	295,6	101,9	11,6	0,70	0,0	10,15	3,20	2,30
	d.t.	81,4	84,4	289,4	19,5	6,0	0,99	0,0	10,39	2,26	3,25
19	M	211,7	359,7	98,7	113,5	14,4	0,00	0,0	16,20	4,05	0,0
	d.t.	39,7	29,1	11,0	3,0	2,1	0,00	0,0	1,84	1,06	0,0
20	M	97,2	206,1	320,5	63,6	27,0	0,00	0,0	9,98	4,63	0,0
	d.t.	38,1	49,4	11,3	6,5	3,5	0,00	0,0	2,01	0,82	0,0
21	M	104,6	217,6	240,3	106,7	24,0	0,00	0,0	14,70	7,20	0,0
	d.t.	25,7	20,0	140,4	13,2	6,5	0,00	0,0	1,57	1,00	0,0
22	M	132,8	246,4	359,8	108,0	43,8	0,00	0,0	7,94	3,66	0,0
	d.t.	55,1	92,2	260,7	39,1	18,4	0,00	0,0	6,72	2,88	0,0
23	M	104,4	403,7	379,5	70,1	6,2	1,05	0,0	2,45	1,20	3,45
	d.t.	28,8	135,8	170,8	25,4	1,7	0,49	0,0	0,49	0,57	1,63
24	M	94,5	74,0	311,2	115,3	67,3	0,00	1,75	1,71	0,88	7,78
	d.t.	41,2	56,5	140,5	71,8	30,6	0,00	1,34	1,31	0,67	5,94
25	M	77,4	85,7	175,1	151,1	23,0	13,94	0,24	3,14	1,60	3,78
	d.t.	58,8	190,3	107,9	54,8	5,9	31,17	0,54	2,95	1,75	5,19
26	M	73,9	183,3	172,8	132,6	12,8	0,0	0,0	6,31	5,32	0,0
	d.t.	18,0	18,9	72,7	69,0	9,8	0,0	0,0	2,27	2,42	0,0
27	M	192,0	417,5	484,8	84,5	26,4	0,0	0,0	20,75	7,05	0,0
	d.t.	84,4	150,8	436,7	5,8	2,9	0,0	0,0	11,10	1,63	0,0
28	M	164,9	334,5	360,0	83,3	33,7	0,0	0,0	13,45	7,60	0,0
	d.t.	42,6	135,6	79,4	10,2	23,8	0,0	0,0	2,19	5,37	0,0
Valores máximos		252	524	895	206	108	70	2,2	29	11	10
Suelos con predominio de Al											
29	M	127,3	113,3	162,7	53,7	22,3	0,0	15,1	4,4	0,0	0,0
	d.t.	75,1	34,9	13,6	5,2	0,9	0,0	7,3	0,2	0,0	0,0
30	M	34,0	57,8	36,7	50,1	16,3	1,5	0,0	4,3	0,0	0,0
	d.t.	6,1	7,0	22,9	18,0	4,8	2,3	0,0	2,2	0,0	0,0
Valores máximos		214	152	177	66	23	4,8	24	7,3	0,0	0,0
Ref. alimentos OMS		-	-	<32,5	<45	<2,9	<1,3	<0,23	<30	<9,8	<1

Se sabe que los animales acumulan metales cuando pastan sobre suelos contaminados por los mismos (Madejón *et al.*, 2009). Aunque los animales domésticos muestran cierta tolerancia a altos niveles de Mn, Zn y Cu en forraje, un exceso de los mismos, y de otros metales no esenciales como Pb, Cd y As, pueden provocar efectos muy negativos en sus órganos y en procesos fisiológicos. Se han descrito así varios efectos (Kabata-Pendias y Mukherjee, 2007): los reflejados en el sistema nervioso, en la formación de huesos, en el sistema linfático, el aparato digestivo y capacidad de reproducción son los más frecuentes.

Tabla 3. Contenidos de As y metales (mg/Kg) en las raíces de plantas de maíz. Valores medios (M., x=3) y desviación típica (d.t.).

		Al	Fe	Mn	Zn	Cu	Pb	Cd	Cr	Ni	As
Control	M	2522,2	1862,0	85,7	124,5	14,3	0,0	0,0	7,2	0,8	0,0
	d.t.	461,6	620,1	32,7	42,0	2,3	0,0	0,0	2,3	2,2	0,0
Suelos con predominio de Zn y Pb											
1	M	4005,5	8817,7	324,7	211,6	13,6	38,7	0,0	155,1	65,7	0,0
	d.t.	1201,4	9453,9	271,1	49,2	8,7	17,4	0,0	132,6	58,2	0,0
2	M	6500,8	7157,5	418,1	973,8	19,6	214,5	1,6	175,9	84,8	0,0
	d.t.	2895,2	3107,1	263,7	224,5	8,3	65,3	0,66	129,2	60,4	0,0
3	M	725,5	924,8	44,3	982,4	6,8	182,7	3,8	28,0	12,1	0,0
	d.t.	566,6	481,0	19,6	190,8	1,9	127,2	4,0	30,8	11,7	0,0
4	M	9051,2	5428,7	343,8	1150,4	20,4	652,8	2,7	68,2	55,6	33,7
	d.t.	4868,9	1832,5	169,6	315,9	6,0	463,4	1,7	34,5	55,0	67,4
5	M	6793,7	8172,9	1093,0	4274,1	26,0	1487,6	14,6	159,3	99,2	66,9
	d.t.	111,3	3197,4	1337,1	2821,4	9,0	1161,9	7,0	151,2	74,3	94,7
6	M	12838,9	11895,3	592,9	3115,0	48,9	1232,0	15,6	98,6	78,7	169,9
	d.t.	4635,8	2912,1	48,5	714,7	12,8	105,4	4,6	4,8	29,9	6,0
7	M	17893,6	12360,8	692,3	4437,7	62,6	2592,6	22,4	80,2	67,2	137,6
	d.t.	3143,6	1271,0	66,2	2609,3	2,1	353,3	17,6	17,1	15,1	9,6
8	M	7042,3	11213,8	764,3	2389,2	33,9	1567,7	7,6	73,8	47,8	345,7
	d.t.	7029,2	5606,8	715,1	619,8	19,5	1029,2	5,9	72,3	43,2	321,4
9	M	4759,1	18890,1	2505,9	1018,0	22,8	879,3	0,0	50,3	35,3	866,4
	d.t.	4595,3	15723,6	2203,6	96,0	15,8	1022,9	0,0	17,2	26,9	793,5
10	M	2840,5	2084,3	89,6	874,6	10,4	281,8	2,5	38,1	20,6	0,0
	d.t.	1960,1	1426,6	73,7	479,2	4,4	213,4	1,4	40,1	24,9	0,0
11	M	14912,4	13735,2	1590,2	1706,1	31,4	340,4	5,8	112,1	83,3	321,1
	d.t.	11886,5	4832,9	415,9	1399,9	6,2	310,7	8,1	103,3	9,5	283,7
12	M	3763,5	14539,3	1457,0	2441,8	24,7	890,3	4,8	33,7	23,2	735,8
	d.t.	3503,0	21340,0	2093,4	1433,4	15,7	865,6	6,7	29,9	23,5	1274,4
13	M	2246,2	2361,5	536,6	1200,8	16,7	120,5	0,85	27,6	13,8	73,8
	d.t.	1039,5	1041,3	588,8	53,8	3,3	17,0	0,21	7,1	4,7	104,3
14	M	1806,8	1643,7	42,4	1329,8	15,3	411,9	24,9	11,2	4,7	0,0
	d.t.	739,0	604,2	18,3	428,5	6,4	141,1	42,0	7,5	3,3	0,0
15	M	3268,2	3114,7	147,2	1113,1	16,4	476,7	11,9	66,9	31,5	0,0
	d.t.	3256,5	3300,5	67,1	989,9	16,4	469,9	20,6	78,7	41,2	0,0
Valores máximos		20 117	30 008	4064	6283	64	3098	35	322	152	2207

		Al	Fe	Mn	Zn	Cu	Pb	Cd	Cr	Ni	As
Suelos con predominio de Cu											
16	M	2322,2	10043,9	890,0	153,1	28,0	18,9	0,0	36,2	8,3	0,0
	d.t.	2779,6	14978,2	1218,8	49,1	3,7	2,5	0,0	49,1	11,8	0,0
17	M	441,9	5498,7	325,6	578,2	402,8	4,2	11,2	1,0	3,9	610,9
	d.t.	287,9	5191,7	53,1	151,6	3,5	5,9	6,7	1,5	3,3	863,9
18	M	444,5	5233,6	256,6	521,0	788,3	9,3	19,1	0,0	3,3	336,1
	d.t.	218,9	5217,7	261,5	91,5	525,3	13,2	7,9	0,0	2,3	475,3
19	M	1360,0	8791,4	398,7	404,9	537,0	44,7	5,4	0,0	3,4	555,1
	d.t.	1316,3	3899,3	170,2	35,6	34,3	20,4	2,2	0,0	3,3	57,8
20	M	8988,8	22651,7	1636,9	247,9	663,3	27,3	1,6	80,2	23,4	154,4
	d.t.	5050,3	14874,4	687,0	70,2	131,3	11,0	1,6	43,7	9,2	149,7
21	M	5248,2	5359,8	1509,0	397,5	939,0	16,3	9,2	72,2	23,8	4,9
	d.t.	3119,3	3430,9	685,6	180,9	475,3	1,8	4,3	66,4	15,5	8,4
22	M	3343,7	9918,5	1414,7	299,9	685,3	20,1	8,8	39,9	12,9	96,7
	d.t.	2403,2	6298,6	772,2	102,5	140,4	17,9	1,4	57,7	12,9	111,4
23	M	9287,2	18392,5	642,0	368,0	456,5	35,4	19,9	173,4	53,6	306,9
	d.t.	8685,8	11679,9	247,5	15,7	64,3	11,8	4,8	178,0	50,0	73,0
24	M	3138,4	7083,3	1512,1	836,6	1678,2	29,1	25,1	86,9	24,8	67,1
	d.t.	2255,3	1687,9	432,5	498,9	647,9	8,1	7,4	63,2	12,1	42,9
25	M	2316,8	4866,4	1308,3	436,3	238,5	9,7	10,7	26,1	12,3	12,4
	d.t.	2775,2	5622,6	857,9	144,8	107,1	3,1	8,8	28,2	10,4	17,6
26	M	2531,1	3531,8	435,0	228,7	32,3	0,0	0,0	18,2	6,9	3,8
	d.t.	980,9	492,9	380,8	75,0	5,0	0,0	0,0	1,7	0,6	5,4
27	M	12642,3	32198,0	2681,9	439,2	1162,4	44,7	5,5	108,3	30,1	247,5
	d.t.	9523,0	9216,4	2456,8	140,0	416,6	32,17	7,78	104,7	13,9	18,3
28	M	8391,1	20953,9	1875,6	337,2	779,4	27,19	2,11	126,0	30,94	118,1
	d.t.	6249,3	10910,8	218,0	40,0	189,5	13,88	1,43	136,7	25,54	27,9
Valores máximos		13 783	38 715	4419	1189	2136	68	30	163	105	1222
Suelos con predominio de Al											
29	M	5461,3	3345,4	197,9	124,8	47,6	1,6	117,3	51,8	24,8	0,0
	d.t.	1597,0	879,9	54,2	6,7	5,3	2,7	19,5	9,2	4,0	0,0
30	M	4692,9	2800,3	93,0	281,2	45,2	0,0	10,2	19,7	21,2	0,0
	d.t.	832,8	455,6	8,3	261,9	6,2	0,0	1,5	1,0	2,2	0,0
Valores máximos		6868	4056	260	583	53	4,8	136	57	28	0,0

Los resultados obtenidos muestran que las hojas del maíz acumulan elevada dosis de metales cuando este cultivo crece en suelos contaminados por los mismos. Esto hace que se piense en el maíz como una planta acumuladora especialmente de Cd, As, Cu, Mn, Pb y Zn, y se hable de ella para fines de fitorremediación de suelos contaminados por dichos metales. Por otra parte, la facilidad para acumular otros elementos en las raíces (especialmente Al, Zn, Pb y As en suelos ácidos y Cd en los básicos), hace que el maíz sea también candidata a la fitoestabilización de los mismos. Aunque esta faceta remediadora del maíz está siendo ampliamente estudiada (Luo *et al.*, 2005; Hernández-Allica *et al.*,

2008; Fässler *et al.*, 2010), no podemos llevar a cabo dichas acciones sin asegurarnos que el maíz no va a ser utilizado como forraje, sino únicamente con fines remediadores.

CONCLUSIONES

Las hojas del maíz son susceptibles de acumular una gran cantidad de metales pesados cuando el cultivo crece en suelos con un “cóctel” de los mismos. Las características del suelo, como el pH, así como la cantidad de metales en los mismos, determinan la capacidad de bioacumulación del maíz, de manera que, en general, retiene mayor cantidad de metales si es cultivado en suelos en los que su concentración es más elevada. Aunque esta concentración es mayor en las raíces, su alta presencia en las hojas resulta preocupante, ya que puede afectar negativamente a la salud del ganado cuando son suministradas en su dieta.

AGRADECIMIENTOS

Al Proyecto CTM 2008-04827/TECNO del Ministerio de Ciencia e Innovación y al Programa P2009/AMB-1478^a (EIADES, de la CM).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- FÄSSLER E., ROBINSON B.H., STAUFFER W., GUPTA S.K., PAPRITZ A. Y SCHULIN R. (2010) Phytomanagement of metal-contaminated agricultural land using sunflower, maize and tobacco. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, **136**, 49-58.
- HERNÁNDEZ A.J. Y PASTOR J. (1989) Técnicas analíticas para el estudio de las interacciones suelo-planta. *Henares. Revista de Geología*, **3**, 67-102.
- HERNÁNDEZ A. J. Y PASTOR J. (2008) Relationship between plant biodiversity and heavy metal bioavailability in grasslands overlying an abandoned mine. *Environmental Geochemistry and Health*, **30**, 127-133.
- HERNÁNDEZ A.J. Y PASTOR J. (2011) *El impacto ambiental de la minería y de los residuos urbanos e industriales. Sensibilización Científica y Desafíos para la ciudadanía dominicana*. Santo Domingo, República Dominicana: Centro Cultural Poveda.
- HERNÁNDEZ A.J., BONILLA S. Y PASTOR J. (2011) *Manejo de recursos naturales y desarrollo local en una reserva de la biosfera. Resultados de la investigación ecosocial en Pedernales – República Dominicana*. Santo Domingo, República Dominicana: Centro Cultural Poveda.
- HERNÁNDEZ-ALLICA J., BECERRIL J.M. Y GARBISU C. (2008) Assessment of the phytoextraction potential of high biomass crop plants. *Environmental Pollution*, **152**, 32-40.
- KABATA-PENDIAS A. Y MUKHERJEE A.B. (2007) *Trace Elements from Soil to Human*. Berlin and Heidelberg, Alemania: Springer-Verlag.
- LUO C., SHEN Z. Y LI X. (2005) Enhanced phytoextraction of Cu, Pb, Zn and Cd with EDTA and EDDS. *Chemosphere*, **59**, 1-11.
- MADEJÓN P., DOMÍNGUEZ M. Y MURILLO J.M. (2009) Evaluation of pastures for horses grazing on soils polluted by trace elements. *Ecotoxicology*, **18**, 417-428.
- PASTOR J. Y HERNÁNDEZ A.J. (2009) La restauración en sistemas con suelos degradados: estudios de casos en vertederos, escombreras y emplazamientos de minas abandonadas. En: Millán R. y Lobo C. (eds) *Contaminación de Suelos: Tecnologías para su recuperación*, pp. 539-560. Madrid, España: CIEMAT.

Cambios mediados por abandono de pastoreo e incremento de temperatura en pastos mediterráneos oligotrofos del Parque Natural de Doñana

Changes in oligotrophic mediterranean grassland induced by abandonment and warming in Doñana National Park

B. OJEDA DOMÍNGUEZ / M.J. LEIVA MORALES

Departamento de Biología Vegetal y Ecología. Facultad de Biología. Universidad de Sevilla. Avenida Reina Mercedes s/n. 41012 Sevilla (España) benjaminestudy@hotmail.com

Resumen: Se han estudiado los cambios en el pasto (riqueza específica, diversidad, producción, importancia de grupos funcionales) y en el establecimiento de leñosas mediados por cese de aporte de estiércol e incremento de temperatura, en el Parque Natural de Doñana. El estiércol espontáneamente producido se redistribuyó en parcelas (dosis: 0 y 3 200 g MS de estiércol vacuno/m²). La temperatura se incrementó (0,8 °C) mediante cámaras-invernadero. El establecimiento del matorral (*Cistus salvifolius*), se estudió aportando semillas en subparcelas (10 000 semillas/m²). La riqueza específica y diversidad del pasto no se afectaron significativamente por los tratamientos. La biomasa (72 g/m²-234 g/m²) se incrementó por aumento de temperatura (P=0,006) y estiércol (P=0,002). Distintos grupos funcionales de herbáceas exhibieron diferentes respuestas: las gramíneas se incrementaron sólo por temperatura (P=0,003), las leguminosas se incrementaron sólo por estiércol (P=0,02). La densidad de plántulas de matorral (70 plántulas/m²-1 053 plántulas/m²) solo aumentó en el tratamiento con alta temperatura y sin estiércol ($\chi^2=10,45$; P=0,015). Se sugiere que los pastos oligotróficos Mediterráneos tras abandono del pastoreo podrían experimentar tasas de cambio mayores de las actuales en el marco del calentamiento global.

Palabras clave: Estiércol vacuno, diversidad vegetal, calentamiento global, *Cistus salvifolius*, grupos funcionales.

Abstract: Changes in grasslands (species richness, diversity, productivity and contribution of different plant functional groups) and shrubs establishment induced by removal of cattle manure and temperature increases have been studied in Doñana National Park. Manure spontaneously produced in field was redistributed in experimental plots (0 and 3 200 g MS cattle manure/m²). Air temperature was increased (0.8 °C) by establishing open-top chambers. Shrub (*Cistus salvifolius*) establishment was studied by providing seeds in sub plots (10 000 seeds/m²). Species richness and diversity were not significantly affected by treatments. Grassland biomass (72 g/m²-234 g/m²) increased by increasing temperature (P=0.006) and manure addition (P=0.002). Different plant functional groups exhibited different responses: Grasses increased by temperature (P=0.003) but not by manure, Legumes only increased by manure (P=0.02). Shrub seedlings density only increased significantly ($\chi^2=10.45$, P=0.15) under high temperature without manure. Results suggest that oligotrophic Mediterranean grassland after grazing abandonment and global warming could experience higher rate of changes than currently observed.

Key words: Cattle manure, plant diversity, global warming, *Cistus salvifolius*, functional group.

INTRODUCCIÓN

En los últimos 20 años se ha producido en toda Europa un notable abandono de la ganadería extensiva con gran reducción de la superficie dedicada a pastos permanentes y seminaturales (Rounsevell *et al.*, 2006). Las principales causas están relacionadas con distintos factores que afectan a los ganaderos como una excesiva dependencia de las primas, la falta de relevo generacional y el proceso de despoblación de las áreas marginales y concentración en zonas más favorables (Bernués *et al.*, 2011).

Este hecho hace reconsiderar las políticas llevadas a cabo en la actualidad, teniendo en cuenta los beneficios económicos, sociales, culturales y ecológicos que aporta el uso del suelo para el pastoreo extensivo. A nivel mundial soporta tan sólo al 3% de la población pero mantiene al 35% de las ovejas, 23% de las cabras, y 16% de las vacas (Robin *et al.*, 2008). Desde el punto de vista ecológico esta forma de ganadería ofrece grandes beneficios como la contribución al secuestro de carbono, la regulación del ciclo de los nutrientes y balance hídrico, la mejora de la calidad del suelo y estabilidad estructural y sobre todo, tiene un gran valor en el mantenimiento de la biodiversidad (Janzen, 2011).

Los cambios en biodiversidad del pasto tras el abandono de la herbivoría han sido bastante estudiados en pastizales Mediterráneos. Lo mismo se puede decir de los cambios inducidos por la adición de estiércol (Traba *et al.*, 2003). Menos estudios abordan experimentalmente el proceso de establecimiento del matorral tras abandono y cambios en la calidad del pasto en el marco del calentamiento global. Así, teniendo en cuenta las predicciones del cambio climático con modificaciones en la temperatura y en la frecuencia de la precipitación que presumiblemente se intensificarán en un futuro cercano (Anon, 2007), acometimos este estudio con el objetivo de detectar variaciones en la diversidad, en la biomasa y en la colonización del pasto por matorral, debidas a un incremento de temperatura y al cese del aporte de estiércol.

MATERIAL Y MÉTODOS

Área de estudio

El trabajo de campo tuvo lugar en una finca privada: “Dehesa de Gato”, situada en el Parque Natural de Doñana, en el término municipal de Villamanrique de la Condesa, Sevilla (37° 14' 46" N, 6° 37' 7" W, 39 m s.n.m.). El clima es Mediterráneo, con precipitación media anual de 542 mm y temperatura media de 16,8°C. La finca se dedica a la ganadería extensiva, la producción de madera y la conservación de fauna (es zona de reproducción del lince ibérico, *Lynx pardinus*). Presenta zonas adhesionadas de encina - alcornoque (*Quercus ilex* - *Quercus suber*) o pino (*Pinus pinea*) con sotobosque de pastos anuales oligotrofos. También existen pinares de repoblación con abundantes matorrales en el sotobosque: varias especies del género *Cistus* (sobre todo *Cistus salvifolius*), *Rosmarinus officinalis*, *Myrtus communis* y otras. En concreto el estudio se ha realizado en la dehesa de pinos, en la cual se da el pastoreo de vacas (retintas x limousine: 110 hembras adultas) y de cabras (payoya: 300 hembras adultas) en 350 ha aproximadamente.

Diseño experimental

Para aumentar la temperatura ambiente se siguió el método descrito por Kuder-natsch *et al.* (2008). A finales de septiembre de 2009 se instalaron 20 cámaras-invernadero (tratamiento “Inv”) con forma de pirámide cuadrangular (1,20 m x 1,20 m de base y 0,60 m de alto), truncada y abierta por arriba (0,50 m x 0,50 m de apertura) con

paredes de plástico para invernadero, TGK EVA PLUS (UV+IR), de 200 µm y 90% de transmisión de luz global. Fuera de cada cámara se delimitó una parcela adyacente de iguales dimensiones (tratamiento “F”). Todos los pares fueron distribuidos al azar, en un área cerrada de 1 ha. En las mismas parcelas se aplicó un tratamiento adicional de aporte o no de estiércol: 3200 g MS de estiércol vacuno/m² recogido a final del verano en el área de estudio (tratamiento “con”), no aporte de estiércol ni existencia de trazas de heces espontáneamente producidas (tratamiento “sin”). Ambos factores (temperatura ambiente x cantidad de estiércol) se combinaron factorialmente. Tanto en las cámaras-invernadero como fuera se incorporaron data logger (HOBO H8 Pro Series) para registrar la temperatura y la humedad relativa del aire.

La instalación de *Cistus salvifolius* se estudió en de las mismas parcelas anteriores, utilizando subparcelas circulares de 28,5 cm² en las que se añadieron 2,5 g de semillas de la especie (unas 10 000 semillas/m²) recogidas en la explotación. El estudio se inició en octubre de 2009.

Medidas y variables analizadas

A mediados de noviembre se cuantificó la instalación otoñal de plántulas herbáceas (medidas de densidad) en subparcelas de 20 cm x 20 cm. El incipiente desarrollo de las plántulas en este momento, dificultó su discriminación a nivel de especie, haciéndolo a nivel de familia siempre que fue posible. En primavera, a mediados de mayo, se midió la frecuencia específica en líneas de 112 cm de longitud, situadas en el centro de las parcelas, mediante el método de la intercepción puntual. Con los datos de frecuencia se calculó la riqueza de especies (la determinación de las especies se realizó siguiendo a Valdés *et al.*, 1987) y la diversidad (índice de Shannon-Weaver: $H' = -\sum p_i \log_2 p_i$) del pasto. Finalmente, a finales de mayo, se cuantificó la densidad de plántulas de *Cistus salvifolius* en las subparcelas sembradas, se cosechó la biomasa del pasto de toda la parcela, separando por grupos funcionales (Gramíneas, Leguminosas, Otras), y se secó en estufa (80°C) hasta peso constante.

Las variables discretas (densidad de plántulas de pasto y de *Cistus*, y riqueza de especies de pasto) se han analizado mediante el test de Kruskal-Wallis para detectar diferencias entre tratamientos (Invcon, Invsin, Fcon, Fsin) y el test de Duncan, con los datos ordenados por rango, para comparaciones a posteriori. Los datos de biomasa y el índice de diversidad, se han analizado utilizando modelos generales lineales (GLM, SPSS 17.0) previa comprobación de normalidad e igualdad de varianzas. El tratamiento sobre la temperatura ambiente y la cantidad de estiércol aportado, han sido incluidos como efectos fijos en el modelo, incluyéndose también la interacción entre ambos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La temperatura media del aire se consiguió aumentar unos 0,8°C en las cámaras-invernadero respecto al exterior y la humedad relativa del aire un 5%. La densidad

inicial de plántulas del pasto en otoño, sólo mostró diferencias significativas entre los tratamientos en el caso de las Geraniáceas (tabla1).

Tabla 1. Densidad media de plántulas herbáceas (individuos/m²) instaladas en otoño y comparación entre tratamientos.

Tratamiento	Gramíneas	Mon (No Gram)	Geraniáceas	Leguminosas	Labiadas	Plantagináceas	Otras Dic
Invcon	10,5	0,8	0a	0	0,4	0,2	1,2
Invsin	5,8	0,2	0a	0,2	0,4	1	4,6
Fcon	11,7	1,6	1b	0,2	1,2	0	2,8
Fsin	7,3	1	1,6b	0,6	1	0	2,2
P	0,202	0,347	0,005	0,492	0,365	0,244	0,443

P: nivel de significación. Letras distintas indican tratamientos homogéneos para $\alpha = 0,05$

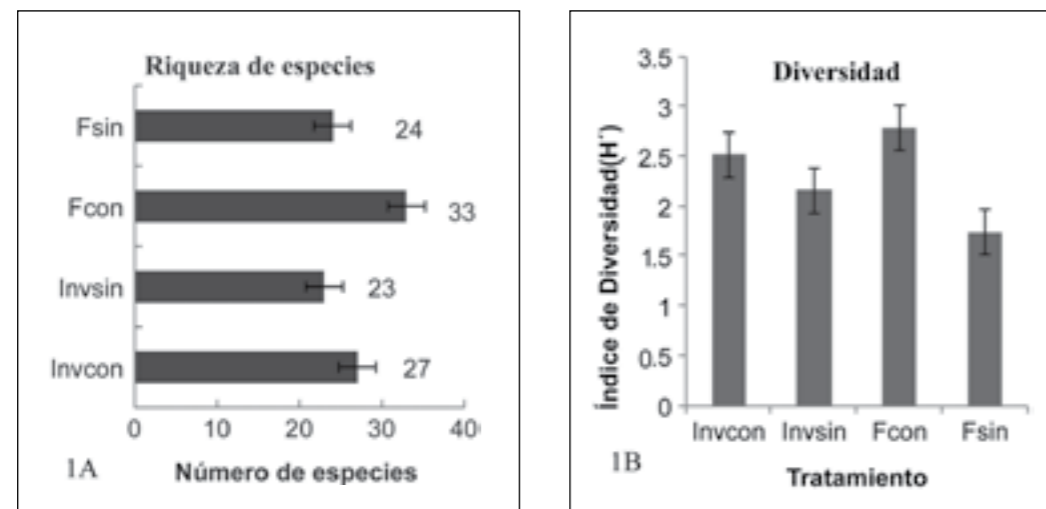


Figura 1. Riqueza de especies y diversidad por tratamiento de las especies de pasto en primavera (valores medios \pm errores estándar).

La riqueza de especies (fig. 1A) no varió significativamente entre tratamientos, aunque los valores más elevados se encontraron en el tratamiento de fuera con estiércol, "Fcon" (33 especies). El índice de diversidad fue más alto en los tratamientos con estiércol ("Invcon" y "Fcon") (fig. 1B). No obstante, no hubo diferencias significativas entre los tratamientos.

La biomasa total (fig. 2A) cambió significativamente entre tratamientos ($F=7,53$; $P=0,001$ modelo general) con un notable efecto tanto de la cantidad de estiércol ($F=11,71$; $P=0,002$) como de la temperatura ($F=9,11$; $P=0,006$), pero sin interacción entre ambos factores. Es de destacar que la biomasa total fue casi el doble en el tratamiento "Invcon" que en los restantes. Distintos grupos funcionales de herbáceas (fig. 2B) también se vieron significativamente afectados por los tratamientos ($F=4,72$;

$P=0,01$ y $F=11,02$; $P=0,003$ modelo general para las biomásas de gramíneas y de leguminosas respectivamente). Sin embargo, ambos grupos exhibieron distinta respuesta a cada factor. La biomasa de gramíneas cambió significativamente por la temperatura ($F=11,02$; $P=0,003$), aumentando su valor dentro de las cámaras-invernadero, pero no se vio afectada por la cantidad de estiércol ni fue significativa la interacción entre ambos factores. La biomasa de leguminosas cambió significativamente por el aporte de estiércol ($F=13,45$, $P=0,001$) que produjo un aumento moderado de biomasa, pero no por la temperatura, ni fue significativa la interacción entre factores. En el grupo de "otras" no se encontraron diferencias significativas en ningún caso.

Los resultados anteriores indican que la falta de aporte de estiércol no solo reduce la biomasa total del pasto, sino que afecta particularmente a la biomasa de leguminosas, lo que sugiere que el abandono del pastoreo tendría repercusiones en el contenido proteico de este recurso para la alimentación del ganado y herbívoros silvestres (Peláez *et al.*, 2011). Además, aumentos potenciales de la temperatura ambiente en ausencia de estiércol ("Invsin") podrían redundar en un aumento de la biomasa de gramíneas sin un aumento proporcional de leguminosas.

Finalmente, la densidad de plántulas de *Cistus salvifolius* se vio significativamente afectada por los tratamientos aplicados ($\chi^2=10,45$; $P=0,015$), siendo el tratamiento "Invsin", con más del doble de plántulas que los demás (fig. 3), el responsable de estas diferencias. Esto podría estar relacionado con la mayor germinación que experimentan habitualmente las cistáceas por aumento de la temperatura (Trabaud y Oustrich, 1989), lo que unido a un moderado desarrollo del pasto al no aportarse estiércol ("Invsin", figura 2A), permitiría un buen establecimiento de estas leñosas. Este efecto no es patente en el tratamiento "Invcon", en que el pasto experimenta un notable crecimiento, sobre todo de gramíneas (fig. 2B), un grupo muy competitivo en general (Grime, 2002), que evitarían por competencia el establecimiento de las plántulas de *Cistus salvifolius*.

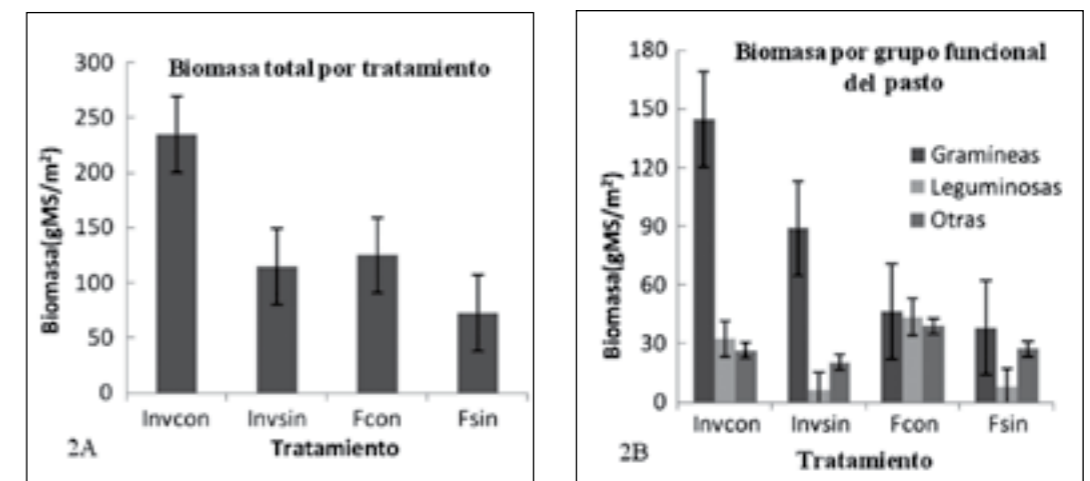


Figura 2. Biomasa total y biomasa por grupo funcional del pasto en cada tratamiento en primavera (valores medios \pm errores estándar)

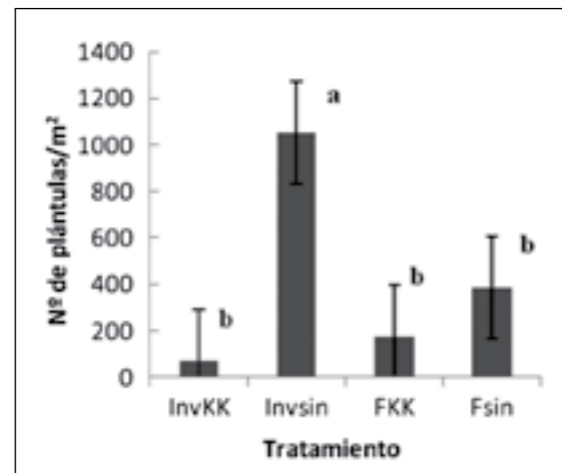


Figura 3. Densidad de plántulas de *Cistus salvifolius* (valores medios \pm errores estándar). Letras idénticas indican tratamientos homogéneos para $\alpha = 0,05$.

CONCLUSIONES

El efecto combinado del aporte de estiércol y subida de la temperatura produjo los mayores efectos en la biomasa total del pasto. La disponibilidad de estiércol afectó preferentemente a la biomasa de leguminosas, y los cambios de temperatura a la biomasa de gramíneas. En condiciones de falta de estiércol y elevada temperatura aumentó notablemente el establecimiento de plántulas de *Cistus*. Se sugiere que la falta de estercolado por abandono del pastoreo podría dar lugar a cambios importantes en las características del pasto para la alimentación de herbívoros, y a tasas más elevadas de establecimiento de algunas especies de matorral como las cistáceas, si ello va unido a un aumento de la temperatura.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio ha sido financiado por la Consejería de Medio Ambiente (Junta de Andalucía) (2007/665). Agradecemos la importante colaboración de Ángel Martín y Juan Manuel Mancilla en distintas fases del estudio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANON (2007). Observed changes in climate and their effects. En: Pachauri R.K. Y Reisinger A. (eds.) *IPCC, climate change 2007: synthesis report, contribution of working groups I, II and III to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*, pp. 104-104. Ginebra, Suiza. IPCC.
- BERNUÉS A., RUIZ R., OLAIZOLA A., VILLALBA D. Y CASASÚS I. (2011). Sustainability of pasture-based livestock farming systems in the European Mediterranean context: Synergies and trade-offs. *Livestock Science*, **139** (1), 44-57.

- GRIME J.P. (2002). *Plant strategies, Vegetation processes and Ecosystem properties*. Baffins Lane Chichester, Inglaterra: Wiley.
- JANZEN H.H. (2011). What place for livestock on a re-greening earth? *Animal Feed Science and Technology*, **166-167**(1), 783-796.
- KUDERNATSCH T., FISCHER A., BERNHARDT-RÖMERMANN M. Y ABS C. (2008). Short-term effects of temperature enhancement on growth and reproduction of alpine grassland species. *Basic and Applied Ecology*, **9** (1), 263-274.
- OLEA L., PAREDES J. Y VERDASCO P. (1989). Características productivas de los pastos de la dehesa del SO de la Península Ibérica. En: *Pastos, forrajes y producción animal en condiciones extensivas. II Reunión Ibérica de Pastos y Forrajes. XXIX Reunión Científica de la SEEP*, pp 141-171. Badajoz, España: Pastos.
- PELÁEZ R., ANDRÉS S., VALDÉS C., GARCÍA R. Y CALLEJA A., 2011. Valor alimenticio de especies productivas en prados de montaña. En: C. LÓPEZ-CARRASCO *et al.* (Eds.) *Pastos, paisajes culturales entre tradición y nuevos paradigmas del siglo XXI*. pp 325-330. Toledo, España: Sociedad Española para el Estudio de los Pastos.
- ROBIN S. R., KATHLEEN A.G. Y RUSSELL S. K. (2008). Global significance of extensive grazing lands and pastoral societies: an introduction. En: Galvin K. A. *et al.* (eds.), *Fragmentation in Semi-Arid and Arid Landscapes: Consequences for Human and Natural Systems*, pp. 1-24. Dordrecht, Holanda: Springer.
- ROUNSEVELL M.D.A., REGINSTER I., ARAÚJO M.B., CARTER T.R., DENDONCKER N., EWERT F., HOUSE J.I., KANKAANPÄÄ S., LEEMANS R., METZGER M.J., SCHMIT C., SMITH P. Y TUCK G. (2006). A coherent set of future land use change scenarios for Europe. *Agriculture Ecosystems and Environment*, **114**(1), 57-68.
- TRABA J., LEVASSOR C. Y PECO B. (2003) Restoration of Species Richness in Abandoned Mediterranean Grasslands: Seeds in Cattle Dung. *Restoration Ecology* **3**(11), 378-384.
- TRABAUD L. Y OUSTRIC J. (1989). Heat requirements for seed germination of 3 *Cistus* species in the garrigue of southern France. *Flora* **183** (1), 321-325
- VALDÉS C.B., TALAVERA L. S. Y FERNÁNDEZ-GALIANO F. E. (1987). *Flora vascular de Andalucía Occidental*. Barcelona, España: Ketres.

Efectos de una quema prescrita sobre el suelo y la vegetación de un pasto altimontano del Pirineo navarro

Effects of prescribed burnings on grassland vegetation and soils of the Pyrenees of Navarra

L. SAN EMETERIO / E. RUPÉREZ / J.M. SENOSIAIN / J. PEDRO / R.M. CANALS

Dpto. Producción Agraria. Universidad Pública de Navarra. Campus Arrosadía s/n 31006 Pamplona (España)
leticia.sanemeterio@unavarra.es, rmcanals@unavarra.es

Resumen: Las quemas prescritas son una herramienta que tradicionalmente se ha utilizado en el Pirineo occidental para controlar la biomasa herbácea y arbustiva y mejorar la calidad de los pastos. Sin embargo, las consecuencias de las quemas a medio y largo plazo sobre el medio natural se desconocen y la eficacia real de esa labor de mejora está en entredicho. En Navarra, el uso de quemas prescritas se controla y regula según su peligrosidad, a falta de otros criterios que ayuden a los gestores a decidir sobre su conveniencia. El objetivo de este trabajo es evaluar los efectos de una quema prescrita sobre la vegetación (composición florística y producción) y el suelo (características físico-químicas, microbiota y ciclo de nutrientes). Para ello se realizaron quemas en tres parcelas y muestreos a los cuatro días, a los tres meses y a los seis meses. Las quemas no afectaron ni las características físico-químicas del suelo, ni el tamaño de las poblaciones microbianas ni su actividad enzimática. Sin embargo se observó un profundo cambio florístico al desaparecer después de la quema la leguminosa dominante (*Trifolium repens*). La ausencia de esta especie fijadora de nitrógeno (N) podría tener efectos en el ciclo del N a más largo plazo.

Palabras clave: actividad enzimática, biomasa microbiana, ciclo del nitrógeno.

Abstract: Prescribed burnings are frequently used in western Pyrenees to control shrub encroachment and remove herbaceous, non-grazed necromass. However, the environmental consequences and the efficiency of this practice are poorly known. In Navarra, prescribed burnings are regulated depending on its riskiness, lacking other useful criteria that help environmental agents to decide on its convenience. Our aim is to evaluate the effect of a prescribed burning on the vegetation (floristic composition and productivity) and the soil (physical and chemical characteristics, microbial biomass and enzyme activity) of a montane seminatural grassland. We burned three plots and sampled at 4th day, and 3 and 6 months after burning. Prescribed burning did not significantly affect soil characteristics, neither microbial biomass, nor enzymatic activity. However, floristic composition changed after burning, *Trifolium repens*, the most abundant leguminous species, disappeared after burning. The absence of this N-fixing species could affect the N cycle in the long term.

Key words: soil enzyme activity, microbial biomass, N cycle.

INTRODUCCIÓN

En la cultura pirenaica, existe una importante costumbre del uso del fuego como herramienta para controlar el matorral y el exceso de biomasa no pastada en áreas de pasto seminatural. Esta práctica está plenamente arraigada y vigente en el Pirineo occidental, donde las quemas controladas a un lado y otro de la frontera son muy frecuentes durante la época invernal (Ferrer y Canals, 2008). La disminución de los censos de ganado extensivo en los valles pirenaicos, la falta de pastores y el cambio en el manejo del ganado, están ocasionando una disminución de las cargas ganaderas en los pastos de altura y un aprovechamiento muy irregular de estas superficies, coexistiendo procesos localizados de sobrepastoreo con extensos fenómenos de acumulación de biomasa y matorralización (Lasanta *et al.*, 2000).

Aunque, en Navarra, la Ley Foral 3/2007 de 21 de febrero, prohíbe el uso del fuego en montes y terrenos forestales, su artículo 40.3 permite su utilización excepcional como herramienta de gestión forestal. Desde entonces, distintas Ordenes Forales han regulado anualmente el régimen de concesión de autorizaciones para el uso del fuego en el tratamiento de los pastos naturales y realización de trabajos selvícolas. Dicha regulación, basada en la peligrosidad, busca la disminución del riesgo de incendios forestales y aunque considera las condiciones climáticas, la época del año y la distancia a núcleos urbanos y áreas protegidas, no contempla las posibles consecuencias negativas que puede tener la realización de quemaduras prescritas sobre el medio natural, en concreto, en la composición florística de la vegetación, en la fauna, y en el suelo.

El objetivo de este trabajo es evaluar los efectos a corto plazo de una quema prescrita sobre la vegetación y el suelo. En concreto, pretendemos evaluar los efectos sobre 1) la composición florística y la producción de biomasa aérea, y 2) las propiedades físico-químicas del suelo y la actividad de la microbiota edáfica relacionada con el ciclo de los principales nutrientes.

MATERIAL Y MÉTODOS

El área de estudio se localiza en el término de Azalegi, perteneciente al Valle de Aezkoa, en el Pirineo navarro con una precipitación anual de 1856 mm y una temperatura media de 9,3 °C. En abril de 2011, en un área homogénea situada a 1000 m snm, se cercó una superficie de 20 x 20 m y se dividió en 16 parcelas de 5 x 5m. Se realizó un muestreo florístico en 8 parcelas elegidas sistemáticamente mediante transectos lineales de 7 m localizados en la diagonal de cada parcela. Se anotaron las especies presentes cada 20 cm, lo que supone 35 contactos por parcela y 280 contactos en total. El 17 de abril, fecha tardía pero dentro de los límites permitidos por la Orden Foral 491/2010 que regula las autorizaciones, se simuló una quema prescrita mediante soplete de tres parcelas. El soplete tenía 15 cm de diámetro y se colocó a una distancia de 20 cm. A los cuatro días de la quema, se realizó un muestreo de suelo en las tres parcelas quemadas y en tres parcelas no quemadas (control). En cada parcela se recogieron cuatro muestras de suelo a dos profundidades distintas (0-10 cm y 10-20 cm), lo que supuso un total de 48 muestras. El 27 de julio, a los tres meses de la quema, se repitieron en las mismas parcelas (control y quemadas) los muestreos edáficos siguiendo los protocolos anteriores. Además se estimó la biomasa segando a ras de suelo dos cuadrados de 20 x 20 cm por parcela, tras lo cual fue secado en estufa a 60 ° durante 48 h y pesado. Pasados seis meses, el 9 de noviembre, se repitieron los muestreos edáficos en superficie.

Las características físico-químicas del suelo se analizaron en el laboratorio agrario Nasertic s.a. para las dos profundidades muestreadas. La determinación del N mineral, el C y N en la biomasa microbiana y las actividades enzimáticas de la microbiota edáfica se analizaron en las muestras más superficiales (0-10 cm) en el laboratorio de la UPNA. Para determinar el contenido de N mineral se obtuvo un extracto en KCl 2M y se analizaron los contenidos en nitrato y amonio mediante un autoanalyzer Braun+Luebbe.

Para estimar el C y N de la biomasa microbiana se siguió el protocolo de la fumigación con cloroformo y extracción directa (Brookes *et al.*, 1985). Finalmente, se cuantificaron las actividades de la glucosidasa, la fosfatasa ácida (Taylor *et al.*, 2002) y la ureasa (Kandeler y Gerber, 1988) en muestras de suelo homogeneizadas y tamizadas a 2 mm.

El análisis estadístico se llevó a cabo con los valores medios de cada parcela, mediante un modelo lineal general de medidas repetidas con el programa PASW statistics 18. Los datos que no se ajustaron a una distribución normal se transformaron logarímicamente.

RESULTADOS

Antes de la quema la comunidad herbácea estaba dominada por *Festuca rubra* (30% de frecuencia), *Trifolium repens* (20 %) y, en menor medida, *Brachypodium pinnatum* (casi un 10%). Al mes de la quema la vegetación ya había verdeado y a los tres meses de la quema, la composición florística había cambiado profundamente ya que *T. repens* había prácticamente desaparecido (< 5%), mientras *F. rubra* y *B. pinnatum* aumentaban ligeramente su frecuencia (fig. 1a). La biomasa fue significativamente menor en las parcelas quemadas (fig. 1b).

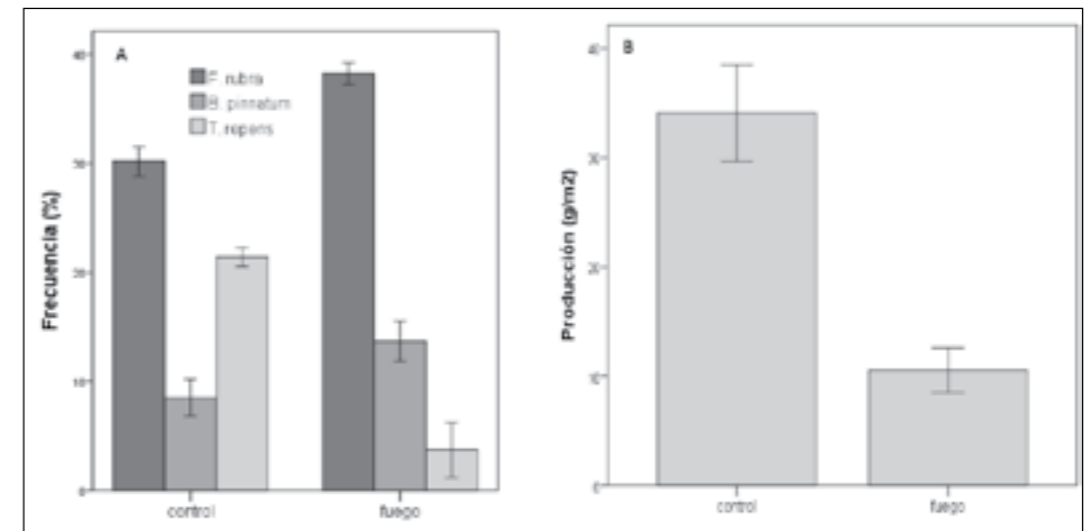


Figura 1. Frecuencia de las especies más dominantes y producción de las parcelas quemadas y no quemadas a los 3 meses de la quema. Barras de error representan un error típico.

Respecto a los suelos, la quema controlada no afectó significativamente sus características físico-químicas, aunque se observaron diferencias significativas entre profundidades. A mayor profundidad aumentó la acidez ($F=6,942$, $p=0,021$), y disminuyeron el Ca, Mg y K de cambio ($F=17,395$; $p=0,014$; $F=10,670$; $p=0,031$; $F=27,413$; $p=0,006$, respectivamente) y la materia orgánica oxidable ($F=40,961$; $p=0,003$). En cuanto al contenido de amonio en suelo en los 10 primeros centímetros, se obser-

vó una interacción significativa entre la fecha de muestreo y el efecto de la quema ($F=7,112$; $p = 0,021$). El amonio en las parcelas control permaneció estable, pero en las parcelas quemadas aumentó significativamente a los cuatro días de la quema (fig. 2). La quema no afectó la biomasa microbiana (fig. 3) y la actividad enzimática del suelo (fig. 4), aunque se observó una variación estacional de la actividad de la glucosidasa ($F= 8,930$; $p= 0,017$), que aumentó en julio con respecto a abril. Los cambios estacionales podrían estar relacionados con la precipitación. En épocas de mayor precipitación se ha observado una mayor actividad de la glucosidasa (Criquet *et al.*, 2002), y julio fue un mes mucho más lluvioso que abril (114 vs. 18,7 l/m² registrados en los quince días anteriores a los muestreos en una estación meteorológica cercana).

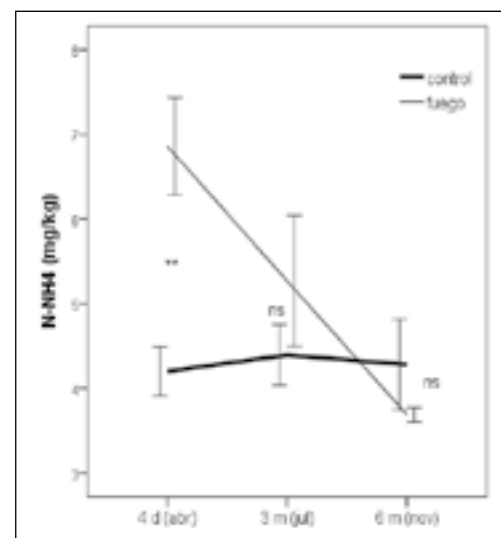


Figura 2. Evolución en el tiempo del contenido de nitrógeno amoniacal en los primeros 10 cm de suelos de parcelas quemadas y no quemadas. ** $p > 0,01$, ns diferencias no significativas. Barras de error representan un error típico.

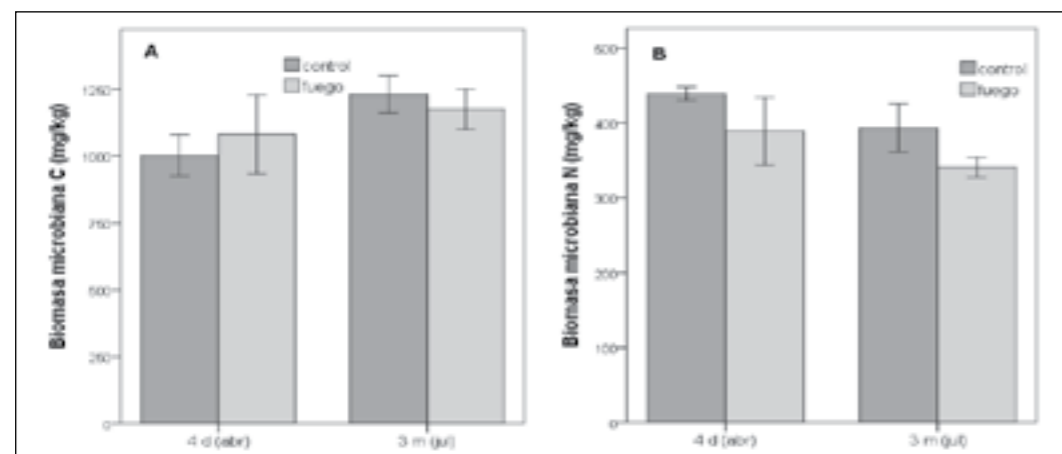


Figura 3. Biomasa microbiana en los primeros 10 cm de suelo de parcelas quemadas y no quemadas a los 4 días y a los tres meses después de la quema. A) mg de C/kg, B) mg de N/kg. Barras de error representan un error típico.

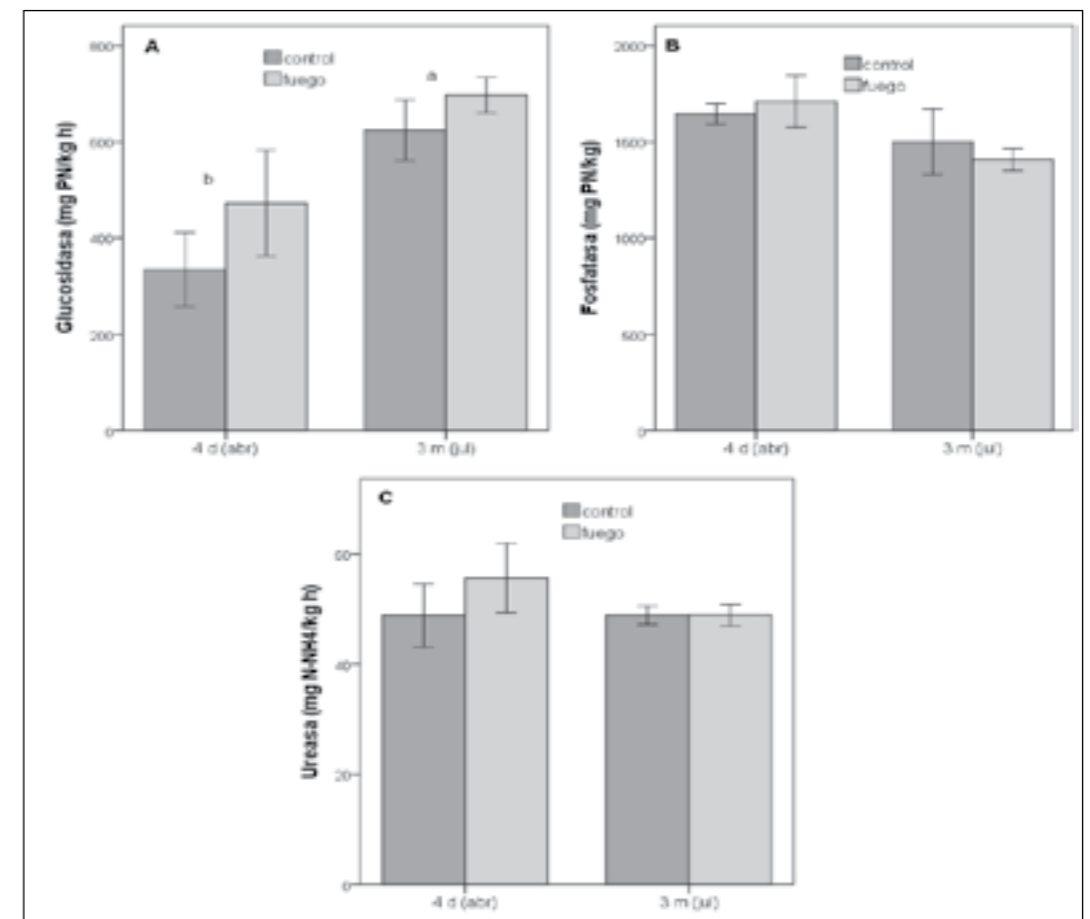


Figura 4. Actividad enzimática en los primeros 10 cm de suelo en parcelas quemadas y no quemadas a los 4 días y a los 3 meses de la quema. PN paranitrofenol. Letras distintas significan medias diferentes $p < 0,05$. Barras de error representan el error típico.

DISCUSIÓN

La quema prescrita de este ensayo, realizada al inicio del periodo vegetativo, en un suelo húmedo y con escaso desarrollo de la vegetación, no produjo a corto plazo efectos negativos en las características físico-químicas del suelo, ni tampoco en el tamaño y la actividad de las poblaciones microbianas edáficas (figs. 3 y 4). Sin embargo los cambios en la composición florística fueron relevantes, observándose el declive de una de las especies dominantes, *T. repens* (fig. 1), clave por tratarse de una leguminosa fijadora de N atmosférico. Esta especie posee estolones muy superficiales que pueden verse seriamente afectados por esta quema superficial. La ausencia de esta leguminosa fijadora de N atmosférico puede provocar una disminución de la entrada de N al ecosistema. A medio-largo plazo, el N disponible en el suelo de las parcelas quemadas podría disminuir si *T. repens* no se recupera. En nuestro ensayo, aunque el contenido de amonio en suelo aumentó inmediatamente después de la quema debido a la aceleración de la mineralización de la biomasa vegetal quemada, posteriormente disminuyó progresiva-

mente hasta el último muestreo realizado a los 6 meses (fig. 2). Si esta tónica continúa, podría a largo plazo, disminuir por debajo de los niveles de las parcelas control. Una menor disponibilidad de N debido a la ausencia de la leguminosa podría explicar, entre otros factores, la menor producción en las parcelas quemadas, a pesar de la pronta recuperación de la cobertura tras la quema. En pastos subalpinos del Pirineo francés se ha comprobado la existencia de transferencias directas de N entre *Trifolium alpinum* y *Festuca eskia* (Marty *et al.*, 2009). En nuestro caso, aunque desconocemos la dinámica de intercambio de N entre *T. repens* y las dos gramíneas más abundantes (*F. rubra* y *B. pinnatum*), la ausencia prolongada de la leguminosa podría afectar el desarrollo de estas especies dominantes y por lo tanto de toda la comunidad vegetal.

CONCLUSIONES

A corto plazo, y bajo las condiciones de nuestro ensayo, la quema prescrita a la salida del invierno no produjo efectos negativos en el suelo ni en la microbiota edáfica. Sin embargo, provocó un cambio florístico al disminuir notablemente la frecuencia de la leguminosa dominante, lo que podría provocar cambios a largo plazo en el ciclo del N, y por lo tanto en el desarrollo de la comunidad herbácea, si esta especie no se recupera.

AGRADECIMIENTOS

Estudio financiado con el proyecto del Plan Nacional de I+D+i CGL 2010-21963 y con el proyecto FLUXPYR EFA34/08 del Programa de Cooperación Territorial España-Francia-Andorra.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BROOKES P. C. LANDMAN A. PRUDEN G. Y JENKINSON D. S. (1985) Chloroform Fumigation and the Release of Soil-Nitrogen - a Rapid Direct Extraction Method to Measure Microbial Biomass Nitrogen in Soil. *Soil Biology & Biochemistry*, **17**(6), 837-842.
- CRIQUET S. TAGGER S. VOGT G. Y LE PETIT J. (2002) Endoglucanase and beta-glycosidase activities in an evergreen oak litter: annual variation and regulating factors. *Soil Biology & Biochemistry*, **34**(8), 1111-1120.
- FERRER V. Y CANALS R. M. (2008) *Proyecto de Ordenación de los Recursos Pascícolas Forestales del Monte Aezkoa nº1 del C.U.P.* Documento inédito.
- KANDELER E.Y GERBER H. (1988) Short-Term Assay of Soil Urease Activity Using Colorimetric Determination of Ammonium. *Biology and Fertility of Soils*, **6**(1), 68-72.
- LASANTA T. VICENTE S. M. Y CUADRAT J. M. (2000) Marginación productiva y recuperación de la cubierta vegetal en el Pirineo: un caso de estudio en el valle de Borau. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, **29**, 5-28.
- MARTY C. PORNON A. ESCARAVAGE N. WINTERTON P. Y LAMAZE T. (2009) Complex Interactions between a Legume and Two Grasses in a Subalpine Meadow. *American Journal of Botany*, **96**(10), 1814-1820.
- TAYLOR J. P. WILSON B. MILLS M. S. Y BURNS R. G. (2002) Comparison of microbial numbers and enzymatic activities in surface soils and subsoils using various techniques. *Soil Biology & Biochemistry*, **34**(3), 387-401.

¿Cómo influye la fertilidad del suelo sobre la diversidad funcional edáfica y florística a escala de prado?

How does soil fertility influence soil functional diversity and plant diversity within a meadow?

I. MIJANGOS AMEZAGA* / I. ALBIZU BEITIA / S. MENDARTE AZKUE / J.A. GONZÁLEZ-OREJA / J. ZAPATERO MARTITEGUI / C. GARBISU CRESPO

Departamento de Ecología y Recursos Naturales. Neiker-Instituto Vasco de I+D Agrario. c/ Berreaga, 1. 48160 Derio (Bizkaia) imjangos@neiker.net

Resumen: En la actualidad, se exige que el manejo de las áreas pascícolas de fondo de valle compatibilice altas producciones con la conservación de la biodiversidad. En relación a dicha biodiversidad, su componente edáfico ha sido tradicionalmente menos considerado en comparación con su componente florístico. Sin embargo, esto está cambiando a medida que se reconoce el papel fundamental de la biota del suelo (especialmente la micro-biota) en el correcto funcionamiento y la sostenibilidad de los agroecosistemas. Con el objetivo de conocer cómo influye la fertilidad del suelo sobre la diversidad edáfica (microbiana) y aérea (florística), se realizaron muestreos consecutivos en un prado de siega de la Reserva de la Biosfera de Urdaibai (Bizkaia). En 36 unidades muestrales equidistantes (muestreo sistemático, en malla), se cuantificó la diversidad florística y la diversidad funcional de las comunidades bacterianas y fúngicas edáficas, según su capacidad para degradar diferentes sustratos en placas Eco-Plates[®] y FF-Plates[®] de Biolog, respectivamente. A escala de prado, los suelos más fértiles albergaron una mayor abundancia microbiana y produjeron más biomasa vegetal, aún en detrimento de la diversidad florística. La diversidad microbiana, por su parte, se mostró determinada por la textura del suelo, mostrando una correlación negativa con su contenido en limo.

Palabras clave: comunidades microbianas, textura, botánica, productividad.

Abstract: It is currently expected that management practices in bottom valley grasslands, which are primarily oriented towards obtaining high pasture yields, are also compatible with biodiversity conservation. When compared with the above-ground (plant) biodiversity, the below-ground component of this biodiversity has traditionally been understudied. Nonetheless, this situation is beginning to change, as the fundamental role of the soil biota (and, especially, of soil micro-biota) in the proper functioning and sustainability of agroecosystems is being increasingly acknowledged. In order to know how soil fertility influences both below-ground microbial biodiversity and above-ground plant diversity, we sampled both components of biodiversity in a meadow for hay of the Urdaibai Reserve of the Biosphere (Bizkaia). In a total of 36 regularly spaced sampling sites, we measured plant diversity (composition and relative abundance). In a parallel fashion, we also determined the functional diversity of bacterial and fungal soil communities (considering their ability to degrade a number of organic substrates in Biolog Eco-Plates^R and FF-Plates^R, respectively). At the study (local) scale, most fertile soils exhibited higher microbial abundance but lower plant diversity. On the other hand, microbial diversity seemed to be more related to soil texture, since it exhibited a negative correlation with soil loam content.

Key words: microbial communities, texture, botany, productivity.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, tanto el sector agrícola como el ganadero están sufriendo importantes modificaciones debido a los nuevos requerimientos económicos, sociales y también ecológicos. En los prados de fondo de valle de la Cornisa Cantábrica, se demanda un aumento de la cantidad y calidad del forraje producido por unidad de superficie para reducir la dependencia de las explotaciones frente a insumos externos. Al mismo tiempo, cada vez se valora más el servicio que nos ofrecen dichos agroecosistemas en cuanto a la conservación de la biodiversidad, tanto aérea (superficial-vegetal) como subterránea (subterránea-microbiota edáfica).

En relación a la biodiversidad edáfica, su importancia en la integridad, el funcionamiento y la sostenibilidad de los ecosistemas terrestres está siendo cada vez más reconocida. Actualmente se sabe que los microorganismos del suelo son los responsables del 80-90% de su actividad biológica (Reichle, 1977), siendo responsables de procesos tan importantes como la descomposición y reciclaje de nutrientes, fijación de nitrógeno, mantenimiento de la estructura, detoxificación de contaminantes, etc. En relación a los pastos, la actividad microbiana influye en su productividad, ya que son la base de la cadena detritívora y por tanto creadores de la principal fuente de nutrientes para las plantas (Bardgett *et al.*, 1997). Sin embargo, mientras que nuestro conocimiento sobre los procesos llevados a cabo por la biota del suelo ha aumentado de forma progresiva en las últimas décadas, el estudio de la diversidad funcional y taxonómica de microorganismos edáficos todavía está en sus inicios.

Las técnicas de análisis de ácidos nucleicos extraídos del suelo han supuesto un avance considerable en el conocimiento de la diversidad taxonómica de las comunidades microbianas del suelo, pero presentan todavía limitaciones derivadas de la dificultad para separar y secuenciar el elevadísimo número de especies que conforman la microbiota del suelo. Ante este problema, existe la posibilidad de abordar la componente funcional (frente a la taxonómica) de la biodiversidad de las comunidades microbianas del suelo, por ejemplo a través del análisis de sus perfiles de utilización de diferentes sustratos.

El objetivo fundamental de este estudio fue profundizar en el conocimiento de la biodiversidad funcional del suelo (a través del análisis de los perfiles metabólicos de hongos y bacterias) y su relación con la biodiversidad superficial (diversidad florística) y la producción vegetal.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para analizar en detalle los vínculos entre los componentes subterráneos (microbiota) y aéreos (vegetación) se realizaron muestreos sistemáticos en un prado de siega de la Reserva de la Biosfera de Urdaibai (Bizkaia). Las unidades muestrales consistieron en cuadrados de 50 x 50 cm distribuidos regularmente (en forma de malla 6 x 6; n=36) dentro del prado, a una distancia de 3,6 m entre sí.

En cada uno de esos cuadrados 50 x 50 cm se cuantificaron *in situ* la diversidad florística (composición y estima de coberturas) y la producción vegetal (corte manual y pesaje de la biomasa aérea) en los meses de abril, julio y octubre de 2011. Asimismo, coincidiendo con el muestreo de abril, se tomaron muestras de suelo (0-10 cm) dentro de dichos cuadrados. Las muestras de suelo se analizaron posteriormente en el laboratorio para establecer los perfiles metabólicos de las comunidades edáficas bacterianas y fúngicas, a partir del desarrollo de color mostrado por la batería de sustratos presentes en las placas de Biolog Eco-PlatesR y FF-PlatesR, respectivamente (Biolog Inc., USA). En función de su capacidad para utilizar diferentes sustratos de C, calculamos el potencial catabólico global (AWCD = desarrollo promedio de color), así como los índices de diversidad de Shanon (H') y Simpson (1-Dominancia) de las comunidades bacterianas (B) y fúngicas

(F) presentes en el suelo (Crecchio *et al.*, 2004). También se analizaron las siguientes propiedades químicas del suelo (MAPA, 1994): textura, Capacidad de Intercambio Catiónico efectiva (CIC), pH, materia orgánica, N total, P Olsen, K, Ca y Mg extraíbles.

Las relaciones entre parámetros edáficos y vegetales se evaluaron mediante análisis de correlaciones y de componentes principales realizados con los paquetes estadísticos Statview y Canoco 4.5 para Windows, respectivamente.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La figura 1 muestra un análisis de componentes principales que engloba los parámetros analizados en el prado objeto de estudio, tanto los edáficos como los vegetales.

El primer componente (CP1) explica el 25,4% de la varianza y muestra la correlación negativa existente entre la diversidad florística y la producción de biomasa vegetal, a escala de prado. De hecho, las medidas de producción de pasto realizadas consecutivamente (datos de biomasa de abril y julio) mostraron siempre correlaciones negativas significativas ($p < 0,05$) con los índices de diversidad florística obtenidos (riqueza específica (S) e índice de diversidad de Simpson (1-D)). Esto se debió principalmente al dominio de raigrás inglés en las parcelas más productivas, cuyo rápido desarrollo limitó el crecimiento de otras especies. Como era de esperar, la producción de pasto se correlacionó positivamente con el contenido en nutrientes minerales como el N, K y Ca. Sin embargo, no fue así en el caso del P. Resulta interesante la correlación positiva observada entre la biomasa microbiana del suelo presente en abril y la producción de biomasa vegetal a partir de ese momento hasta julio, lo cual parece indicar que la biomasa microbiana podría ser un buen indicador del potencial de producción vegetal de un suelo, tal y como se ha hecho tradicionalmente con las medidas de nutrientes minerales. No obstante, se estima necesario realizar más estudios con el objetivo de contrastar esta hipótesis.

Por el contrario, las diferentes medidas realizadas en las placas Biolog^R parecieron mostrar que no existía una relación significativa de la diversidad catabólica-funcional de las comunidades bacterianas (B) y fúngicas (F) presentes en el suelo, según los valores obtenidos de número de sustratos utilizados en las placas Biolog (S), índice de diversidad de Simpson (1-D) y potencial catabólico global (AWCD) con la diversidad florística ni con la biomasa (vegetal o microbiana), a escala de prado. Esto no era lo esperado, ya que se esperaba que una mayor diversidad botánica proporcionase una mayor variedad de exudados y nichos ecológicos asociados a las raíces, y con ello una mayor diversidad microbiana (Attard *et al.*, 2008). Podría explicarse por el hecho de que se están comparando diferentes componentes de la diversidad (taxonómica sobre el suelo vs. funcional bajo el suelo), o incluso porque la biodiversidad botánica y microbiana podrían distribuirse conforme a diferentes escalas espaciales y/o temporales. Sin embargo, la diversidad microbiana (tanto de bacterias como de hongos) se correlacionó negativamente con el contenido en limo del suelo, atendiendo a su distribución a lo largo del componente principal 2 (15,1 % de la varianza). Esto podría deberse al tamaño de las partículas limo-

sas, que tienden a ocupar el espacio de los poros del suelo que contienen el aire y agua necesarios para los microorganismos aeróbicos. Resulta interesante el hecho de que la fracción bacteriana se muestra correlacionada positivamente con el porcentaje de arcilla, mientras que la diversidad fúngica lo hace con el porcentaje de arena. De nuevo, esto podría estar ligado al tamaño de los poros del suelo, ya que las bacterias (de menor tamaño y movilidad) pueden aprovechar los microporos presentes en las arcillas mientras que los hongos verían favorecido el desarrollo de sus hifas en suelos más ligeros. Otros autores han constatado que el aumento de la acidez y de la materia orgánica no lábil en el suelo supone generalmente una ventaja a los hongos frente a las bacterias (Wardle, 2002), pero dichos factores no mostraron ser determinantes en este caso.

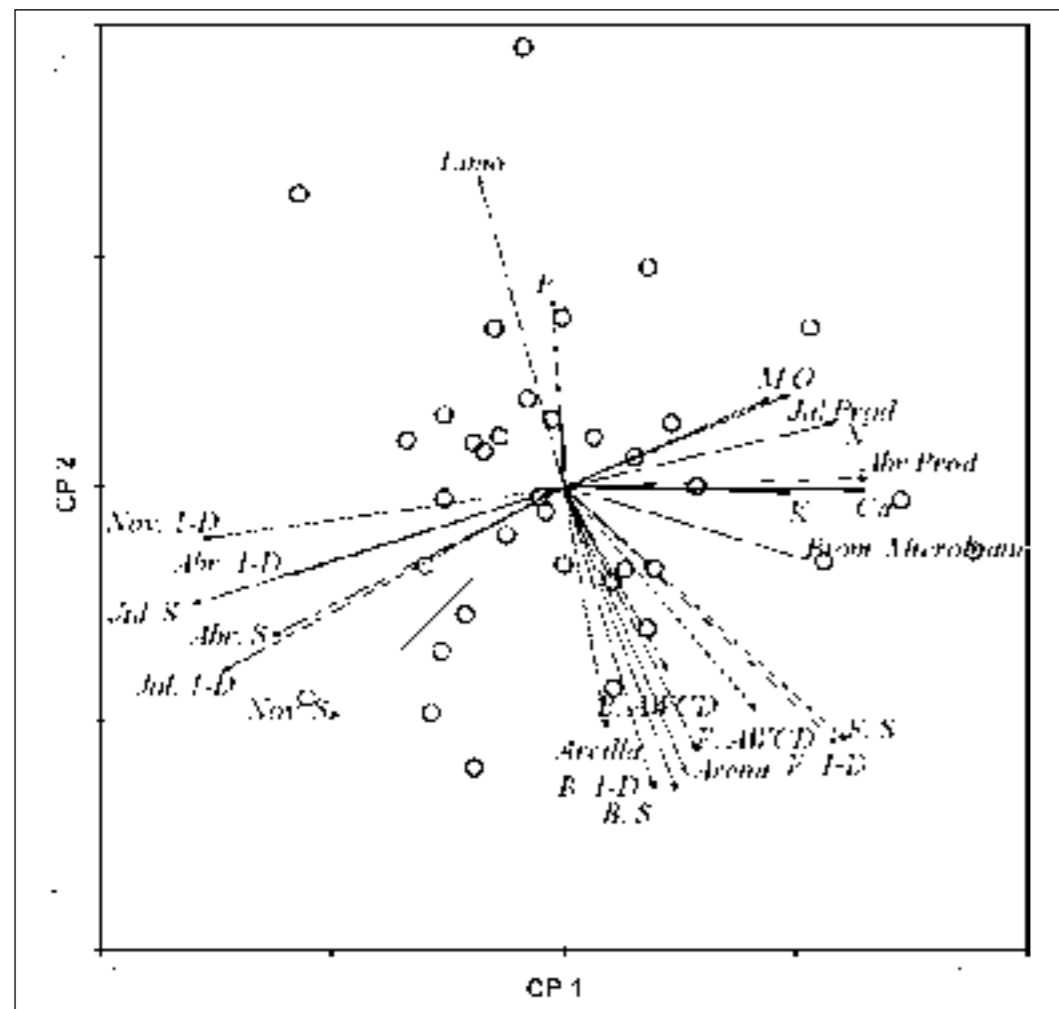


Figura 1. Análisis de Componentes Principales incorporando los parámetros edáficos y vegetales que explican >5% de la varianza. B./F. AWCD: potencial catabólico global bacteriano/fúngico; B./F. 1-D: índice de diversidad de Simpson bacteriano/fúngico; B./F. S: número de sustratos degradados por bacterias/hongos; Abr./Jul./Nov. S: riqueza específica vegetal en cada muestreo; Abr./Jul./Nov. 1-D: índice de diversidad vegetal de Simpson en cada muestreo; Abr./Jul. Prod.: producción de biomasa en cada muestreo.

CONCLUSIONES

A nivel agronómico, la producción vegetal se mostró correlacionada positivamente con la disponibilidad de nutrientes minerales (a excepción del P) y la biomasa microbiana. Esta última podría tener potencial como indicador biológico edáfico del potencial productivo aéreo.

A nivel de diversidad, el aumento en la productividad de las parcelas fue en detrimento de su diversidad florística, debido a la dominancia de especies de desarrollo rápido. A escala de prado, dicha diversidad no se mostró correlacionada significativamente con la diversidad microbiana edáfica, la cual se vio afectada negativamente por el contenido en limo del suelo.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Ministerio de Ciencia e Innovación la financiación del proyecto CGL2008-05579-C02-02, a partir del cual se obtuvieron los resultados presentados en este trabajo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ATTARD E., DEGRANGE V., KLUMPP K., RICHAUME A., SOUSSANA J.F. Y LE ROUX X. (2008) How do grassland management history and bacterial micro-localisation affect the response of bacterial community structure to changes in aboveground grazing regime? *Soil Biology and Biochemistry*, **40**, 1244-1252.
- BARDGETT R.D., LEEMANS D.K., COOK R. Y HOBBS P.J. (1997) Seasonality of the soil biota of grazed and ungrazed hill grasslands. *Soil Biology and Biochemistry*, **29**, 1285-1294.
- CRECCHIO C., GELSOMINO A., AMBROSOLI R., MINATI J.L. Y RUGGIERO P. (2004) Functional and molecular responses of soil microbial communities under differing soil management practices. *Soil biology and Biochemistry*, **36**, 1873-1883.
- MAPA (1994) *Métodos Oficiales de Análisis III*. Madrid, España: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.
- REICHLER D.E. (1977) The role of soil invertebrates in nutrient cycling. En: Lohm U. y Persson T. (eds) *Soil Organisms as Components of Ecosystems*, pp. 145-156. Estocolmo, Suecia: Ecological Bulletin.
- WARDLE D.A. (2002) *Communities and Ecosystems. Linking the Aboveground and Belowground Components*. Princeton, USA: Princeton University Press.

Estudio de la mejora de fertilidad de suelos cultivados con maíz forrajero al aplicarse biosólidos mediante la valoración de artrópodos edáficos

Study of soil improver action with application of biosolids to forage corn crops by assessing soil arthropods

L. FLORES-PARDAVÉ¹ / A. J. HERNÁNDEZ²

¹ Departamento de Biología, Universidad Aguascalientes, México;

² Departamento de Ecología, Edificio de Ciencias, Universidad de Alcalá, Ctra. Madrid-Barcelona km 33,6, 28871 Alcalá de Henares, Madrid (España).

Resumen: Cada vez es más frecuente la aplicación de biosólidos (lodos residuales obtenidos en plantas depuradoras de aguas fecales) para aumentar la productividad de cultivos forrajeros sobre suelos degradados. Se evalúan este tipo de acción mejorante esencialmente por la adición de materia orgánica a suelos muy empobrecidos de la misma. Sin embargo, son más desconocidas las valoraciones de los artrópodos edáficos que se vinculan con la mineralización de la misma. Este último aspecto ha constituido el objetivo del trabajo que presentamos. Se evalúan distintas dosis de aplicación de biosólidos en parcelas con cultivo de maíz forrajero (200, 300 y 400 t/ha), analizando la riqueza, abundancia y diversidad de los artrópodos edáficos. La diversidad de morfoespecies disminuye aunque la abundancia de algunos microartrópodos es mayor a medida que aumenta la dosis aplicada. Así, los colémbolos se revelan como el grupo funcional más importante de este agroecosistema, presentando correlaciones positivas significativas con el N y el P del suelo, siempre que la dosis aplicada de biosólidos no sea muy alta. En caso de superar las 300 t/ha, la densidad de estas poblaciones disminuye mucho, pudiendo afectar la mineralización deseada.

Palabras clave: mineralización M.O., fauna edáfica, colémbolos, biodiversidad.

Abstract: The application of biosolids (sludge obtained in sewage treatment plants) is increasingly frequent, to improve the productivity of forage crops on degraded soils. These improver actions are evaluated primarily by addition of organic matter to soils depleted of it. However, the valuation of soil arthropods that are associated with the mineralization of organic matter is more unknown. This last aspect has been the aim of this work we present. Different biosolid application rates on plots with forage maize (200, 300 and 400 T / ha) were evaluated, through the analysis of the richness, abundance and diversity of soil arthropods. Morphospecies diversity decreases, although the abundance of some microarthropods is greater with increasing the applied dose. Thus, springtails are revealed as the most important functional group of these agro-ecosystems and show significant positive correlations with the N and P of soil, provided that the application of biosolids does not exceed 300 t / ha.

Key words: organic matter mineralization, soil fauna, springtails, biodiversity.

INTRODUCCIÓN

El incremento de conocimientos sobre los problemas de la degradación del suelo está contribuyendo a tener que intensificar la investigación sobre la fauna edáfica como una prioridad para la evaluación de la calidad o de la salud de un suelo (Parisi *et al.*, 2005). Se reconoce que la mesofauna constituye un componente clave en la biota edáfica, si bien la información de carácter más ecológico es aun muy escasa y está referida a algunos grupos presentes en ambientes no perturbados. Con este trabajo nos proponemos aproximarnos al conocimiento de estos organismos en sistemas edáficos a los que se enriquecen con materia orgánica por aplicación de lodos residuales y

donde se cultiva maíz para forraje. Nuestra principal hipótesis de trabajo ha consistido en observar si al aumentar la dosis de aplicación de biosólidos, aumenta o disminuye la fauna de artrópodos en los mismos, así como identificar aquellos grupos que puedan estar más implicados en la mineralización de la materia orgánica adicionada.

MATERIAL Y MÉTODOS

Área de estudio

Se ha realizado un ensayo en campo en tres cultivos forrajeros (cultivo monófito de maíz) representativos del altiplano mexicano (1.833 m de altitud), sometidos a prácticas habituales en este territorio con clima semiseco semicálido (T^a media anual de 17,4°C y precipitación media de 526 mm, si bien fue de 359 mm en el año del ensayo), donde el maíz se siembra solamente en la época de lluvias. Las tres fincas experimentales se sitúan próximas entre sí en la provincia de Aguascalientes (México); tienen suelos de bajo espesor, de tipo xerosol háplico. La vegetación natural alrededor de las mismas corresponde a especies de matorral desértico y de pasto arbustivo: mezquites (*Prosopis laevigata*), huizaches (*Acacia farnesiana*), y varios arbustos típicos de matorral semidesértico destacando los nopales (*Opuntia spp.*) y la palma (*Yucca filifera*).

Diseño experimental y muestreos

Se establecieron dos parcelas de 3000 m² en cada uno de los tres cultivos, una con la adicción de biosólidos y otra control. Las dosis de aplicación fueron de 200, 300 y 400 t/ha en cada una de las fincas respectivamente y la composición de los biosólidos es muy semejante a la descrita en Flores-Pardavé *et al.* (2008): pH de 6,26, con un porcentaje de M.O. del 38,5 y con los niveles de Cr, Cd, Fe, Ni, Pb y Zn aceptables según la normativa mexicana (Sermanat, 2002). Los biosólidos, con un contenido de humedad del 80%, se incorporan al suelo 4 semanas antes de que comiencen las lluvias. En cada una de estas parcelas se acordonaron 6 unidades de 20 m², a tres de ellas se les retira siempre la vegetación adventicia mediante herbicida y a las otras tres se les permitió que crecieran. No se utilizaron insecticidas en ninguna de ellas. En cada una de estas unidades se establecieron 3 puntos de muestreo al azar (uno para junio, julio y agosto), por ser la época de lluvias la más favorable (humedad ambiental y edáfica), a la densidad de las poblaciones de artrópodos edáficos (Flores-Pardavé *et al.*, 2008). Se colocaron en cada muestreo durante una semana 9 trampas *pit fall* / parcela, que contenían alcohol al 50% (actuando como atrayente, como sustancia mortífera y como líquido conservante). Los artrópodos recolectados fueron colocados en frascos con alcohol al 70% para una mejor conservación y trasladados al laboratorio según el procedimiento descrito por Bater (1996). Se realizaron tres muestreos.

Fueron recogidas también muestras de suelo en cada una de las parcelas (resultado de 15 submuestras de 200 g tomadas al azar en los 5 primeros cm del suelo, que es el

nivel donde se encuentra la mayor densidad de la fauna edáfica), mediante una sonda y se analizaron según Hernández y Pastor (1989), mientras que para los biosólidos se utilizó la normativa mexicana vigente (Semarnat, 2002).

Análisis numéricos

Los ejemplares de artrópodos obtenidos en cada una de las muestras fueron identificados a nivel de grupo taxonómico de orden y se procedió al recuento de todos los ejemplares correspondientes a los mismos. La riqueza (nº total), abundancia (densidad de población) y diversidad (índice de Shannon H') de artrópodos, se ha estimado por recuento directo de cada una de las morfoespecies (incluyendo larvas diferentes y no solo ejemplares adultos); para los cálculos se han utilizado valores logarítmicos de la densidad poblacional, y se ha seguido el paquete estadístico incluido en Brower *et al.* (1997). Para conocer si el número de morfoespecies y el índice H' en las condiciones del ensayo se mostraban significativas, se realizan los distintos análisis de la varianza de una sola vía. Para estimar la productividad en cada agroecosistema se cortó el maíz al final del ensayo (3 meses después de sembrado) a ras de suelo en un m² y se obtuvo el peso seco en kg/m².

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se muestra en la tabla 1 los resultados globales en relación a la comunidad de artrópodos en el suelo con la aplicación de dosis creciente de biosólidos. Los colémbolos fueron los artrópodos edáficos con mayor abundancia, con y sin adición de lodos (tabla 2). Representaron el 83% en el caso de adicción de 200 t/ha durante dos años consecutivos (Flores-Pardavé *et al.*, 2008), si bien la densidad de sus poblaciones disminuye a partir de la aplicación de 300 t/ha (Flores-Pardavé *et al.*, 2011). Existen pocas morfoespecies con dosis altas de lodo, pero esas tienen abundancias muy altas; con lo cual, a pesar de que la riqueza de artrópodos en estos sistemas pueda ser alta, la abundancia de algunas morfoespecies es baja. Nuestros resultados están de acuerdo con los expresados por Parisi *et al.* (2005). Los microartrópodos, en especial colémbolos y ácaros, son los más abundantes, según se viene reconociendo desde el trabajo de Petersen y Luxton (1982) para los hábitats tropicales terrestres.

Tabla 1. Riqueza, abundancia y diversidad de la comunidad de artrópodos edáficos en cultivos de maíz sin biosólidos (0) y adicionados con 200, 300, 400 t/ha (valores medios totales y desviaciones típicas).

Parámetro	0	200 t/ha	300 t/ha	400 t/ha
Riqueza	48,0 ± 6,00	49,33 ± 8,62	43,67 ± 13,61	33,33 ± 8,62
Abundancia	1190 ± 414	1966 ± 1.946	27 703 ± 25.896	1380 ± 780
Diversidad	2,70 ± 0,40	2,23 ± 0,85	0,63 ± 0,79	1,99 ± 0,25

Tabla 2. Valores medios de abundancia de los grupos taxonómicos de artrópodos recogidos con adición de 200 y 400 t/ha de biosólidos (L= larvas) durante 3 meses.

Artrópodos	0 t/ha	200 t/ha	400 t/ha
Colémbolos	23,33 ± 13,61	50,33 ± 56,15	18,67 ± 14,47
Dermápteros	0 ± 0	0,33 ± 0,58	0 ± 0
Ácaros	7,33 ± 5,77	102 ± 41,6	1,658 ± 2,123,5
Tisanópteros	0,67 ± 1,15	0,67 ± 0,58	4,67 ± 5,03
Coleópteros (L)	2 ± 0,8	3 ± 0,3	1,33 ± 1,15
Dípteros (L)	0,67 ± 1,15	0,33 ± 0,58	0 ± 0
Himenópteros (L)	0 ± 0	0 ± 0	1,33 ± 1,15
Coleópteros	0 ± 0	0,33 ± 0,58	0 ± 0
Arañas	0 ± 0	0,33 ± 0,58	0 ± 0

Se realizó un análisis Anova utilizando un método de comparación múltiple post hoc (DMS, diferencia menos significativa), para evaluar el efecto de las cantidades aplicadas sobre los parámetros de la comunidad estudiados (tabla 3) mostrando diferencias significativas respecto a la abundancia y diversidad cuando se comparan los valores obtenidos para las distintas poblaciones en las parcelas sometidas a las diferentes dosis de biosólidos. No se observó, sin embargo, una diferencia significativa en cuanto a la riqueza de morfoespecies, ni aunque se aplicasen biosólidos con o sin cortar las especies adventicias (tabla 4).

Tabla 3. Análisis de la varianza de los artrópodos (grupos taxonómicos) en las parcelas tratadas con cantidades crecientes de biosólidos. (F = fiable significativo al 90%).

Parámetros	F	Significación
Abundancia	5,820	,021*
Diversidad	6,093	,018*
Riqueza	1,704	,243

Tabla 4. Valores medios y desviaciones típicas de la riqueza, la abundancia de poblaciones de artrópodos edáficos y diversidad en la parcela con aplicación de 400 de biosólidos y sin ellos durante el periodo de estudio.

Tratamiento	Riqueza	Abundancia	Diversidad
Sin biosólidos	Sin sp advent.	32,7 ± 2,08	10,715 ± 14,820
	Con sp advent.	40,0 ± 10,8	23,254 ± 10,773
Con biosólidos	Sin sp advent.	43,7 ± 13,05	32,176 ± 26,870
	Con sp advent.	43,7 ± 13,6	27,703 ± 25,896

Aunque existe una dinámica estacional en las poblaciones de los artrópodos edáficos), se exponen en la tabla 5 las correlaciones que presentan los diferentes grupos

con la precipitación en dos años consecutivos del trabajo expuesto en Flores-Padarvé *et al.* (2008). Si observamos las correlaciones de la productividad con los diferentes grupos de artrópodos edáficos con aplicación de una dosis de 200 t/ha., parece que los mismos están más vinculados a tener o no vegetación adventicia en el cultivo del maíz, que a otro tipo de factores ambientales. Esta cuestión debe seguir siendo profundizada en nuestra investigación a juzgar por los resultados mostrados en la tabla 6.

Tabla 5. Valores de correlación de Pearson entre la precipitación y la abundancia de artrópodos en el cultivo adicionado con 200 t/ha. (***) significativa por encima del 99,9%; ** por encima del 99% y * por encima del 95 %).

Grupos taxonómicos	Con lodos y sin sp advent.	Con lodo y con sp. advent	Sin lodos y sin sp advent	Sin lodos y con sp advent
Ácaros	0,087	-0,377	0,605	-0,078
Arañas	-0,600	-0,707*	-0,875**	-0,601
Coleópteros	-0,677*	-0,663	0,039	-0,427
Collémbolos	0,897**	0,965**	0,251	0,194
Dípteros	0,629	0,314	0,649	0,949**
Hemípteros	0,004	-0,526	0,057	-0,133
Himenópteros	0,561	0,438	-0,647	-0,590

Tabla 6. Valores de correlación de Pearson entre la abundancia de los grupos de artrópodos epiedáficos y la productividad en el cultivo adicionado con 400 t/ha. (***) significativa por encima del 99,9 %; ** por encima del 99% y * por encima del 95%).

Grupo	Con veg. adventicia	Sin veg. adventicia
Ácaros	-0,880**	-0,478
Arácnidos	0,142	-0,349
Coleópteros	-0,380	0,058
Colémbolos	0,542	0,282
Dípteros	0,817**	0,676*
Hemípteros	0,123	0,080
Hymenópteros	-0,527	-0,689*

Tabla 7. Valores de correlación de Spearman entre el N inorgánico (%) y el P intercambiable de los suelos (mg/100g) con la abundancia de los microartrópodos.

Grupo	N	P
Ácaros	0,049	-0,158
Colémbolos	0,603**	0,398*

Tabla 8. Valores de correlación de Spearman entre parámetros edáficos relacionados con la estructura del suelo y abundancia de artrópodos con aplicación de biosólidos (81 observaciones o trampas).

Artrópodos	Dens.Apar	Arena	Limo	Arcilla	M.O.
Ácaros	0,219	0,219	-0,219	-0,219	-0,207
Colémbolos	-0,868**	-0,868**	0,868**	0,868**	0,131
Coleópteros	-0,353	-0,353	0,353	0,353	-0,066
Himenópteros	0,076	0,076	-0,076	-0,076	0,415*

Solamente, y para el caso de dosis de biosólidos que no sobrepasan las 300 t/ha, los colémbolos muestran correlaciones positivas con el N y el P del suelo, con lo que nos permite hablar de los mismos, como un grupo funcional vinculados a los flujos de estos elementos (tabla 7). No obstante, hay también grupos con función en la mejora de la estructura del suelo (tabla 8), cuestión esta importante para no permitir una excesiva compactación por la aplicación del biosólido. Nuevamente, los colémbolos parece ser el grupo más vinculado a los elementos más finos de la granulometría. Dado que este grupo de microartrópodos se revela como interesante, hemos procedido a la identificación taxonómica a fin de ir profundizando en el conocimiento de su rol en cultivos de maíz adicionados con esta enmienda orgánica (Flores-Padarvé *et al.*, 2001).

CONCLUSIONES

La riqueza y la abundancia de artrópodos edáficos parecen aumentar con aplicaciones de biosólidos en cultivos de maíz forrajero en el altiplano mexicano hasta una adicción de 300 t/ha, no así la biodiversidad de esta fauna edáfica. Una mayor dosis hace cambiar la composición específica de la comunidad de artrópodos, especialmente de colémbolos, que parece ser el principal grupo vinculado a la mineralización del N y del P, siendo también los que presentan una alta correlación positiva con la productividad del sistema. Los artrópodos menos abundantes y los himenópteros parecen estar afectados por la presencia o no de malas hierbas en este cultivo.

AGRADECIMIENTOS

Al Programa EIADES de la Comunidad de Madrid (P2009/AMB-1478^a) y al Proyecto 2008-04827/TECNO del Ministerio de Ciencia e Innovación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BATER, J.E. (1996). Micro and Macroarthropods. En: G.S. Hall (ed.) *Methods for the examination of organismal diversity in soils and sediment*, pp. 163-174. Wallingford, UK: CAB International.
- BROWER J.E., ZAR J.E. Y VON ENDE C. N. (1997) *Field and Laboratory Methods for General Ecology*. Wallingford, EEUU: 4th ed. WCB Mc Graw Hill.

- FLORES-PADARVÉ, L.(2009). *Efecto de los lodos residuales de la planta tratadora de aguas en Aguascalientes (México) sobre los artrópodos del suelo de dos agroecosistemas*. Tesis doctoral, Universidad de Alcalá
- FLORES-PARDAVÉ L., ESCOTO R.J., FLORES-TENA F. y HERNÁNDEZ A. J. (2008) Estudio de la biodiversidad de artrópodos en suelos de alfalfa y maíz con aplicación de biosólidos. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, **40**, 11-18.
- FLORES-PARDAVÉ L., PALACIOS J.C., CASTAÑO, G. Y CRUZ-POOL L. (2011) Colémbolos de suelos agrícolas en cultivos de alfalfa y maíz adicionados con biosólidos en Aguascalientes, México. *Agrociencia*, **45**, 353-362.
- GRIFFITHS D.A. (1996) Mites. En: G.S. Hall (ed.) *Methods for the examination of organismal diversity in soils and sediments*, pp. 175-185. Wallingford, UK: CAB International.
- HERNÁNDEZ A.J. Y PASTOR, J. (1989) Técnicas analíticas para el estudio de las interacciones suelo-planta. *Henares. Revista de Geología*, **3**, 67-102.
- PARISI V., MENTA C., GARDI C., JACOMINI C. Y MOZZANICA E. (2005) Microarthropod communities as a tool assess soil quality and biodiversity: a new approach in Italy. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, **105**, 323-333.
- PETERSEN H. Y LUXTON M. (1982) A comparative analysis of soil fauna populations and their role in decomposition processes. *Oikos*, **39**, 287-388.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales) (2002) *Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000*.

Efecto del pastoreo por diferentes especies ganaderas sobre la estructura vegetal de *pajonales* en los Andes centrales del Perú

Effect of grazing by different livestock species on plant structure of *pajonales* in the central Andes of Perú

J. BARTOLOMÉ¹ / E. QUISPE² / O. SIGUAS² / J. CONTRERAS² / W. ARANA² / M. ESPINOZA²

¹Departamento de Ciencia Animal y de los Alimentos, Universidad Autónoma de Barcelona, 08193 Bellaterra (España).
²Programa de Mejora en Camélidos Sudamericanos-PROCASUD-Facultad de Ciencias de Ingeniería Universidad Nacional de Huancavelica (UNH), Perú

Resumen: En la puna andina, *Calamagrostis antoniana* (Griseb.) y *Festuca dolichophylla* J. Presl, suelen dominar en el estrato alto de la vegetación. En este trabajo se han determinado las variaciones estructurales causadas por el pastoreo de llama, alpaca, bovino y ovino. Para ello se instalaron dos series de 4 parcelas de 50 m x 50 m en dos pajonales de la finca experimental CIDCS-Lachocc de la Universidad Nacional de Huancavelica, situada a 4.500 msnm. Cada una de ellas fue sometida a pastoreo por una única especie animal durante siete días en la época de lluvias y otros siete en la época seca. La carga ganadera de cada parcela fue equivalente a 1,4 alpacas/ha/año. Se tomaron medidas pareadas de altura y diámetro de 10 macollas de cada especie antes y después del pastoreo en cada parcela. Se concluye que la mayor reducción en los parámetros estructurales de *Festuca dolichophylla* podría explicarse por su mayor palatabilidad y por una mejor adaptación de los camélidos respecto a las especies introducidas (bovino y ovino). También se deduce que, con excepción de las llamas, durante la época seca los animales centrarían más su actividad pastadora en el estrato bajo de la vegetación.

Palabras clave: puna, camélidos, bovino, ovino, gramíneas.

Abstract: In the Andean puna, two species of grasses, *Calamagrostis antoniana* (Griseb.) and *Festuca dolichophylla* J. Presl, tend to dominate in the upper stratum of the vegetation. In this paper we have determined the structural changes caused by grazing llama, alpaca, cattle and sheep. Two sets of 4 fenced plots of 50 m x 50 m were placed in two grassland areas in the experimental farm of Lachocc CIDCS of UNH, located at 4,500 m a.s.l. Each one was subjected to a single species grazing animal for seven days in the rainy season and seven during the dry season. The stocking rate of each plot was equivalent to 2.0 alpacas / ha / year. Measures were height and diameter of 10 grass tussocks of each species before and after grazing in each plot. From the results we concluded that the greatest reduction in the structural parameters of *Festuca dolichophylla* could be explained by their greater palatability and better adaptation of camelids compared to introduced species (cattle and sheep). It also follows that, except for the llama, herbivores focus more activity in the lower stratum of vegetation during the dry season.

Key words: puna, camelids, bovine, ovine, grasses.

INTRODUCCIÓN

En Perú, el 80% de la ganadería altoandina (por encima de los 3.500 m.s.m.) utiliza como una única fuente alimentaria los pastos nativos, recurso que ocupa unos 14,3 millones de hectáreas (Florez *et al.*, 1992). Estos pastos suelen estar dominados por gramíneas de porte alto y de escaso valor nutritivo (Alzerreca y Cardozo, 1992). Los camélidos domésticos son los herbívoros mejor adaptados a este tipo de vegetación y se consideran pastadores de bajo impacto sobre el frágil ecosistema (San Martín y Bryant, 1989; Fowler, 1998; Van Saun, 2006). Desde hace algún tiempo, los pastos andinos se encuentran en un estado de degradación y deterioro como consecuencia de la intensificación del uso comunal del territorio, que conlleva fenómenos como exceso de carga ganadera, pastoreo continuo o crianza mixta de animales, que compiten por

el mismo recurso (Bryant *et al.*, 1989; Podwojewski, 2002; de la Orden *et al.*, 2006). En este sentido, existe poca información sobre el efecto de la especie ganadera sobre la estructura de la vegetación. El objetivo de este trabajo fue determinar el efecto del pastoreo sobre parámetros estructurales de pajonales de *Festuca dolichophylla* J. Presl y *Calamagrotis antoniana* (Griseb.) Hitchc. utilizando rebaños mono-específicos de alpaca, llama, vacuno y ovino en las dos épocas del año, la estación seca y la húmeda.

MATERIAL Y MÉTODOS

El estudio se realizó en los Andes Centrales del Perú, en la finca del Centro de Investigación y Desarrollo de Camélidos Sudamericanos – Lachocc (Cancha de Ranramocco a 4.251 m.s.m., 12°51,484'S, 75°5,868'O y Tucumachay a 4.443 m.s.m., 12°53,615'S, 75°5,829'O), perteneciente a la Universidad Nacional de Huancavelica. La toma de datos se realizó en dos periodos, uno a finales de la estación lluviosa, en febrero y marzo, y el otro a finales de la estación seca, en agosto y septiembre de 2011. La zona presenta un clima frío-seco con temperaturas máximas que oscilan entre 13° a 15° C y mínimas de -7° a 2,5° C, y una precipitación anual de 704 mm, siendo el periodo más lluvioso de enero a marzo. En cada una de las dos zonas de estudio (Tucumachay y Ranramocco) se establecieron dos series de cuatro parcelas de pastoreo de 50m x 50 m con características similares en cuanto a orientación, altitud y vegetación (pajonal). Ambas han tenido una historia de pastoreo de 28 años y estuvieron clausuradas por un período de seis meses antes del inicio del experimento. La vegetación se caracteriza por la presencia de gramíneas altas como *Festuca dolichophylla* (especie dominante, con una cobertura media del 25%) y *Calamagrotis antoniana* (con una cobertura media del 5%) asociadas con herbáceas bajas, entre las que abundan *Hypochoeris taraxacoides* (Walp.) Benth. & Hook. y *Alchemilla pinnata* Ruiz & Pav.

Cada una de las parcelas fue sometida a pastoreo mono-específico por 2 especies autóctonas y 2 exóticas en un periodo de una semana. La carga ganadera en cada parcela fue el equivalente a 1,4 alpacas/ha/año (Quinto, 2004), correspondiente a una condición de pastizal entre regular a buena (Novoa y Flores, 1991), de tal forma que en la experiencia se emplearon 18 alpacas, 21 ovinos, 12 llamas y 3 bovinos. Antes y después de introducir los animales en cada parcela y en cada periodo se registraron datos pareados de altura y diámetro de 10 macollas escogidas al azar de ambas especies de gramíneas altas (*Festuca dolichophylla* y *Calamagrotis antoniana*), de igual modo se midieron las alturas del estrato herbáceo en 10 puntos al azar. Para evaluar los efectos de la época (seca y húmeda) y especie animal (alpaca, ovino, vacuno y llama), se desarrolló un ANOVA de un modelo aditivo lineal de efectos principales con covariable (no se consideró interacciones, debido a falta de significancia observada durante la exploración de datos), para cada una de las dos especies vegetales en estudio. Las variables dependientes consideradas fueron los porcentajes de reducción en altura y diámetro, los cuales previamente pasaron por una transformación trigonométrica a fin de obtener normalidad de datos, mientras las alturas y diámetros iniciales

fueron consideradas como covariables. Se trabajaron con 4 unidades muestrales para cada nivel estación-especie animal (2 por cada zona). Los datos fueron procesados usando el software STATVIEW (SAS Institute Inc.).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En los pajonales de la zona de estudio durante la época húmeda *Calamagrotis antoniana* presenta macollas con una altura media de 58,0 cm ($\pm 1,07$ cm EE) y un diámetro medio de 85,8 cm ($\pm 2,08$ cm EE). En este periodo el efecto de los camélidos sobre estas variables es considerable, llegando a reducir la altura y diámetro de la planta hasta un 40 y un 33 % respectivamente en el caso de las llamas (tabla 1). En cambio las especies exóticas (bovino y ovino) reducen menos de la quinta parte la altura de la planta y no afectan de forma significativa al diámetro de la misma. En la época seca, los valores medios de altura y diámetro son menores: 49,3 cm ($\pm 1,19$ cm EE) y 70,2 cm ($\pm 1,68$ cm EE) respectivamente. El efecto del pastoreo en este periodo también es menor (tabla 2), seguramente debido a una disminución del valor nutritivo. Ninguna de las especies animales reduce de forma significativa el diámetro de la planta. Las alpacas además tampoco afectan de forma significativa a la altura. Sin embargo, las llamas aún consiguen reducirla hasta un 35%.

Tabla 1. Porcentaje (%) de reducción de parámetros estructurales de la vegetación por efecto del pastoreo en pajonales de los Andes Centrales del Perú durante la época húmeda.

	Bovino	Ovino	Llama	Alpaca
<i>Calamagrotis antoniana</i> (altura)	18,1*	16,7*	40,0***	26,1***
<i>Calamagrotis antoniana</i> (diámetro)	11,9 n.s.	7,3 n.s.	33,0***	19,8*
<i>Festuca dolichophylla</i> (altura)	44,9***	40,8***	47,0***	44,1***
<i>Festuca dolichophylla</i> (diámetro)	29,6*	34,1***	42,5**	48,4***
Estrato bajo (altura)	67,2***	57,9**	72,4***	57,1**

Nota: cada dato se acompaña del nivel de significación de la reducción obtenida: *** p<0,001; ** p<0,01; * p<0,05; n.s. no significativo.

Festuca dolichophylla es la especie dominante en el estrato alto y sus macollas en la época húmeda presentan una altura media de 43,8 cm ($\pm 1,16$ cm EE) y un diámetro medio de 57,9 cm ($1,73 \pm$ cm EE). En este periodo, todas las especies animales reducen de forma significativa sus parámetros estructurales, seguramente debido a una mayor palatabilidad o su mayor abundancia con respecto a la especie anterior. La disminución de la altura varía entre un 41% y un 47% y la del diámetro entre un 30% y un 48% (tabla 1). En la época seca, los valores medios de altura y diámetro también son menores: 31,4 cm ($\pm 0,78$ cm EE) y 36,7 cm ($\pm 0,86$ cm EE) respectivamente. También es menor la reducción en estas variables (tabla 2), sobretodo en las alpacas y el bovino, consideradas especies más pastadoras. El ovino y sobretodo las llamas reducen los parámetros estructurales alrededor de una cuarta y una tercera parte respectivamente.

El estrato herbáceo es muy bajo, con un promedio de 6,5 cm (\pm 0,38 cm EE) en época húmeda y tan sólo 3,3 cm (\pm 0,10 cm EE) en época seca. A pesar de ello, es consumido de forma significativa por todas las especies animales en ambos periodos (tablas 1 y 2). Así en la época húmeda la reducción de la altura oscila entre el 57% y el 72% y en la época seca entre un 41% y un 54%.

Tabla 2. Porcentaje (%) de reducción de parámetros estructurales de la vegetación por efecto del pastoreo en pajonales de los Andes Centrales del Perú durante la época seca.

	Bovino	Ovino	Llama	Alpaca
<i>Calamagrostis antoniana</i> (altura)	23,7***	31,2*	35,5***	17,4 n.s.
<i>Calamagrostis antoniana</i> (diámetro)	7,5 n.s.	19,6 n.s.	13,9 n.s.	23,3 n.s.
<i>Festuca dolichophylla</i> (altura)	17,5*	24,4*	34,4***	16,5 n.s.
<i>Festuca dolichophylla</i> (diámetro)	11,7 n.s.	26,1***	30,8***	22,9*
Estrato bajo (altura)	40,7***	45,8***	45,0***	53,6***

Nota: cada dato se acompaña del nivel de significación de la reducción obtenida: *** $p < 0,001$; ** $p < 0,01$; * $p < 0,05$; n.s. no significativo

Estos resultados pueden resultar de gran interés en la discusión de estrategias de pastoreo mono-específico. A lo largo del año, las llamas serían las que más aprovecharían las gramíneas altas, incluyendo las menos palatables, como *Calamagrostis antoniana*. Durante la época seca las alpacas serían las que menos utilizarían ambas gramíneas. El ovino y el bovino sólo destacan en un menor uso de *Calamagrostis antoniana* durante la época húmeda. Esto indicaría que podrían darse fenómenos de competencia entre camélidos y exóticos cuando pastorean juntos. Estos resultados contrastan con los obtenidos por otros autores (Genin *et al.*, 1994; Tichit y Genin, 1997), los cuales muestran como entre camélidos y ovinos hay poco solapamiento de dieta y en consecuencia, el pastoreo mixto de ambas especies permitiría un mejor aprovechamiento del pajonal. Sin embargo, Borgnia *et al.* (2008) concluyen que los camélidos son relegados a los espacios subóptimos cuando coexisten con ganado doméstico exótico.

CONCLUSIONES

Las gramíneas del estrato alto de los pajonales andinos ven afectados sus parámetros estructurales en función de la especie vegetal que se trate, del periodo del año y del animal que pastorea. *Festuca dolichophylla* resulta mucho más afectada que *Calamagrostis antoniana*, sobre todo en la época húmeda y por las llamas. La reducción de altura y diámetro que sufre esta última especie es mucho menor con el pastoreo de especies exóticas (bovino y ovino) en la época húmeda. En cambio en la época seca serían las alpacas las que menor efecto tienen sobre *Calamagrostis antoniana*.

El efecto sobre el estrato bajo es intenso y mucho más homogéneo, sobre todo en la época húmeda, indicando que constituye un recurso importante para todos los animales en los dos periodos del año.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido realizado gracias a la financiación obtenida en la Quinta Convocatoria de Ayudas a la Investigación en Ecología y Biología de la Conservación de la Fundación BBVA (BIOCON08-059).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALZERRECA H. Y CARDOZO A. (1992) Valor de los Alimentos para la Ganadería Andina. *Serie Técnica SR-CRSP/001*. La Paz: IBTA.
- BORGNIA M., VILÁ B.L. Y CASSINI M.H. (2008) Interaction between wild camelids and livestock in an Andean semi-desert. *Journal of Arid Environments* **72**, 2150-2158
- BRYANT F.C., FLOREZ A. Y PFISTER J. (1989) Sheep and alpaca productivity on high Andean rangelands in Peru. *Journal of Animal Science*, **67**, 3087-3085.
- FLOREZ A., MALPARTIDA E. Y SAN MARTÍN F. (1992) *Manual de forrajes para zonas áridas y semiáridas andinas*. Lima. Perú. Ediciones RERUMEN.
- FOWLER, M. E. 1998. *Medicine and surgery of camelids*. 2nd ed. Ames, Iowa: Black well Publishing Co.
- GENIN D., VILLCA Z. Y ABASTO P. (1994) Diet selection and utilization by llama and sheep in a high altitude-arid rangeland in Bolivia. *Journal of Range Management*, **47**, 245-248.
- NOVOA C. Y FLORES A. (1991) *Producción de Rumiantes Menores: ALPACAS*. Lima, Perú: Impresión RERUMEN.
- DE LA ORDEN E.A., QUIROGA A., RIBERA JUSTINIANO D. Y MORLÁNS M.C. (2006) Efecto del sobrepastoreo en un Pastizal de altura. Cumbres de Humaya. Catamarca. Argentina. *Ecosistemas*, **15** (3), 142-147.
- PODWOJEWSKI P., POULENARD J., ZAMBRANA T. Y HOFSTEDE R. (2002) Overgrazing effects on vegetation cover and properties of volcanic ash soil in the páramo of Llangahua and La Esperanza (Tungurahua, Ecuador). *Soil Use and Management*, **18** (1), 45-55.
- QUINTO E. (2004) Inventario y capacidad de carga animal del Centro de Investigación de Investigación de Camélidos Sudamericanos Lachocc. Tesis para optar el título de Ingeniero Zootecnista. Universidad Nacional de Huancavelica. Huancavelica-Perú.
- SAN MARTIN F. Y BRYANT F.C. (1989) Nutrition of domesticated South American llamas and alpacas. *Small Ruminants Research*, **2**, 191-216.
- TICHIT M. Y GENIN D. (1997) Factors affecting herd structure in a mixed camelid-sheep pastoral system in the arid Puna of Bolivia. *Journal of Arid Environments*, **36**, 67-180
- VAN SAUN R. (2006). Feeding the alpaca. En: Hoffman E. (ed.). *The complete alpaca book*. pp. 179-229. California, USA: Bonny Doon Press.

Patrón temporal de recuperación de semillas de seis especies herbáceas consumidas por el ganado caprino

Temporal recovery pattern of seeds of six herbaceous species consumed by goats

D. GRANDE¹ / J.M. MANCILLA-LEYTÓN² / M. DELGADO-PERTÍÑEZ³ / A. MARTÍN VICENTE²

¹Área de Sistemas de Producción Agropecuarios. División de Ciencias Biológicas y de la Salud, Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa. Av. San Rafael Atlixco 186, Col. Vicentina, Iztapalapa, 09340 México, D.F., México. ifig@xanum.uam.mx.

²Departamento de Biología Vegetal y Ecología. Universidad de Sevilla. Apartado 1095, 41080 Sevilla, España. jmancilla@us.es; angelm@us.es

³Departamento de Ciencias Agroforestales. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agrícola, Universidad de Sevilla. Ctra. Utrera Km. 1, 41013 Sevilla, España. pertinez@us.es

Resumen: Se ha evaluado la capacidad de dispersión endozoócora del ganado caprino de seis especies herbáceas (*Ornithopus compressus* L., *Biserrula pelecinus* L., *Dactylis glomerata* L., *Medicago polymorpha* L., *Festuca ovina* L. y *Melilotus officinalis* L. Pall.). Las semillas de las especies se suministraron y consumieron por seis cabras (raza Payoya) estabuladas individualmente. Tras la ingestión, se recogieron las heces cada 24 horas durante cinco días. En las heces recuperadas se determinó la pérdida y distribución de recuperación de semillas en el tiempo tras el paso por el tracto digestivo. A las 120 horas el total de semillas recuperadas varió desde 31 semillas de *M. officinalis* a 680 semillas de *M. polymorpha*, que representaron el 0,3 y el 6,8 % respectivamente del total de semillas ofrecidas. De *F. ovina* y *M. officinalis* la mayor cantidad (> 60%) de semillas recuperadas ocurrió durante las primeras 48 horas después de su consumo, mientras que las semillas de las demás especies se recuperaron a las 72 horas, excepto *D. glomerata*, de la que sólo se obtuvieron el 57% de las recuperadas en dicho período. Aunque los porcentajes de recuperación obtenidos fueron bajos en términos absolutos, y falta analizar el efecto de los procesos bióticos y abióticos sobre el establecimiento de plántulas, las cabras domésticas podrían ayudar a dispersar la vegetación herbácea autóctona mediterránea, favoreciendo indirectamente la mejora del sustrato.

Palabras clave: Cabras, endozoocoria, dispersión, gramíneas, leguminosas.

Abstract: We assessed the endozoochorous seed dispersal capacity by goats of six herbaceous species (*Ornithopus compressus* L., *Biserrula pelecinus* L., *Dactylis glomerata* L., *Medicago polymorpha* L., *Festuca ovina* L. and *Melilotus officinalis* L. Pall.). The seeds of these species were fed to six goats (Payoya breed) housed individually. After ingestion, faeces were collected for five days every 24 hours. In the faeces recovered was determined the percentage of seed loss and the distribution time of seed recovery after passage through the digestive tract. At 120 hours, the total recovered seeds ranged from 31 seeds in *M. officinalis* seeds to 680 in *M. polymorpha*, which represented 0.3 and 6.8% of total seeds offered. In *F. ovina* and *M. officinalis* the majority of seeds recovered (> 60%) were recovered during the first 48 hours after consumption, while in the other species were recovered up to 72 hours, except in *D. glomerata*, which recovered only 57% of seeds in that period. Despite the low recovery values obtained, goats may act as dispersers of seeds of the herbaceous studied.

Key words: endozoochory, dispersal, seeds, grasses, legumes.

INTRODUCCIÓN

La conservación del monte mediterráneo está estrechamente vinculado con el mantenimiento del pastoreo (Aldezabal *et al.*, 2002). La relación existente entre el cese o declive paulatino del pastoreo y la pérdida de diversidad vegetal en las comunidades pastoreadas ha sido ampliamente debatido y estudiado. Aunque la sucesión vegetal tras el abandono rural puede variar dependiendo de numerosos factores bióticos y abióticos (suelo, clima y factores históricos entre otros) (Mouillot *et al.*, 2003;

Sluiter y de Jong, 2007), en general se produce una disminución de hábitats abiertos como son los pastos, áreas agrícolas y estepas. De este modo, la expansión progresiva de matorrales y bosques originada por el abandono rural favorece la homogeneización del paisaje y una pérdida del mosaico mediterráneo.

El pastoreo del ganado caprino en el matorral va a crear diferentes hábitats abiertos, los cuales pueden ser colonizados por especies herbáceas. La introducción de estas especies dependerá de su existencia en el banco de semillas del suelo. En ausencia de semillas en el banco, la dispersión de semillas por el propio ganado durante el pastoreo puede convertirse en una alternativa sencilla y económica para la colonización y mejora del estrato herbáceo. El éxito de esta técnica dependerá de la capacidad de supervivencia de las semillas al proceso de masticación y digestión del animal y de su germinación posteriormente.

En este sentido, el objetivo del estudio ha sido cuantificar y evaluar el patrón temporal de recuperación de semillas de seis especies herbáceas consumidas por cabras con el fin de analizar su potencialidad y posibilidad de mejorar el estrato herbáceo en los sitios de pastoreo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las semillas evaluadas fueron adquiridas en una empresa especializada en la producción de semillas autóctonas ibéricas. Se utilizaron cuatro leguminosas: *Ornithopus compressus* L., *Biserrula pelecinus* L., *Medicago polymorpha* L. y *Melilotus officinalis* L. Pall. y dos gramíneas: *Dactylis glomerata* L. y *Festuca ovina* L. Con el interés de conocer el tamaño de las semillas y sus posibles cambios por efecto del paso a través del tracto digestivo de las cabras, se midió el largo y ancho de una muestra de 100 semillas antes y después de ser ingeridas.

Para evaluar la recuperación de semillas después de su paso por el intestino, se utilizaron seis cabras hembras adultas de la raza Payoya de similar peso y edad (40 kg de peso promedio y 3 años de edad). Las cabras se mantuvieron en jaulas metabólicas individuales que disponían de un sistema para coleccionar las heces. Al inicio del experimento, a cada uno de los animales se le ofreció un cóctel con 10.000 semillas de cada una de las especies estudiadas, las cuales se mezclaron con grano de cebada (250 g) para facilitar su consumo. Los animales tuvieron acceso a heno de alfalfa y agua *ad libitum*. Después de la ingestión de las semillas todas las heces producidas por cada cabra se coleccionaron a las 24, 48, 72, 96 y 120 horas, y fueron secadas a temperatura ambiente y almacenadas en laboratorio. Posteriormente se pesaron 10 muestras de heces de 4 g de cada cabra en los diferentes tiempos de muestreo, las cuales se desmenuzaron manualmente y se identificaron y contaron las semillas de cada una de las especies consumidas.

Para determinar la viabilidad de sus embriones (MacKay, 1972), se realizó la prueba de tetrazolio a las semillas recuperadas de las heces y a las semillas no ingeridas (control) (15 semillas x 4 réplicas). Las semillas se mantuvieron en agua por 16 h a una

temperatura constante de 25° C, y se sumergieron después en una solución acuosa al 1 % de 2,3,5 cloruro de trifetil-tetrazolio, pH 7 en oscuridad durante 24 h a una temperatura constante de 25° C. Posteriormente las semillas se diseccionaron y se examinó la coloración de los embriones con una lupa para estimar su viabilidad (Bradbeer, 1998); los embriones se colorean en diferentes grados o zonas, o no se colorean, según la semilla tenga tejidos sanos, débiles y/o enfermos o muertos.

Para el tratamiento de los datos se utilizaron los test habituales para el contraste de normalidad y homocedasticidad (Test de Kolmogorov-Smirnov y Test de Levene, respectivamente), con el fin de asumir las hipótesis necesarias para realizar pruebas paramétricas. Las diferencias en el tamaño, porcentaje de recuperación y viabilidad para cada especie se analizaron mediante ANOVA de una vía usando el modelo lineal general (GLM). Las diferencias entre medias se determinaron mediante la prueba de Tukey al nivel de significación de 0,05. El programa estadístico utilizado fue SPSS ver. 18.00 para Windows (SPSS Inc., Chicago, IL, USA).

RESULTADOS

El tamaño de las semillas suministradas fue diferente de unas especies a otras (tabla 1). *O. compressus* y *D. glomerata* fueron las semillas más grandes, mientras que las más pequeñas fueron las de *B. pelecinus*, *F. ovina*, *M. officinalis* y *M. polymorpha*. Después de su consumo y paso por el tracto digestivo de las cabras, se encontraron diferencias significativas en el tamaño de las semillas recuperadas y los controles (tabla 1).

Tabla 1. Promedio y error estándar del largo y ancho (mm) de las semillas controles y recuperadas de las seis especies estudiadas (N=100).

Especie	Característica	Semillas		Significación (Tukey ≤ 0,05)
		Control	Recuperadas	
<i>Ornithopus compressus</i>	Largo	3,6 ± 0,04	4,0 ± 0,15	,000
	Ancho	2,4 ± 0,03	1,9 ± 0,10	,000
<i>Biserrula pelecinus</i>	Largo	1,7 ± 0,01	1,6 ± 0,01	,000
	Ancho	1,6 ± 0,01	1,5 ± 0,01	,000
<i>Dactylis glomerata</i>	Largo	5,7 ± 0,07	4,4 ± 0,10	,000
	Ancho	0,8 ± 0,01	1,1 ± 0,02	,000
<i>Festuca ovina</i>	Largo	4,8 ± 0,05	4,0 ± 0,10	,000
	Ancho	0,9 ± 0,01	0,8 ± 0,01	,030
<i>Melilotus officinalis</i>	Largo	2,2 ± 0,02	2,0 ± 0,07	,001
	Ancho	1,3 ± 0,01	1,3 ± 0,05	,671
<i>Medicago polymorpha</i>	Largo	2,6 ± 0,02	2,4 ± 0,02	,000
	Ancho	1,5 ± 0,01	1,5 ± 0,02	,757

La cantidad de semillas recuperadas varió entre especie, aunque por lo general fue baja. Las tasas de recuperación más elevadas se encontraron en *M. polymorpha* (680) y *B. pelecinus* (387), que representaron el 6,8 y 3,8 % de las semillas consumidas respectivamente. Por el contrario, la recuperación de semillas de *O. compressus*, *D. glomerata*, *F. ovina* y *M. officinalis* fue menor (entre 1,5 y 0,3%) (tabla 2).

Se observaron diferencias significativas en el número de semillas recuperadas por día entre todas las especies (tabla 2). En el conjunto de especies la mayor tasa de recuperación de semillas fue a las 48-72 horas después de su ingestión, aunque de cuatro de las especies se encontraron semillas en las heces incluso en el quinto día, con la excepción de *M. officinalis*. En el quinto día de muestreo destacaron las cantidades de semillas recuperadas de *M. polymorpha* y *B. pelecinus* (tabla 2).

La viabilidad de las semillas recuperadas de las heces fue significativamente menor que la de las semillas control en todas las especies (fig. 1).

Tabla 2. Cantidad de semillas recuperadas en los diferentes tiempos de muestreo en las heces de caprinos (N=6) tras el consumo de seis especies herbáceas.

Especies de Plantas	Tiempos de recuperación (horas)					Nº de semillas recuperadas	Nº de semillas consumidas	% de semillas recuperadas
	24	48	72	96	120			
<i>Medicago polymorpha</i>	5 ^{a*}	264 ^a	192 ^a	68 ^a	151 ^a	680	10 000	6,8 ^a
<i>Biserrula pelecinus</i>	1 ^a	139 ^a	112 ^b	55 ^a	80 ^a	387	10 000	3,8 ^b
<i>Ornithopus compressus</i>	3 ^a	56 ^b	58 ^c	12 ^b	24 ^b	153	10 000	1,5 ^c
<i>Festuca ovina</i>	8 ^a	60 ^b	36 ^c	4 ^b	4 ^b	112	10 000	1,1 ^c
<i>Dactylis glomerata</i>	0 ^a	6 ^b	46 ^c	16 ^b	22 ^b	90	10 000	0,9 ^c
<i>Melilotus officinalis</i>	5 ^a	15 ^b	8 ^c	3 ^b	0 ^b	31	10 000	0,3 ^c

*Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas (Tukey $\leq 0,05$)

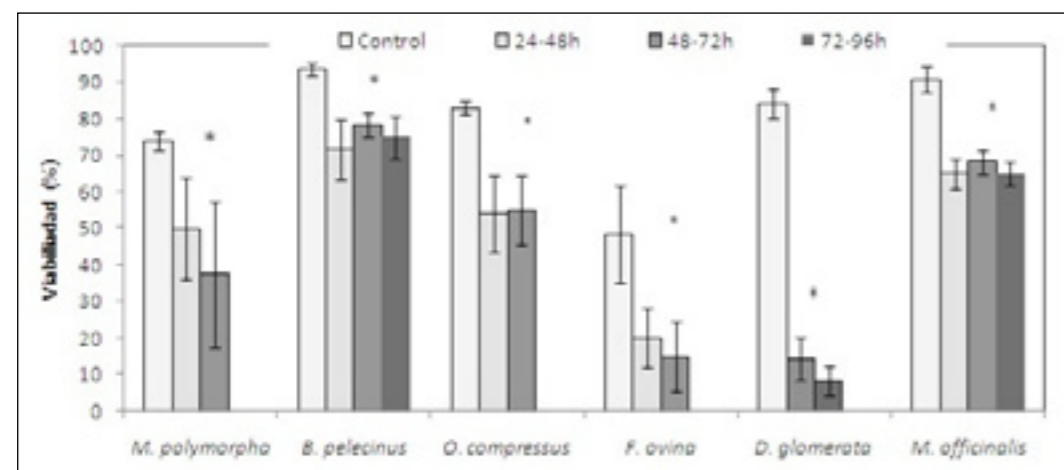


Figura 1. Porcentaje de semillas viables de las semillas control y de las recuperadas en las heces de cabras, de las seis especies de plantas estudiadas (*indica diferencias significativas para los diferentes tratamientos dentro de una misma especie, Tukey $p < 0,05$).

DISCUSIÓN

La tasa de recuperación fue superior en las semillas pequeñas (*M. polymorpha* y *B. pelecinus*) que en las de mayor tamaño. En general, el porcentaje de destrucción de semillas es directamente proporcional al tamaño de la semilla e inversamente proporcional a la dureza de sus cubiertas (Russi *et al.*, 1992). Esto mismo quedó reflejado en las semillas de mayor tamaño (*O. compressus*) y con testas menos duras (*D. glomerata*, *F. ovina* y *M. officinalis*). La relación negativa entre el tamaño de la semilla y su recuperación también se observó en otros trabajos (Staniforth y Cavers, 1977; Russi *et al.*, 1992; Pakeman *et al.*, 2002).

En general, la cantidad de semillas recuperadas fue baja; en el mejor de los casos (*M. polymorpha*), representó menos del 7 % de las semillas consumidas. Estos bajos valores son similares a los obtenidos para otras especies herbáceas y arbustivas consumidas por rumiantes salvajes y domésticos (Holst y Allan, 1996; Olson y Wallander, 2002; Razanamandranto *et al.*, 2004; Mouissie *et al.*, 2005; Ramos *et al.*, 2006; Harrington *et al.*, 2011; Mancilla-Leytón *et al.*, 2011); sin embargo, aún en las especies en las que se obtuvieron los más bajos niveles de recuperación (*O. compressus*, *F. ovina*, *D. glomerata* y *M. officinalis*) las semillas sobrevivieron el pasaje por el intestino, lo que significa que las cabras no se comportaron como predadoras de sus semillas, como se reportó en *Pistacia lentiscus*, especie de la que no se recuperó ninguna semilla después de su paso por el intestino de cabras (Mancilla-Leytón *et al.*, 2011).

Por otro lado, la distribución temporal de la defecación de las semillas puede favorecer la distancia de dispersión, y puede ser particularmente importante en las semillas de *M. polymorpha* y *B. pelecinus*, que fueron las especies de las que se recuperaron más semillas y asimismo las que permanecieron más tiempo en el tracto digestivo de los animales (más de 48 horas). En este sentido, la distancia final de dispersión también dependerá en gran medida del sistema de producción, y se debe tener en consideración que en los rebaños extensivos o semiextensivos la distancia recorrida por los animales puede llegar a ser extremadamente larga (casi 30 km al día) (Manzano *et al.*, 2005).

CONCLUSIONES

Las semillas de las seis especies estudiadas sobrevivieron a la masticación y al paso a través del tracto digestivo de las cabras, particularmente las semillas de *M. polymorpha* y *B. pelecinus*, y a falta de evaluar su posterior germinación, estas semillas podrían potencialmente ser dispersadas por las cabras durante el pastoreo, favoreciendo indirectamente la mejora del sustrato herbáceo.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a D. José Ardila y Dehesa de Gatos S.A. su ayuda y colaboración. Nuestro especial agradecimiento a Dña. Yolanda Paz por su gran apoyo y dedicación en el procesamiento de las muestras en el laboratorio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALDEZABAL A., GARCIA-GONZALEZ R., GOMEZ D. Y FILLAT F. (2002) El papel de los herbívoros en la conservación de los pastos. *Ecosistemas*, **11**(3), s/p.
- BRADBEER J.W. (1998) *Seed dormancy and germination*. New York, United States: Chapman & Hall.
- HARRINGTON K.C., BESKOW W.B. Y HODGSON J. (2011) Recovery and viability of seeds ingested by goats. *New Zealand Plant Protection*, **64**, 75-80.
- HOLST P.J. Y ALLAN C.J. (1996) Targeted grazing of thistles using sheep and goats. *Plant Protection Quarterly*, **11**, 271-273.
- MACKAY D.B. (1972) The measurement of viability. En: Roberts, E.H. (ed) *Viability of seeds*, pp. 172-208. London, United Kingdom: Chapman & Hall.
- MANCILLA-LEYTÓN J.M., FERNÁNDEZ-ALÉS R. Y MARTÍN VICENTE A. (2011) Plant-ungulate interaction: goat gut passage effect on survival and germination of Mediterranean shrub seeds. *Journal of Vegetation Science*, **22**(6), 1031-1037.
- MANZANO P., MALO J.E. Y PECO B. (2005) Sheep gut passage and survival of Mediterranean shrub seeds. *Seed Science Research*, **15**, 21-28.
- MOUILLOT F., RATTE J., JOFFRE R., MORENO J.M. Y RAMBAL S. (2003) Some determinants of the spatio-temporal fire cycle in a mediterranean landscape (Corsica, France). *Landscape Ecology*, **18**, 665-674.
- MOUISSIE A.M., VAN DER VEEN C.E.J., VEEN G.F.C. Y VAN DIGGELEN R. (2005) Ecological correlates of seed survival after ingestion by Fallow deer. *Functional Ecology*, **19**, 284-290.
- OLSON B.E. Y WALLANDER R.T. (2002) Does ruminal retention time affect leafy spurge seed of varying maturity? *Journal of Range Management*, **55**, 65-69.
- PAKEMAN R.J., ENGELEN J. Y ATTWOOD J.P. (2002) Ecological correlates of endozoochory by herbivores. *Functional Ecology*, **16**, 296-304.
- RAMOS M.E., ROBLES A.B., RUIZ-MIRAZO J., CARDOSO J.A. Y GONZÁLEZ-REBOLLAR J.L. (2006) Effect of gut passage on viability and seed germination of legumes adapted to semiarid environments. En: Lloveras J. *et al.* (Eds) *Sustainable Grassland Productivity*, pp 315-317. Bada-joz, España: Sociedad Española para el Estudio de los Pastos.
- RAZANAMANDRANTO S., TIGABU M., NEYA S. Y ODÉN P.C. (2004) Effects of gut treatment on recovery and germinability of bovine and ovine ingested seeds of four woody species from Sudanian savanna in West Africa. *Flora*, **199**, 389-397.
- RUSSI L., COCKS P.S. Y ROBERTS E.H. (1992) The fate of legume seeds eaten by sheep from a Mediterranean grassland. *Journal of Applied Ecology*, **29**, 772-778.
- SLUITER R. Y DE JONG S.M. (2007) Spatial patterns of Mediterranean land abandonment and related land cover transitions. *Landscape Ecology*, **22**, 559-576
- STANIFORTH R.J. Y CAVERS P.B. (1977) The importance of cottontail rabbits in the dispersal of *Polygonum* spp. *Journal of Applied Ecology*, **14**, 261-267.

Resultados preliminares del papel del ganado caprino en la dispersión de cinco especies de matorral mediterráneo

Preliminary results of the role of goats in the dispersal of five mediterranean shrub species

D. GRANDE¹ / J.M. MANCILLA-LEYTÓN² / M. DELGADO-PERTÍÑEZ³ / A. MARTÍN VICENTE²

¹Área de Sistemas de Producción Agropecuarias. División de Ciencias Biológicas y de la Salud, Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa. Av. San Rafael Atlixco 186, Col. Vicentina, Iztapalapa, 09340 México, D.F., México. ifig@xanum.uam.mx.

²Departamento de Biología Vegetal y Ecología. Universidad de Sevilla. Apartado 1095, 41080 Sevilla, España. jmancilla@us.es; angelm@us.es

³Departamento de Ciencias Agroforestales. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agrícola, Universidad de Sevilla. Ctra. Utrera Km. 1, 41013 Sevilla, España. perlinez@us.es

Resumen: Los herbívoros juegan un papel importante en la dispersión de semillas a través de su tracto digestivo, en particular los herbívoros ungulados son importantes agentes potenciales de dispersión de semillas de las plantas herbáceas y arbustivas que se alimentan. El trabajo evalúa el papel de la cabra como dispersor de cinco forrajeras arbustivas (*Cistus albidus* L., *Phillyrea angustifolia* L., *Calicotome villosa* (Poir.) Link., *Rhamnus lycioides* L. y *Atriplex halimus* L.) representativas del matorral mediterráneo. Tras la ingestión de las semillas por las cabras, se procedió durante cinco días a recoger las heces a intervalos de 24 horas. El total de semillas recuperadas varió de una especie a otra, presentando *R. lycioides* el porcentaje menor de recuperación (1,3 %) y *C. albidus* el mayor (35,8 %). En la mayoría de las especies las cantidades máximas de recuperación de semillas se dieron a las 48-72 horas tras la ingestión. A expensas de verificar la germinabilidad y supervivencia de las plántulas, los resultados sugieren una buena interacción entre el ganado caprino y las especies de matorral estudiadas.

Palabras clave: cabras, endozoochoria, semillas, arbustivas, *Cistus*.

Abstract: Herbivores play an important role in dispersing seeds through their digestive tract, and the hoofed herbivores are potential seed dispersal agents of Mediterranean grasses and scrubs. We evaluated the role of the goat as seeds dispersers of five forage shrubs, representing of the Mediterranean scrubs (*Cistus albidus* L., *Phillyrea angustifolia* L., *Calicotome villosa* (Poir.) Link., *Rhamnus lycioides* L. and *Atriplex halimus* L.). After ingestion of seeds by the goats, we collect total faeces for five days at intervals of 24 hours. The total number of seeds recovered varied among the species, presenting *R. lycioides* the minimum recovery percentage (1.3%) and *C. albidus* (35.8%) the maximum. In most species the maximum amounts of seed recovery occurred 48-72 hours after ingestion. At the expense of verifying the germination and survival of seedlings, the results suggest a good interaction between the goats and shrub species studied.

Key words: endozoochory, shrubland, seeds, recovery, *Cistus*.

INTRODUCCIÓN

La dispersión endozoócora de semillas por animales se ha investigado desde hace mucho tiempo, y su estudio se ha incrementado en los últimos años. Recientemente se ha dado mucha importancia a la función de los mamíferos herbívoros como dispersores endozoócoros de semillas (Willson, 1993; Pakeman *et al.*, 2002; Myers *et al.*, 2004) y varios estudios han demostrado la presencia de semillas en los excrementos de grandes herbívoros silvestres y domésticos (Sánchez y Peco, 2002; Manzano *et al.*, 2005; De la Vega y Godínez-Álvarez, 2010; Kuiters y Huiskes, 2010). Ya que los mamíferos herbívoros presentan un largo tiempo de paso de las semillas en el intestino (24 a 72 h) (Olson y Wallander, 2002) y realizan recorridos de largas distancias (Cory, 1972; Klein, 1981) pueden promover la rápida dispersión de las poblaciones de

plantas. Por sus hábitos alimenticios, particularmente ramoneadores (Morand-Fehr *et al.*, 1983; Devendra, 1990; Milne, 1991), las cabras domésticas pueden ser dispersoras de semillas al igual que otros herbívoros. Se ha documentado que las cabras pueden dispersar las semillas de especies arbustivas de zonas áridas y semiáridas de México (Baraza y Valiente-Banuet, 2008; Giordani, 2008), y de diversas herbáceas en Nueva Zelanda (Harrington *et al.*, 2011) o Estados Unidos (Lacey *et al.*, 1992). En España se han estudiado las leguminosas arbustivas *Adenocarpus decorticans* y *Retama sphaerocarpa* (Robles *et al.*, 2005) y las arbustivas mediterráneas *Cistus salvifolius*, *Halimium halimifolium*, *Myrtus communis* y *Pistacia lentiscus* (Mancilla-Leytón *et al.*, 2011), pero en general existe una limitada información sobre otros arbustos comunes que las cabras consumen en los matorrales mediterráneos y se ha dado muy poca atención a su papel como dispersoras de semillas de las especies arbustivas que ramonean.

En base a las anteriores consideraciones, el objetivo del trabajo fue cuantificar el número de semillas que pasan a través del intestino de cabras y la determinación del patrón de recuperación de semillas en el tiempo tras la ingestión, con el interés de conocer si las cabras pueden potencialmente dispersar las semillas de las especies de matorral que ramonean.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las semillas utilizadas en el estudio se adquirieron en una empresa especializada en la producción de semillas autóctonas ibéricas. Se utilizaron semillas sin ningún tratamiento previo de cinco forrajeras arbustivas representativas del matorral mediterráneo: *Cistus albidus* L. (Familia Cistaceae), *Phillyrea angustifolia* L. (Oleaceae), *Calicotome villosa* (Poir.) Link. (Leguminosae), *Rhamnus lycioides* L. (Rhamnaceae) y *Atriplex halimus* L. (Chenopodiaceae); las especies se eligieron por su presencia muy común en los matorrales mediterráneos, además de que son ramoneadas por cabras.

Para evaluar la recuperación de semillas después de su paso por el intestino se utilizaron seis cabras hembras adultas no gestantes de la raza Payoya de similar peso y edad (40 kg de peso promedio y 3 años de edad). Las cabras se mantuvieron en jaulas metabólicas individuales con un sistema colector de heces. Al inicio del experimento, a cada animal se le proporcionó 5000 semillas de cada una de las especies, excepto *C. villosa*, de la que solo se ofreció 1388 semillas. Las semillas se mezclaron con grano de cebada (250 g) para facilitar su ingestión, se ofrecieron a las cabras y se comprobó que fueran totalmente consumidas. Los animales tuvieron acceso a heno de alfalfa y agua *ad libitum*. Después de la ingestión de las semillas, todas las heces producidas por cada cabra se colectaron a las 24, 48, 72, 96 y 120 horas, las cuales se secaron a temperatura ambiente y se almacenaron en el laboratorio. Posteriormente, se pesaron 10 muestras de heces de 4 g por cabra para cada período de evaluación, se desmenuzaron manualmente, se identificaron y se contaron las semillas contenidas de cada una de las especies consumidas, obteniéndose la tasa promedio de recuperación.

Las diferencias entre especies en el número total de semillas recuperadas de las heces de cabra y su patrón de recuperación en los diferentes tiempos se evaluaron estadísticamente con ANOVA; la normalidad de los datos se comprobó con la prueba de Kolmogorov-Smirnov. Las diferencias entre medias se obtuvieron mediante la prueba de Tukey. El programa utilizado para todos los análisis estadísticos fue el SPSS ver. 18.00 para Windows (SPSS Inc., Chicago, IL, USA).

RESULTADOS

El total de semillas recuperadas varió de una especie a otra, presentando *R. lycioides* el menor porcentaje de recuperación (1,3 %) y *C. albidus* el mayor (35,8 %) (fig. 1). Las mayores cantidades totales de semillas recuperadas se encontraron en *C. albidus* (1794,5) y *C. villosa* (330,1), que representaron el 35,8 y 23,7 % de las semillas consumidas, respectivamente, mientras que de *A. halimus*, *P. angustifolia* y *R. lycioides*, las cantidades recuperadas fueron considerablemente menores (fig. 1). Hubo diferencias entre el número de semillas recuperadas por día para todas las especies, con recuperaciones en la mayoría de especies entre las 48-72 horas después de su ingestión, aunque en *C. albidus*, *P. angustifolia* y *C. villosa* se encontraron semillas en las heces incluso en el quinto día de muestreo.

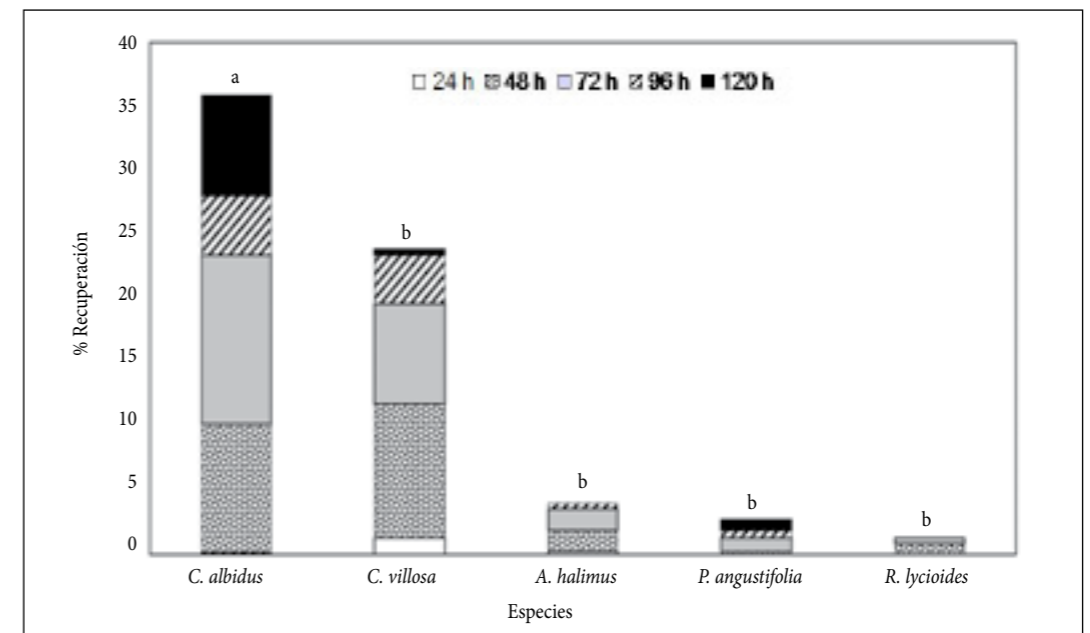


Figura 1. Porcentajes de recuperación de semillas en los diferentes tiempos de muestreo de las seis especies arbustivas estudiadas (promedio de seis animales). Letras diferentes indican diferencias significativas entre especies (Tukey $\leq 0,05$).

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos mostraron que las semillas de las plantas evaluadas resistieron la masticación y el paso por el tracto digestivo de las cabras en diferente magnitud; los valores de recuperación registrados son similares a los de otras arbustivas leguminosas (Gardener *et al.*, 1993; Miller, 1996) y no leguminosas (Mancilla-Leytón *et al.*, 2011) consumidas y dispersadas por cabras (Harrington *et al.*, 2011), borregos (Razanamandranto *et al.*, 2004) y bovinos (Gardener *et al.*, 1993). Las cantidades de semillas de las tres principales especies recuperadas se pueden relacionar con algunas de sus características; en el caso de *C. albidus*, la dureza de sus semillas, característica de la familia Cistaceae a la que pertenece, junto con su pequeño tamaño, aumentaron su resistencia a la masticación y a la rumia, como también se demostró en otros trabajos realizados con Cistáceas (Castro y Robles, 2003; Mancilla-Leytón *et al.*, 2011); ambas características debieron contribuir también en la recuperación de las semillas de *A. halimus*. Por su parte, la cubierta dura de las semillas de *C. villosa* fue sin duda el principal factor que favoreció su recuperación, ya que su semilla de tamaño grande posibilitaría su destrucción durante la masticación y la rumia, además de que se ha documentado una relación negativa entre el tamaño de las semillas y el porcentaje de semillas recuperadas después de su paso a través de las cabras (Simao Neto *et al.*, 1987).

En general la mayor cantidad de recuperación de semillas en las heces ocurre durante las primeras 48 horas, coincidiendo con los tiempos de recuperación encontrados en semillas de arbustivas consumidas por cabras (Harrington *et al.*, 2011), borregos (Manzano *et al.*, 2005) y aún en bovinos (Gardener *et al.*, 1993). La aparición de semillas en las heces de varias de las especies durante el tercer, cuarto y quinto día fue un hallazgo similar al indicado para una de las semillas evaluadas en cabras por Harrington *et al.* (2011).

Con base en el patrón de distribución temporal de las semillas en las heces, es factible la dispersión en un área amplia después de la ingesta. La dispersión de las semillas hasta lugares alejados del sitio de consumo puede ser importante en rebaños de caprinos manejados en extensivo o semiextensivo, ya que pueden desplazarse largas distancias (Manzano *et al.*, 2005), lo que contribuiría a la diseminación en el campo de las distintas especies de plantas consumidas por las cabras.

CONCLUSIONES

Las cantidades de semillas recuperadas de algunas de las especies estudiadas, las posibilidades de diseminación en un área amplia y la distribución temporal de semillas en los excrementos sugieren que los caprinos pueden ser buenos dispersores de semillas de muchas de las especies de matorral mediterráneo que consumen. Esto debería tenerse en cuenta al diseñar los planes de manejo de los rebaños con el fin de evitar la invasión de arbustos en zonas no deseadas, y también podría utilizarse como una herramienta de manejo para la dispersión de las poblaciones de especies arbustivas deseables.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a D. José Ardila y Dehesa de Gatos S.A. su ayuda y colaboración. Nuestro especial agradecimiento a Dña. Yolanda Paz por su gran apoyo y dedicación en el procesamiento de las muestras en el laboratorio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARAZA E. Y VALIENTE-BANUET A. (2008) Seed dispersal by domestic goats in a semiarid thornscrub of Mexico. *Journal of Arid Environments*, **72**, 1973-1976.
- CASTRO J. Y ROBLES A.B. (2003) Dispersión endozoócora por ganado ovino de las semillas de seis especies de Cistáceas. En: Robles, A.B. *et al.* (Eds) *Pastos, desarrollo y conservación*, Actas de la XLIII Reunión Científica de la Sociedad Española para el Estudio de los Pastos, Granada, pp. 645-650. Sevilla, España: Consejería de Agricultura y Pesca, Junta de Andalucía.
- CORY V.L. (1972) Activities of livestock on the range. *Agricultural Experience*, **367**, 18-23.
- DE LA VEGA G.S. Y GODÍNEZ-ÁLVAREZ H. (2010) Effect of gut passage and dung on seed germination and seedling growth: donkeys and a multipurpose mesquite from a Mexican inter-tropical desert. *Journal of Arid Environments*, **74**, 521-524.
- DEVENDRA C. (1990) The use of shrubs and tree fodders by ruminants. En: Devendra, C. (ed) *Shrubs and tree fodders for farm animals*, Proceedings of a workshop in Denpasar, Indonesia, 24-29 July 1989, pp. 42-60. Ottawa, Canada: International Development Research Centre.
- GARDENER C.J., McIVOR J.G. Y JANSEN A. (1993) Passage of legume and grass seeds through the digestive tract of cattle and their survival in faeces. *Journal of Applied Ecology*, **30**(1), 63-74.
- GIORDANI, L. (2008). The role of goats in germination and dispersal of *Mimosa luisana* Brandege (Leguminosae-Mimosoideae) seeds in Tehuacán-Cuicatlán valley, Puebla State, Mexico. Master Thesis. Norway: Norwegian University of Life Sciences.
- HARRINGTON K.C., BESKOW W.B. Y HODGSON J. (2011) Recovery and viability of seeds ingested by goats. *New Zealand Plant Protection*, **64**, 75-80.
- KLEIN J. (1981) *La Mesta*. Madrid, España: Alianza Editorial.
- KUITERS A.T. Y HUISKES H.P.J. (2010) Potential of endozoochorous seed dispersal by sheep in calcareous grasslands: correlations with seed traits. *Applied Vegetation Science*, **13**, 163-172.
- LACEY J.R., WALLANDER R. Y OLSON-RUTZ K. (1992) Recovery, germinability, and viability of Leafy Spurge (*Euphorbia esula*) seeds ingested by sheep and goats. *Weed Technology*, **6**(3), 599-602.
- MANCILLA-LEYTÓN J.M., FERNÁNDEZ-ALÉS R. Y MARTÍN VICENTE A. (2011) Plant-ungulate interaction: goat gut passage effect on survival and germination of Mediterranean shrub seeds. *Journal of Vegetation Science*, **22**(6), 1031-1037.
- MANZANO P., MALO J.E. Y PECO B. (2005) Sheep gut passage and survival of Mediterranean shrub seeds. *Seed Science Research*, **15**, 21-28.
- MILLER M.F. (1996) Dispersal of *Acacia* seeds by ungulates and ostriches in an African savanna. *Journal of Tropical Ecology*, **12**, 345-356.
- MILNE J.A. (1991) Diet selection by grazing animals. *Proceeding of the Nutrition Society*, **50**, 77-85.
- MORAND-FEHR P., BOURBOUZE A., LE HOUÉROU H.N., GALL C. Y BOYAZOGLU J.G. (1983) The role of goats in the Mediterranean area. *Livestock Production Science*, **10**(6), 569-587.
- MYERS J.A., VELLEND M., GARDESCU S. Y MARKS P.L. (2004) Seed dispersal by white-tailed deer: implications for long distance dispersal, invasion, and migration of plants. *Oecologia*, **139**, 35-44.

- OLSON B.E. Y WALLANDER R.T. (2002) Does ruminal retention time affect leafy spurge seed of varying maturity? *Journal of Range Management*, **55**, 65-69.
- PAKEMAN R.J., ENGELEN J. Y ATTWOOD J.P. (2002) Ecological correlates of endozoochory by herbivores. *Functional Ecology*, **16**, 296-304.
- RAZANAMANDRANTO S., TIGABU M., NEYA S. Y ODÉN P.C. (2004) Effects of gut treatment on recovery and germinability of bovine and ovine ingested seeds of four woody species from the Sudanian savanna in West Africa. *Flora*, **199**(5), 389-397.
- ROBLES A.B., CASTRO J., GONZALEZ MIRAS E. Y RAMOS M.E. (2005) Effects of ruminal incubation and goat's ingestion on seed germination of two legume shrubs. *Options Méditerranéennes Series A*, **67**, 111-115.
- SÁNCHEZ A.M. Y PECO B. (2002) Dispersal mechanisms in *Lavandula stoechas* subsp. *pedunculata*: autochory and endozoochory by sheep. *Seed Science Research*, **12**, 101-111.
- SIMAO NETO M., JONES R.M. Y RATCLIFF D. (1987) Recovery of pasture seed ingested by ruminants. 1. Seed of six tropical pasture species fed to cattle, sheep and goats. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, **27**, 239-246.
- WILLSON M.F. (1993). Mammals as seed-dispersal mutualists in North America. *Oikos*, **67**, 159-176.

Caracterización florística y fitosociológica de los pastizales del complejo lagunar de Villacañas (Toledo) incluidos en la directiva hábitat

Floristic and phytosociological characterization of the grassland types included in the habitats directive, in the lagoon complex of Villacañas (Toledo)

J. ROJO / R. PÉREZ-BADIA / C. VAQUERO / F. FERNÁNDEZ-GONZÁLEZ
 Área de Botánica, Instituto de Ciencias Ambientales, Universidad de Castilla-La Mancha, 45071 Toledo (España).

Resumen: Se realiza la caracterización florística y fitosociológica, y cartografía de los pastizales incluidos entre los hábitats de interés europeo de la Directiva 92/43/CEE del complejo lagunar de Villacañas (Toledo). Estos pastizales han sido aprovechados tradicionalmente por el ganado ovino del sistema cereal-ovino manchego, que comparte el territorio con el uso agrícola predominante. Los resultados muestran que un total de 6 unidades sintaxonómicas, que incluyen juncales, gramales y albardinales halófilos, y majadales, forman parte de la Directiva 92/43/CEE, algunas con carácter prioritario (albardinales y majadales). Estos pastizales ocupan una superficie de 84,79 ha, que representa el 29 % del territorio ocupado por vegetación natural.

Palabras clave: Red Natura 2000, biodiversidad, humedales, conservación.

Abstract: A floristic and phytosociological characterization, and mapping of grassland habitats included in the Habitats Directive in the lagoon complex of Villacañas (Toledo), was carried out. In this area, the traditional agro-pastoral system uses food resources including agricultural residues (cereal or legume stubbles, as well as fallow) and marginal non-arable, unproductive land (grasslands, shrub-steppe vegetation and shrublands). The results show a total of 6 syntaxonomical units and the grasslands occupy an area of 84.79 ha, representing 29% of the area under natural vegetation. Recommendations related to grazing are also included.

Key words: Natura 2000 network, biodiversity, wetlands, conservation.

INTRODUCCIÓN

Los saladares interiores o salobres aparecen asociados a sistemas hidrológicos endorreicos en sustratos a menudo yesíferos, y albergan una flora y vegetación especializadas con gran singularidad e interés desde el punto de vista de la conservación (Martín *et al.*, 2003). Una de las áreas de la Península Ibérica con mejor representación de estos sistemas es la denominada Mancha húmeda, situada en la zona central de Castilla-La Mancha y declarada Reserva de la Biosfera en el año 1980.

El objetivo de este trabajo es caracterizar los pastizales incluidos entre los hábitats de interés europeo de la Directiva 92/43/CEE que se encuentran presentes en el complejo lagunar de Villacañas (Toledo), uno de los más interesantes de la Mancha húmeda, que además está incluido en el Lugar de Interés Comunitario (LIC) "Humedales de la Mancha" y del que forman parte las Reservas Naturales de las lagunas de Tírez y Peña Hueca. Para ello, se ha llevado a cabo un análisis florístico y fitosociológico y una cartografía de estas comunidades. Además, se incluyen una serie de consideraciones sobre su conservación relacionadas con el uso ganadero.

MATERIAL Y MÉTODOS

El término de Villacañas está situado en el extremo suroriental de la provincia de Toledo y se encuadra en la comarca natural de La Mancha. El complejo lagunar está formado por la laguna Larga que, con una superficie inundable de 84 ha, mantiene la lámina de agua todo el año. Al norte de esta laguna aparecen dos más pequeñas estacionales, denominadas Gramosa (10 ha) y Redondilla (3,3 ha). Al sur del municipio se encuentran las lagunas hipersalinas y estacionales de Tírez y Peña Hueca, con cubetas de 62 y 84,2 ha respectivamente (fig. 1). El territorio pertenece, desde el punto de vista biogeográfico, al sector Manchego de la provincia Mediterránea Ibérica Central, y bioclimáticamente, se encuadra en el piso mesomediterráneo seco (Rivas-Martínez, 2007). Junto al uso agrícola predominante en el territorio, se mantiene un tradicional sistema agro-pastoral que incluye una cabaña ovina de 5 500 cabezas y utiliza como recursos alimenticios los residuos agrícolas (rastreras de cereal o de leguminosas y barbechos) y los pastos de las zonas no cultivadas o improductivas (complejo lagunar y eriales).



Figura 1. Localización del complejo lagunar de Villacañas (Toledo).

La caracterización de los pastizales incluidos entre los hábitats de interés de la Directiva 92/43/CEE, se ha llevado a cabo durante los años 2010-2011 mediante la realización de un total de 57 inventarios fitosociológicos siguiendo la metodología fitosociológica (Braun-Blanquet, 1979). La nomenclatura florística sigue a Castroviejo *et al.* (1986-2011) y la fitosociológica a Rivas-Martínez *et al.* (2001, 2002). Además, se ha cartografiado la vegetación de una banda de 300 m alrededor de los vasos lagunares. Para ello se han delimitado teselas homogéneas con un sistema de información geográfica (ArcGis 9.2), comprobando su contenido sobre el terreno, y asignando el tipo de hábitat correspondiente.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se han catalogado un total de 6 asociaciones que se incluyen en tres clases fitosociológicas: *Juncetea maritimi* (juncales y praderas halófilas), *Sarcocornietea fruticosae* (albardinales halófilos) y *Poetea bulbosae* (majadales).

En total se ha cartografiado un área de 1 027 ha, de las que 291 ha corresponden a superficie cubierta con vegetación natural, y el resto a cultivos agrícolas, repoblaciones, infraestructuras viarias y construcciones, y láminas de agua (fig. 2A). Los pastizales incluidos en la Directiva Hábitat ocupan una superficie total de 84,79 ha representando el 29% de la superficie correspondiente a la vegetación natural del territorio (fig. 2B).

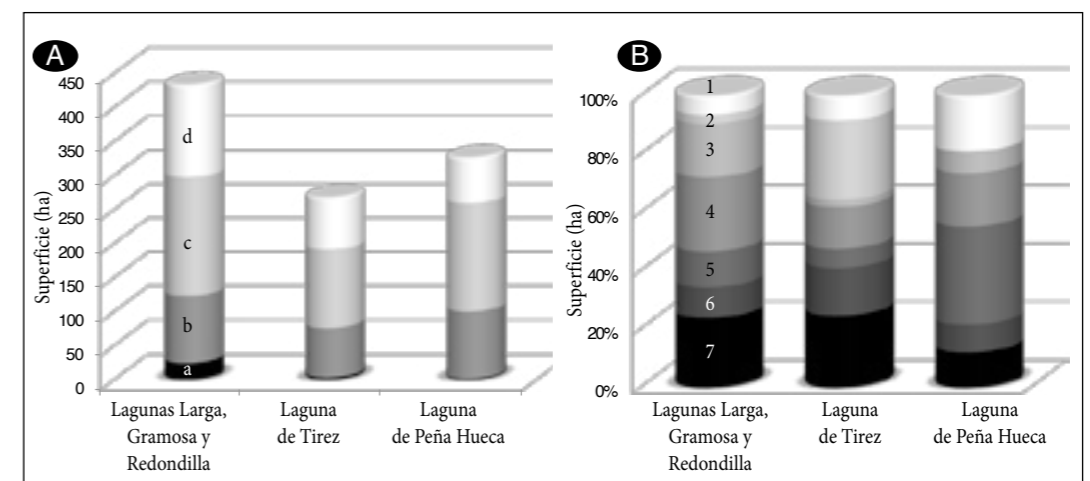


Figura 2. A) Superficie (ha) de las lagunas. Unidades cartografiadas: a: áreas urbanas e infraestructuras; b: vaso lagunar; c: cultivos agrícolas y forestales; d) vegetación natural. B) Proporción de tipos de vegetación, respecto al total de la vegetación natural. Tipos de vegetación: 1: albardinales halófilos; 2: majadales; 3: juncales y praderas halófilas; 4: vegetación anual de saladar; 5: vegetación fruticosa de saladar; 6: matorrales y otros pastizales; 7: vegetación nitrófila.

Juncales halófilos. Se corresponden con prados juncales desarrollados sobre suelos salinos húmedos, marcados por una moderada desecación estival. Forman bandas de vegetación en los bordes de las lagunas, dominadas por especies de juncáceas, ciperáceas y gramíneas. En general, son comunidades pobres en especies, aunque a menudo se enriquecen con halófitos propios de la vegetación fruticosa (*Suaeda vera*, *Limonium supinum*), de las comunidades anuales (*Suaeda spicata*) o de los pastizales salinos (*Aeluropus littoralis*, *Puccinellia fasciculata* o *Elymus curvifolius*) con los que contactan. En el territorio están representadas tres asociaciones (tabla 1). La más extendida, *Aeluropodo littoralis-Juncetum subulati*, corresponde a juncales de *Juncus subulatus* que ocupan una superficie de 1,99 ha y se localizan en los bordes y en depresiones húmedas. También son comunes, con una superficie de 1,62 ha, los juncales de junco marítimo (*Juncus maritimus*) de la asociación *Elymo curvifolii-Juncetum maritimi*, que soportan una mayor desecación estival. Con una extensión más restringida (0,79 ha

en la laguna de Peña Hueca) se establecen praderas halófilas muy densas de junquillo negro (*Schoenus nigricans*) que contactan frecuentemente con el albardinal y que se incluyen en la asociación *Schoeno nigricantis-Plantaginetum maritimae*.

Los impactos de las roturaciones agrícolas en el entorno de las lagunas y de la alteración de la dinámica hídrica natural, han provocado la fragmentación de estos juncales. El pastoreo y una excesiva carga ganadera también son negativos para la situación actual de estas comunidades; en algunos enclaves se ha observado la erosión del sustrato por pisoteo y una banalización del cortejo florístico por la nitrificación producida por las deyecciones del ganado. Por lo tanto, teniendo en cuenta su escasa extensión actual, estos juncales deberían quedar fuera de las zonas de pastoreo.

Tabla 1. Juncales halófilos: Inv. 1-6: *Aeluropodo littoralis-Juncetum subulati*; inv. 7-12: *Elymo curvifolii-Juncetum maritimi*; inv. 13-14: *Schoeno nigricantis-Plantaginetum maritimae*.

Nº de inventario	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Características														
<i>Juncus subulatus</i>	5	4	5	5	4	5								
<i>Juncus maritimus</i>	+			1	1		4	4	5	4	4	4	1	
<i>Schoenus nigricans</i>													4	4
<i>Puccinellia fasciculata</i>	1	+	1		1	+	+	+	+	+	1			
<i>Elymus curvifolius</i>	+	1					1				1		2	1
<i>Aeluropus littoralis</i>				1			2			1	3		+	
Compañeras														
<i>Limonium carpetanicum</i>	+						1	2	2	2			1	
<i>Suaeda vera</i>				+		+	+	+	+	+				
<i>Suaeda spicata</i>		+					1	+	+	+				
<i>Sarcocornia perennis</i> subsp. <i>alpini</i>		+					+	+	+	+				
<i>Salsola soda</i>		2	+		+		+							
<i>Phragmites australis</i>		+	+								+		+	

Además: Características: *Linum maritimum* + (13). **Compañeras:** *Centaurium spicatum* + (6, 11 y 13); *Limonium supinum* 1 (11 y 14); *Atriplex patula* 1 (5), + (4); *Polypogon maritimus* + (5 y 6); *Urtica urens* 2 (12); *Lygeum spartum* 2 (14); *Spergularia bocconeii* 1 (7); *Onopordum nervosum* 1 (12); *Galium aparine* 1 (12); *Sisymbrium runcinatum* DC. 1 (12); *Senecio auricula* subsp. *castellanus* 1 (14); *Microcnemum coralloides* subsp. *coralloides* + (7 y 13); *Salicornia ramosissima* + (11); *Hypochaeris imberbe* + (12); *Suaeda splendens* + (5); *Chenopodium chenopodioides* + (5); *Cressa cretica* + (5); *Juncus hybridus* + (6); *Sphenopus divaricatus* + (6).

Características de los inventarios: número, altitud, área del inventario, laguna y cuadrícula UTM 1x1 km. Cobertura vegetal 100%

- 1 (650 m. 20 m²), 7 (651 m. 20 m²) y 12 (649 m. 25 m²) Laguna de Tírez 30SVJ67.
- 2 (649 m. 10 m²), 6 (647 m. 5 m²), 8 (648 m. 5 m²), 9 (648 m. 100 m²), 10 (646 m. 5 m²) y 11 (643 m. 20 m²) Laguna de Peña Hueca 30SVJ77.
- 3 (654 m. 3 m²), 4 (656 m. 10 m²) y 5 (657 m. 25 m²) Laguna Larga 30SVJ78.

Praderas halófilas. Praderas de gran cobertura dominadas por gramíneas vivaces como *Puccinellia fasciculata* y *Aeluropus littoralis*, a las que acompañan otras especies como juncos (*Juncus maritimus*) o *Elymus curvifolius* (tabla 2). Pertenecen a la asociación ibérica *Puccinellietum lagascae*, y forman bandas extensas de vegetación en los bordes de las lagunas, ocupando una superficie de 14,92 ha. Frecuentemente, estos pas-

tizales aparecen junto con las comunidades de almajo dulce (*Suaeda vera*). Presentan un buen estado de conservación. El carácter colonizador de estos pastizales permite que se regeneren rápidamente, soportando cierta carga ganadera.

Tabla 2. *Puccinellietum lagascae* (S: columna sintética).

Nº de inventario	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	S	
Características																										
<i>Puccinellia fasciculata</i>	1		3	2	+	1	1	4	5	5	5	4	5	5	5	5	5	4	5	1	5	5	1	5	V	
<i>Aeluropus littoralis</i>	5	5	3	4	4	4	5	3					+	1					1	5		1	5		II	
Compañeras																										
<i>Suaeda spicata</i>				+	1			+	1	+				+	1	+	+	+		+	+	+	1		+	V
<i>Salicornia ramosissima</i>	+		+				+	1	1		+	1		1	+	+	+	+	2				+	+	+	V
<i>Limonium carpetanicum</i>		+	+	+	2	1	+						+										+		II	
<i>Spergularia bocconeii</i>	+	2							+	+			+													II
<i>Hordeum marinum</i>										1					+			+			+	1				II
<i>Salsola soda</i>			+	+							+			+	+	+					+					II

Además: Características: *Juncus maritimus* + (5, 6, 7, 9 y 11); *Juncus subulatus* + (6, 10, 11 y 23); *Elymus curvifolius* 2 (2), 1 (4), + (1); *Linum maritimum* + (2); *Bassia scoparia* + (1, 7 y 8); *Centaurium spicatum* 1 (2), + (7, 23 y 24); *Suaeda vera* 1 (12), + (20, 21, 23 y 24); *Sarcocornia perennis* subsp. *alpini* 1 (3 y 12), + (4); *Microcnemum coralloides* subsp. *coralloides* 1 (5), + (2 y 7); *Atriplex patula* + (14, 19 y 20); *Sphenopus divaricatus* + (12, 17 y 20); *Phragmites australis* + (2, 8 y 9); *Frankenia thymifolia* 1 (8), + (19); *Cressa cretica* + (14 y 21); *Lygeum spartum* + (6 y 12); *Polypogon maritimus* + (8 y 13); *Plantago coronopus* 1 (1); *Anacyclus clavatus* + (1); *Aster squamatus* + (21); *Frankenia pulverulenta* + (12); *Koeleria vallesiana* + (11); *Salsola kali* subsp. *ruthenica* + (4).

Características de los inventarios: número, altitud, área del inventario, laguna y cuadrícula UTM 1x1 km. Cobertura vegetal 100% (salvo indicación):

- 1 (652 m. 10 m²), 9 (653 m. 100 m²) y 10 (654 m. 100 m²) Laguna de Tírez 30SVJ67.
- 2 (646 m. 10 m²), 3 (648 m. 4 m². 90%), 4 (649 m. 4 m²), 5 (648 m. 5 m². 90%), 6 (646 m. 5 m². 80 %), 7 (647 m. 5 m²), 8 (646 m. 10 m²), 11 (647 m. 5 m²), 12 (657 m. 10 m²), 23 (647 m. 5 m²) y 24 (654 m. 15 m²) Laguna de Peña Hueca 30SVJ77.
- 13 (657 m. 10 m²), 14 (659 m. 20 m²), 15 (657 m. 10 m²), 16 (669 m. 10 m²), 17 (656 m. 20 m²), 18 (656 m. 10 m²), 19 (654 m. 5 m²), 20 (660 m. 5 m²), 21 (661 m. 5 m²) y 22 (660 m. 20 m²) Laguna Larga 30SVJ78.

Albardinales halófilos. Comunidades de gramíneas vivaces de gran cobertura (80-100%), dominadas por el albardín (*Lygeum spartum*) (tabla 3) y adscritas a la asociación *Senecioni castellani-Lygeetum sparti*. Prosperan sobre suelos de carácter salino e inundación ocasional, situados en posiciones más alejadas de las cubetas endorreicas donde pueden aparecer eflorescencias salinas. Al albardín le acompañan especies características (*Elymus curvifolius*), algunas de ellas, endemismos de interés como *Limonium carpetanicum*, *L. supinum*, *Lepidium cardamines* o *Senecio auricula* subsp. *castellanus* (tabla 3). Además, están presentes otras especies procedentes de los herbazales y juncales halófilos (*Puccinellia fasciculata*, *Juncus maritimus*), de las comunidades anuales de saladares (*Microcnemum coralloides*) o de las comunidades nitrófilas con las que contactan. Son frecuentes en todas las lagunas, cubriendo una superficie de 28,24 ha. Debieron ocupar mayores extensiones y se han reducido a causa de la transformación del territorio en cultivos agrícolas. Una adecuada carga ganadera permite la conservación de la estructura y la composición florística de los albardinales halófilos.

Tabla 3. *Senecioni castellani-Lygeetum sparti* (S: columna sintética).

Nº de inventario	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	S
Características																
<i>Lygeum spartum</i>	5	5	5	4	5	5	4	4	5	5	5	4	5	+	+	V
<i>Elymus curvifolius</i>	1		+	1	1	+	1	1	+		1	+		5	5	IV
<i>Limonium carpetanicum</i>	+	1	+			1			+	1	+	+	1	1	1	IV
<i>Limonium supinum</i>			+		+	+	1	+				2	+	+		III
<i>Lepidium cardamines</i>							+				+	+	+			II
Compañeras																
<i>Lactuca serriola</i>		+	+	+	+	+		+	1	+	+	+			1	IV
<i>Sonchus crassifolius</i>	1	+		+	+					+				+	+	III
<i>Reseda stricta</i> subsp. <i>stricta</i>	+						+		+	+	+		+			II
<i>Helianthemum salicifolium</i>						+	+	+		+	+		+			II
<i>Centaureum spicatum</i>	+	+	+	+		+										II
<i>Schoenus nigricans</i>		+		2	+		2									II
<i>Aeluropus littoralis</i>				1				1				1		1		II
<i>Bromus rubens</i>							1					1	+	+		II
<i>Juncus maritimus</i>		+	+	1		+										II
<i>Bombycilaena erecta</i>						+	1		+	+						II
<i>Erodium cicutarium</i>						+	+		+				+			II
<i>Frankenia thymifolia</i>							+				+		1	+		II

Además: **Características:** *Suaeda vera* + (9,14 y 15); *Senecio auricula* subsp. *castellanus* 1 (7). **Compañeras:** *Centaurea melitensis* 2 (8), 1 (11), + (9); *Salsola vermiculata* + (1 y 9), 1(12); *Filago pyramidata* + (6 y 12), 1 (8); *Tragopogon porrifolius* + (5, 6 y 9); *Avena sterilis* + (8, 11 y 12); *Papaver rhoeas* + (9, 11 y 12); *Bromus hordeaceus* + (8, 12 y 15); *Sonchus oleraceus* + (12, 13 y 15); *Plantago coronopus* 1 (12 y 13); *Carthamus lanatus* 1 (8), + (12); *Eryngium campestre* 1 (8), + (12); *Galium parisiense* 1 (8), + (12); *Mantisca salmantica* 1 (8), + (12); *Galium aparine* 1 (13), + (15); *Phragmites australis* + (4 y 7); *Allium pallens* subsp. *pallens* + (8 y 11); *Anacyclus clavatus* + (8 y 9); *Stipa parviflora* + (8 y 11); *Sisymbrium irio* + (9 y 13); *Microcnemum coralloides* subsp. *coralloides* + (1 y 14); *Atriplex patula* + (12 y 15).

Características de los inventarios: número, altitud, área del inventario, laguna y cuadrícula UTM 1x1 km. Cobertura vegetal 100% (salvo indicación):

1 (647 m. 20 m²), 2 (646 m. 30 m²), 3 (645 m. 50 m²), 4 (642 m. 10 m²), 5 (645 m. 20 m²), 6 (655 m. 20 m²), 7 (653 m. 50 m²), 10 (649 m. 100 m²) y 11 (648 m. 100 m²) Laguna de Peña Hueca 30SVJ77.
8 (650 m. 50 m²) y 9 (651 m. 50 m²) Laguna de Tírez 30SVJ67.
12 (657 m. 150 m². 80 %), 13 (667 m. 25 m²), 14 (659 m. 25 m²) y 15 (655 m. 30 m²) Laguna Larga 30SVJ78.

Majadales. Pastizales de gran cobertura (90-100%) dominados por la grama cebollera (*Poa bulbosa*), incluidos en la asociación *Poo bulbosae-Astragaletum sesamei* (tabla 4). Las extensiones de majadal mejor conservadas se encuentran en la parte occidental de la laguna de Tírez, donde se mantiene el pastoreo de ganado lanar y donde los majadales cubren áreas de cierta continuidad, representando una superficie total de 25,05 ha. Las principales amenazas provienen del posible declive de la actividad ganadera, de la que depende su conservación.

Tabla 4. *Poo bulbosae-Astragaletum sesamei* (S: columna sintética).

Nº Orden	1	2	3	4	S
Características					
<i>Poa bulbosa</i>	4	4	4	4	V
<i>Plantago albicans</i>	2	1	3	3	V
Compañeras					
<i>Asteriscus aquaticus</i>	+	1	+		IV
<i>Helianthemum salicifolium</i>	1		1	2	IV
<i>Centaurea melitensis</i>	1	+	+		IV
<i>Atractylis humilis</i>	+	+	+		IV
<i>Limonium echioides</i>	+	+	+		IV
<i>Lygeum spartum</i>	+	+	+		IV
<i>Matthiola fruticulosa</i>	+	+	+		IV
<i>Bromus rubens</i>		3	+		III
<i>Aeluropus littoralis</i>		1	1		III
<i>Erodium cicutarium</i> subsp. <i>cicutarium</i>	+			1	III
<i>Eryngium campestre</i>		1	+		III
<i>Helianthemum ledifolium</i>		+	1		III
<i>Limonium supinum</i>		1	+		III
<i>Stipa parviflora</i>		1	+		III
<i>Teucrium gnaphalodes</i>	1		+		III
<i>Carthamus lanatus</i>	+	+			III
<i>Frankenia thymifolia</i>			+	+	III
<i>Reseda stricta</i> subsp. <i>stricta</i>	+	+			III
<i>Salvia verbenaca</i>		+	+		III
<i>Suaeda vera</i>		+	+		III

Además: **Compañeras:** *Teucrium pseudochamaepitys* 1 (1); *Thymelaea passerina* 1 (1); *Koeleria vallesiana* 1 (2); *Trigonella monspeliaca* 1 (2); *Medicago minima* 1 (4); *Holosteum umbellatum* 1 (4); *Erophila verna* 1 (4); *Leontodon taraxacoides* subsp. *longirostris* 1 (4); *Bartsia trixago* + (1); *Bombycilaena erecta* + (1); *Echinaria capitata* + (1); *Reseda phyteuma* + (1); *Rumex bucephalophorus* L. subsp. *gallicus* + (1); *Stipa tenacissima* + (1); *Amaranthus blitoides* + (2); *Chondrilla juncea* + (2); *Crepis vesicaria* subsp. *haenseleri* + (2); *Heliotropium europaeum* + (2); *Hirschfeldia incana* + (2); *Lactuca serriola* + (2); *Neatostema apulum* + (2); *Picnomon acarna* + (2); *Salsola kali* subsp. *ruthenica* + (2); *Scorzonera laciniata* + (2); *Sonchus oleraceus* + (2); *Filago pyramidata* + (3); *Taraxacum officinale* + (4); *Capsella bursa-pastoris* + (4); *Sisymbrium runcinatum* + (4); *Evax carpetana* + (4).

Características de los inventarios: número, altitud, área del inventario, laguna y cuadrícula UTM 1x1 km. Cobertura vegetal 100% (salvo indicación):

1 (667 m. 50 m². 90 %) Laguna de Peña Hueca 30SVJ77.
2 (652 m. 100 m²), 3 (655 m. 100 m². 90 %) y 4 (657 m. 10 m²) Laguna de Tírez 30SVJ67.

CONCLUSIONES

En el complejo lagunar del municipio de Villacañas (Toledo) se encuentran juncales, praderas y albardinales halófilos, y majadales con interés de conservación por su inclusión en la Directiva de Hábitats. Estas comunidades, además de albergar especies

endémicas y de interés ambiental en su cortejo florístico, constituyen bandas de vegetación que protegen a los humedales frente a los impactos originados por los cambios de uso en el entorno del sistema lagunar. Las estrategias para su conservación deben contemplar, además de su inclusión en los espacios naturales protegidos, su recuperación en aquellas zonas donde han desaparecido. Respecto al pastoreo, se recomienda su mantenimiento regulado en los majadales y albardinales, y que se evite la entrada del ganado en el resto de las comunidades.

AGRADECIMIENTOS

Trabajo financiado por el Ayuntamiento de Villacañas a través del convenio CONV100317.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRAUN-BLANQUET J. (1979) *Fitosociología*. Barcelona, España: Ed. Blume.
- CASTROVIEJO S. *et al.* (eds.) (1986-2011) *Flora Ibérica*. Madrid, España: Real Jardín Botánico (C.S.I.C).
- MARTÍN J., CIRUJANO S., MORENO M., PERIS J.B. Y STÜBING G. (2003) *La vegetación protegida en Castilla-La Mancha*. Toledo, España: Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha.
- RIVAS-MARTÍNEZ S. (2007) Mapa de series, geoserias y geopermaseries de vegetación de España. Memoria del Mapa de Vegetación Potencial de España. Parte 1. *Itinera Geobot.*, **17**, 1-436.
- RIVAS-MARTÍNEZ S., FERNÁNDEZ-GONZÁLEZ F., IZCO J., LOIDI J., LOUSA M. Y PENAS, A. 2002. Vascular plant communities of Spain and Portugal. Addenda to the syntaxonomical checklist of 2001. *Itinera Geobot.*, **15**, 5-922.
- RIVAS-MARTÍNEZ S., FERNÁNDEZ-GONZÁLEZ F., LOIDI J., LOUSA M. Y PENAS A. (2001) Syntaxonomical checklist of vascular plant communities of Spain and Portugal to association level. *Itinera Geobot.*, **14**, 5-341.

Listado de los tipos de pastizales y prados presentes en Navarra

Checklist of the grasslands and meadows of Navarre

A. BERASTEGI¹ / J. PERALTA² / M. LORDA³ / J.L. REMÓN⁴ / I. GARCÍA-MIJANGOS⁵ / I. BIURRUN⁵

¹Gestión Ambiental de Navarra, S.A. Padre Adoain 219, 31015 Pamplona-Iruña

²Dpto. de Ciencias Medio Natural, Universidad Pública de Navarra, 31016 Pamplona-Iruña

³I.E.S. Agroforestal, 31015 Pamplona-Iruña

⁴Gestión Ambiental y Gestión de Pastos, Avda. Pío XII, 6, 31008 Pamplona-Iruña

⁵Dpto. de Biología Vegetal y Ecología, Universidad del País Vasco-Euskal Herriko Unibertsitatea, Leioa

Resumen: Se elabora el listado de los prados y pastizales de Navarra con 69 tipos de asociaciones y comunidades vegetales estudiadas mediante el método fitosociológico; se incluyen en 7 grandes grupos y 37 subgrupos. La composición florística de estos pastizales supone el 57% de la flora de Navarra. De los 37 subgrupos, 27 están incluidos en 11 hábitats de interés comunitario de acuerdo con la Directiva de Hábitats, representando el 19% del total presente en Navarra.

Palabras clave: Directiva hábitats, biodiversidad, vegetación, inventariación.

Abstract: It has been done a checklist of 73 types of grasslands and meadows of Navarre, classified using the phytosociological method. They are included in 7 major groups and 41 subgroups. The floristic composition of these grasslands accounts for 57% of the flora of Navarre. 25 subgroups are included in 11 habitats of Community interest under the Habitats Directive, accounting for 19% of the total recorded in Navarre.

Key words: Habitats Directive, biodiversity, vegetation, survey.

INTRODUCCIÓN

Los prados y pastizales se encuentran entre los hábitats más ricos en especies de Europa (Silva *et al.* 2008) y se valoran también por los servicios que ofrecen a la sociedad, como son el mantenimiento de los sistemas ganaderos extensivos, así como los usos recreativos y turísticos (San Miguel, 2001; Caballero, 2007). Además, en la mayor parte de Europa, los cambios en el manejo agrícola-ganadero están provocando una disminución drástica de su superficie, considerándose en la actualidad uno de los ecosistemas más amenazados (DOCE 1992; Bartolomé *et al.*, 2005; Silva *et al.*, 2008).

Los catálogos de comunidades vegetales, hábitats y especies son un prerequisite para caracterizar territorios por su importancia para la conservación, evaluar el impacto ambiental de proyectos, ordenar el uso de recursos naturales o constituir redes coherentes de espacios naturales protegidos (Moss *et al.*, 1991). Preguntas como: ¿Qué tipos de pastizales, o cuántos, se pueden encontrar en un espacio natural protegido?, ¿Qué porcentaje supone con respecto al total de tipos de pastizales existentes en determinado territorio?, son cada vez más frecuentes en el ámbito de la gestión y conservación de los recursos naturales.

Navarra presenta una gran diversidad orográfica y geológica, así como un gradiente climático acusado de norte a sur y, en menor medida, de oeste a este, lo que

explica su gran diversidad de flora y vegetación; esta diversidad unida a los variados usos agropecuarios tradicionales del territorio hace que también sean muy diversos los tipos de prados y pastizales presentes y que su estudio sea complejo.

Este estudio tiene como objetivo presentar un listado actualizado de los tipos de prados y pastizales presentes en Navarra. Este listado puede servir de base para la inventariación, tipificación y cartografía de la vegetación y los recursos pascícolas. Además, analiza la relación de estos tipos de pastizales con los hábitats de interés comunitario o prioritarios de la Directiva de Hábitats (DOCE, 1992).

MATERIAL Y MÉTODOS

Las comunidades tratadas son las dominadas habitualmente por gramíneas, pero también por otras especies, sobre todo herbáceas, incluidas en las siguientes clases fitosociológicas (tipología de Rivas-Martínez *et al.*, 2011): *Carici rupestris-Kobresietea myosuroidis*, *Kobresio myosuroidis-Seslerietea caerulea*, *Caricetea curvulae*, *Tuberarietea guttatae*, *Festuco valesiacae-Brometea erecti*, *Festuco hystricis-Ononidetea striatae*, *Poetea bulbosae*, *Sedo albi-Scleranthetea biennis*, *Lygeo sparti-Stipetea tenacissimae*, *Molinio caeruleae-Arrhenatheretea elatioris* y *Nardetea strictae*. No se ha considerado la vegetación antropógena nitrófila, la megafórbica y de lindero de bosques, ni la helofítica o halófila.

Estas comunidades incluyen los “pastos herbáceos” (prados, pastizales, pastos de puerto) y los “páramos o parameras” de la clasificación de Ferrer *et al.* (2001). Sin embargo, se incluyen también otras formaciones que si bien pueden ser objeto de pastoreo o intercalarse en zonas de pastoreo, normalmente no se consideran como un recurso pascícola, como por ejemplo, algunos juncuales, herbazales hidrófilos, comunidades comofíticas, etc.

El listado de prados y pastizales presentes en Navarra se basa en un trabajo previo de revisión bibliográfica, determinación de material de herbario, trabajo de campo y análisis estadístico de inventarios fitosociológicos (Peralta *et al.*, 2009; Berastegi, 2010). El último listado publicado con las asociaciones y comunidades fitosociológicas del territorio es el de Loidi *et al.* (1997).

Las diferentes asociaciones fitosociológicas y comunidades vegetales se agrupan por sus afinidades florísticas, estructurales y ecológicas (Peralta *et al.*, 2009). La denominación de las asociaciones y subasociaciones está de acuerdo con Rivas-Martínez *et al.* (2011); las novedades todavía no publicadas válidamente por Berastegi (2010) se indican como *ass.* o *subass. nova propos.*; como “comunidades” se incluyen tipos reconocidos de pastos de los que no existe información suficiente para su propuesta como asociación.

Se ha establecido la correspondencia entre cada tipo de prado o pastizal reconocido con los hábitats de interés comunitario y prioritarios del Anexo I de la Directiva de Hábitats, teniendo en cuenta la Leyenda del Inventario Nacional de Hábitats (Ministerio Medio Ambiente, 1997), la descripción de éstos hábitats de interés (Bartolomé *et al.*, 2005; Ríos & Salvador, 2009) y la revisión de Peralta *et al.* (2009).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se presenta un listado con 69 tipos de prados y pastizales (asociaciones y comunidades) presentes en Navarra (tabla 1). Estos se incluyen en 7 grandes grupos y en 37 subgrupos (indicados por una letra seguida de un número, tabla 1) que incluye tipos de prados y pastizales semejantes: (a) pastizales de alta montaña (5 subgrupos; 10 asociaciones o comunidades); (b) pastizales acidófilos cantábricos y pirenaicos (2; 5); (c) prados y pastizales mesófilos y mesoxerófilos (8; 13); (d) pastizales xerófilos mediterráneos (7; 11); (e) juncuales y herbazales (9; 16); (f) pastos de suelos arcillosos compactos (4; 9); (g) vegetación de depósitos fluviales (3; 5).

La flora que se encuentra en estos prados y pastizales está constituida por 1.576 taxones (Berastegi, 2010), lo que supone el 57% del total del listado de los 2.770 taxones autóctonos presentes en Navarra (Lorda *et al.*, 2011).

De los 37 subgrupos, 27 se corresponden con hábitats de interés comunitario y de éstos 9 son prioritarios; los pastizales mesoxerófilos pueden ser prioritarios si son ricos en orquídeas (tabla 1: C4, C5, C6); además, otros 3 subgrupos están siendo evaluados por si pudieran corresponder a hábitats de interés (tabla 1: G1) o prioritarios (tabla 1: D1, D2). En total se identifican 11 hábitats de interés comunitario, 4 de ellos prioritarios (tabla 2), que representan respectivamente el 19% y el 27% del total de los presentes en Navarra (Peralta *et al.*, 2009).

Tabla 1. Listado de los prados y pastizales presentes en Navarra. [HIC: hábitat de interés comunitario; *: hábitat prioritario]

A. PASTIZALES DE ALTA MONTAÑA

A1. Pastizales alpinos de *Elyna myosuroides* [HIC 6170]

1. *Oxytropido foucaudii-Kobresietum myosuroidis* var. típica; var. *Dryas octopetala* subsp. *octopetala*

A2. Pastizales psicroxerófilos de *Festuca scoparia subalpinos* [HIC 6170]

2. *Astragalo teresiani-Thymelaeetum nivalis*
3. *Oxytropido pyrenaicae-Festucetum scopariae*

A3. Pastizales quionófilos altimontano-subalpinos [HIC 6170]

4. *Agrostio schleicheri-Festucetum scopariae*
5. *Aquilegio pyrenaicae-Seslerietum caeruleae*
6. *Dryado-Salicetum pyrenaicae*
7. *Primulo intricatae-Horminetum pyrenaici* var. típica; var. *Carex sempervirens* subsp. *sempervirens*

A4. Pastizales silicícolas subalpinos [HIC 6140]

8. *Carici graniticae-Festucetum eskiae*

A5. Pastos parameros de *Festuca hystrix* supramediterráneos y altimontanos [HIC 6170]

9. *Jurineo humilis-Festucetum hystricis* ass. nova propos.
10. *Festuco hystricis-Genistetum eliasenneni*

B. PASTIZALES ACIDÓFILOS CANTÁBRICOS Y PIRENAICOS**B1. Cerrillares pirenaicos** [HIC 6230*]

11. *Selino pyrenaici-Nardetum strictae*
12. *Trifolium thalii-Nardetum strictae* subass. *typicum*; var. *típica*; var. *Trifolium alpinum*; subass. *horminetosum pyrenaicae*

B2. Pastos acidófilos cantábricos [HIC 6230*]

13. *Carici piluliferae-Pseudarrhenatheretum longifolii* subass. *typicum*; subass. *brachypodietosum rupestri*
14. *Carici piluliferae-Agrostietum curtisii* subass. *agrostietosum curtisii*; var. *típica*; var. *Erica tetralix*; subass. *nardetosum strictae*
15. *Jasiono laevis-Danthonietum decumbentis* subass. *danthonietosum decumbentis*; subass. *galietosum saxatile* subass. *nova* propos.; subass. *nardetosum strictae*

C. PRADOS Y PASTIZALES MESÓFILOS Y MESOXERÓFILOS**C1. Comunidades xerófilas de plantas crasas acidófilas subalpinas** [HIC 6110*]

16. *Sileno rupestris-Sedetum pyrenaici* subass. *agrostietosum commistae* subass. *nova* propos.

C2. Comunidades xerófilas de plantas crasas acidófilas montanas [HIC 6110*]

17. *Festuco hirtulae-Sedetum pyrenaici* ass. *nova* propos. subass. *typicum* subass. *nova* propos.; subass. *agrostietosum commistae* subass. *nova* propos.

C3. Comunidades xerófilas de plantas crasas basófilas [HIC 6110*]

18. Comunidad de *Sedum album*

C4. Pastizales mesoxerófilos de *Helictotrichon cantabricum* [HIC 6210(*si son ricos en orquídeas)]

19. *Helictotricho cantabrici-Seslerietum hispanicae*
20. Pastizales submediterráneos de *Helictotrichon cantabricum*

C5. Pastizales mesoxerófilos altimontanos de crestos rocosos [HIC 6210(*si son ricos en orquídeas)]

21. *Carici ornithopodae-Teucrietum pyrenaici*
22. *Helianthemo incani-Koelerietum vallesiana* ass. *nova* propos. var. *típica*; var. *Serratula nudicaulis*

C6. Pastizales mesoxerófilos colinos y montanos [HIC 6210(*si son ricos en orquídeas)]

23. *Calamintho acini-Seseli* *montan* var. *Trifolium ochroleucon*; var. *Ononis spinosa*; var. *Avenula pratensis* subsp. *vasconica*; var. *Trisetum flavescens*; var. *Danthonia decumbens*
24. *Seseli cantabrici-Brachypodietum rupestri*

C7. Prados de diente o siega con *Cynosurus cristatus*

25. *Lino biennis-Cynosuretum cristati* var. *Lychnis flos-cuculi* subsp. *flos-cuculi*; var. *Festuca arundinacea* subsp. *arundinacea*; var. *Lolium multiflorum*; *Trisetum flavescens*; var. *Plantago media*
26. *Merendero pyrenaicae-Cynosuretum cristati*

C8. Prados de siega de *Arrhenatherum bulbosum* [HIC 6510]

27. *Malvo moschatae-Arrhenatheretum bulbosi*
28. *Rhinantho mediterranei-Trisetetum flavescens*

D. PASTIZALES XERÓFILOS MEDITERRÁNEOS**D1. Espartales (no halófilos)** [relacionado con HIC 6220*]

29. *Stipo parviflorae-Lygeetum sparti*
30. Comunidad de *Stipa parviflora* y *S. lagascae* subsp. *lagascae*

D2. Majadales basófilos [HIC 6220*]

31. *Astragalo sesamei-Poetum bulbosae*
32. Comunidad de *Poa bulbosa*

D3. Pastizales xerófilos anuales acidófilos

33. *Filagini minimae-Airetum praecocis*

D4. Pastizales xerófilos anuales calcícolas [HIC 6220*]

34. *Bupleuro baldensis-Arenarietum ciliaris*
35. *Minuartio hybridae-Saxifragetum tridactylitae*
36. *Saxifrago tridactylitae-Hornungietum petraeae*

D5. Pastizales xerófilos anuales gipsícolas [HIC 6220*]

37. *Chaenorhino reyesii-Campanuletum fastigiatae*

D6. Pastizales xerófilos vivaces [HIC 6220*]

38. *Ruto angustifoliae-Brachypodietum retusi*

D7. Tomillares, romerales y aliagares submediterráneos [HIC 4090]

39. *Thymelaeo ruizii-Aphyllanthetum monspeliensis* subass. *brachypodietosum retusi*

E. JUNCALES Y HERBAZALES**E1. Juncuales eurosiberianos oligo-mesótrofos ligados a zonas de turbera** [HIC 6410]

40. *Senecioni aquatici-Juncetum acutiflori* subass. *ranunculetosum despecti*
41. Comunidad de *Juncus effusus* y *Scutellaria minor*
42. Comunidad de *Carex panicea* y *Juncus articulatus*
43. Comunidad de *Schoenus nigricans*
44. Comunidad de *Deschampsia cespitosa* subsp. *cespitosa*

E2. Juncuales nitrófilos

45. *Mentho longifoliae-Juncetum inflexi*
46. *Mentho suaveolentis-Juncetum inflexi* subass. *juncetosum inflexi*; var. *típica*; var. *Odontites vulgaris* subsp. *vulgaris*; subass. *lotetosum glabri*; var. *típica*; var. *Aster squamatus*

E3. Pastizales higronitrófilos

47. Comunidad de *Mentha pulegium* y *Chamaemelum nobile*
48. *Festuco fenas-Caricetum hirtae*
49. *Potentillo reptantis-Menthetum suaveolentis*

E4. Juncuales mediterráneos de depresiones y terrazas fluviales [HIC 6420]

50. *Holoschoenetum vulgaris* var. *típica*; var. *Althaea officinalis*

E5. Juncuales y herbazales mediterráneos de manantios y surgencias [HIC 6420]

51. *Inulo viscosae-Schoenetum nigricantis* subass. *sonchetosum aquatilis*
52. *Lysimachio ephemeri-Holoschoenetum vulgaris*

E6. Juncuales éutrofos

53. *Loto pedunculati-Juncetum conglomerati* subass. *juncetosum conglomerati*; subass. *juncetosum acutiflori*

E8. Trampales con *Molinia caerulea* pirenaicos [HIC 6410]

54. *Epipactido palustris-Molinietum caeruleae*

E9. Trampales con *Molinia caerulea* submediterráneos [HIC 6420]55. *Scirpo holoschoeni-Molinietum caeruleae***F. PASTOS DE SUELOS ARCILLOSOS COMPACTOS****F1. Fenalares**56. *Carduncello mitissimi-Brachypodietum phoenicoidis* ass. nova. propos.57. *Elytrigio campestris-Brachypodietum phoenicoidis***F2. Gramales y pastizales de suelos compactados**58. *Junco compressi-Caricetum divisae* subass. *caricetosum divisae*; subass. *juncetosum gerardii*59. *Mentho aquaticae-Teucrietum scordioidis*60. *Trifolio fragiferi-Cynodontetum dactyli***F3. Pastizales de suelos pisoteados**61. *Plantagini majoris-Poetum supinae*62. *Lolietum perennis* subass. *plantaginetosum majoris*; subass. *trifolietosum fragiferi* subass. nova. propos.**F4. Pastizales semiagostantes de suelos margosos**63. Comunidad con *Deschampsia media* subsp. *media* y *Plantago maritima* subsp. *serpentina*64. *Prunello hyssopifoliae-Plantaginetum serpentinae***G. VEGETACIÓN DE DEPÓSITOS FLUVIALES****G1. Pastizales inundables de *Agrostis stolonifera*** [relacionado con HIC 3280]65. *Potentillo anserinae-Agrostietum stoloniferae*66. *Prunello vulgaris-Agrostietum stoloniferae*

67. Rumici crispi-Agrostietum stoloniferae

G2. Pastizales inundables de *Paspalum paspalodes* [HIC 3280]68. *Paspalo distichi-Polypogonetum viridis***G3. Comunidades de ciperáceas amacolladas de lechos fluviales**69. *Rorippo sylvestris-Cyperetum longi*

Tabla 2. Listado de los Hábitats de Interés Comunitario y Prioritario.

[códigos del Anexo I de la Directiva de Hábitats; *: hábitat prioritario]

3280	Ríos mediterráneos de caudal permanente del <i>Paspalo-Agrostidion</i> con cortinas vegetales ribereñas de <i>Salix</i> y <i>Populus alba</i>
4090	Brezales oromediterráneos endémicos con aliaga
6110*	Prados calcáreos cársticos o basófilos del <i>Alysso-Sedion albi</i>
6140	Prados pirenaicos silíceos de <i>Festuca eskia</i>
6170	Prados alpinos y subalpinos calcáreos
6210*	Prados secos semi-naturales y facies de matorral sobre sustratos calcáreos (<i>Festuco-Brometalia</i>) (*parajes con notables orquídeas)
6220*	Zonas subestépicas de gramíneas y anuales del <i>Thero-Brachypodietea</i>
6230*	Formaciones herbosas con <i>Nardus</i> , con numerosas especies, sobre sustratos silíceos de zonas montañosas (y de zonas submontañosas de la Europa continental)
6410	Prados con molinias sobre sustratos limónicos (<i>Molinion caeruleae</i>)
6420	Prados húmedos mediterráneos de hierbas altas del <i>Molinion-Holoschoenion</i>
6510	Prados pobres de siega de baja altitud (<i>Alopecurus pratensis</i> , <i>Sanguisorba officinalis</i>)

CONCLUSIONES

Con respecto a los tipos de prados y pastizales que se relacionan en la última revisión general sobre la vegetación de Navarra (Loidi *et al.*, 1997), el listado presentado aporta 12 tipos que son nuevas citas para Navarra (nº 9, 22, 56 y 2, 4, 7, 11, 28, 34, 35, 61, 54 de la tabla 1) o han sido publicados recientemente (nº 14, 16, 17, tabla 1). Las 8 subasociaciones y 19 variantes descritas muestran la variabilidad de algunos de los pastizales enumerados.

Los prados y pastizales de Navarra albergan una buena parte de la flora autóctona (57%), y representan el 19% de los Hábitats de Interés Comunitario y el 27% de los Prioritarios, por lo que su adecuada inventariación y gestión es fundamental para la conservación de la biodiversidad en Navarra.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARTOLOMÉ C., J. ÁLVAREZ J. VAQUERO M. COSTA M.A. CASERMEIRO J. GIRALDO, J. Y ZAMORA J. (2005). *Los tipos de hábitat de interés comunitario en España*. Guía básica. Madrid. Ministerio de Medio Ambiente.
- BERASTEGI A. (2010) *Prados y pastizales en Navarra: descripción, tipificación y ecología*. Tesis Doctoral. Universidad del País Vasco-Euskal Herriko Unibertsitatea. Leioa.
- CABALLERO R. (2007). High Nature Value (HNV) Grazing Systems in Europe: A Link between Biodiversity and Farms Economics. *The Open Agriculture Journal* **1**, 11-19.
- DOCE (1992) Directiva 92/43/CEE del Consejo de 21 de mayo de 1992 relativa a la conservación de los hábitats naturales y de la fauna y flora silvestres. DOCE L 206, 22/07/1992.
- FERRER C., SAN MIGUEL A. Y OLEA L. (2001). Nomenclátor básico de pastos en España. *Pastos* **31(1)**, 7-44.
- LORDA M., PERALTA J., BERASTEGI A. Y GÓMEZ D. (2011). Síntesis de la flora vascular de Navarra. *Actes del IX Col·loqui Internacional de Botànica Pirenaico-cantàbrica*: 251-258. Andorra. Institut d'Estudis Andorrans.
- MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE (1997). *Inventario Nacional de Hábitats, Cartografía a escala 1/50.000*. Informe técnico. Madrid. Dirección General de Conservación de la Naturaleza.
- MOSS D., WYATT B., CORNAERT M.-H. Y ROCKAERTS M. (1991). CORINE biotopes: the design, compilation and use of an inventory of sites of major importance for natura conservation in the European Community. Commission of the European Communities. Luxembourg.
- PERALTA J., BIURRUN I., GARCÍA-MIJANGOS I., REMÓN J.L., OLANO J.M., LORDA M., LOIDI J. Y CAMPOS J.A. (2009). *Manual de interpretación de hábitats de Navarra*. Informe técnico. GAVRN y Gobierno de Navarra.
- RÍOS S. Y SALVADOR F.M. (2009). 6110 Prados calcáreos cársticos o basófilos de *Alysso-Sedetalia*. En: VV.AA., *Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en España*. Madrid. Dirección General de Medio Natural y Política Forestal, Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino.
- RIVAS-MARTÍNEZ S. *et al.* (2011) Mapa de series, geoseries y geopermaseries de vegetación de España. Memoria del Mapa de Vegetación Potencial de España. *Itinera Geobot.* **18(2)**, 425-800.
- SAN MIGUEL A. (2001). Pastos naturales españoles. Caracterización, aprovechamiento y posibilidades de mejora. Madrid. Fundación Conde del Valle de Salazar, E.T.S.I. de Montes de Madrid.
- SILVA J.P., TOLAND J., JONES W., ELDRIDGE J., THORPE E. Y O'HARA E. (2008). *LIFE and Europe's grasslands: Restoring a forgotten habitat*. Luxembourg. Office for Official Publications of the European Communities.

Cartografía 1:25.000 de los pastos de Navarra: aplicaciones para la gestión

Cartography 1:25.000 of the grazing resources of Navarra:
applications for the management

V. FERRER¹ / A. IRIARTE¹ / I. ITURRIAGA² / M. SALVATIERRA³

¹BELARDI consultoría. *Pastos, ganadería y medioambiente*. C/ Batondoa, 3. 31 600 Burlada. Navarra

²Departamento de Desarrollo Rural, Industria, Empleo y Medio Ambiente. Gobierno de Navarra. C/ González Tablas 9. 31 005 Pamplona. Navarra.

³Trabajos Catastrales S.A. C/ Cabárceno, 6. 31 621. Sarriguren. Navarra.

Resumen: El Departamento de Desarrollo Rural, Industria, Empleo y Medio Ambiente del Gobierno de Navarra (DRIEMA) dirige y desarrolla un proyecto cuyo objetivo es cartografiar a escala 1:25.000 los pastos de Navarra, a la vez que se tipifican, caracterizan y evalúan. Para la gestión y mantenimiento de los datos gráficos y alfanuméricos se ha confeccionado una aplicación informática específica en un entorno SIG. De cada área estudiada se obtiene un mapa digitalizado a escala 1:25.000 en el que se representa la distribución espacial de los diferentes tipos de pasto, su valor pascícola y la distribución de las infraestructuras ganaderas. La información se sintetiza en fichas y memorias diseñadas a tal efecto. Los datos gráficos y alfanuméricos pueden consultarse en el portal de Infraestructura de Datos Espaciales de Navarra (IDENA), así como en una página web incluida en el portal del Gobierno de Navarra. La información se viene utilizando en diversos proyectos desarrollados en Navarra: proyectos de ordenación de pastos, valoración y tasaciones de terrenos comunales, planificación comarcal del territorio, elaboración de proyectos de infraestructuras ganaderas, cálculo de superficies declarables en la PAC, etc.

Palabras clave: recursos pascícolas, sistema de información geográfica, tipificación, gestión territorial.

Abstract: The Department of Rural Development, Industry, Employment and Environment of the Government of Navarra develops a project which aim is to elaborate the cartography to scale 1:25.000 of the grazing resources of Navarra. Of every studied area is obtained a map digitized to scale 1:25.000. In that there is represented the spatial distribution of the different types of pasture, his forrage value and the distribution of the cattle infrastructures. The information is synthesized in cards and memories. The graphical and alphanumeric information, they can consult in the portal of Infrastructure of Spatial Information of Navarra (IDENA), as well as in a web page included in the portal of the Government of Navarra. The information is being used in diverse projects developed in Navarra: projects of arrangement of pastures, evaluation of communal areas, regional planning of the territory, project formulation of cattle infrastructures, etc.

Key words: Typology classification of pasture land, grass value, GIS, planning of the territory.

INTRODUCCIÓN

La Dirección General de Agricultura y Ganadería del Gobierno de Navarra, dentro de su programa general de evaluación continua de los recursos naturales, está desarrollando un proyecto que tiene como objetivo básico tipificar, caracterizar y cartografiar los recursos pascícolas de Navarra a escala 1:25.000. Se pretende así obtener una capa más de información gráfica y alfanumérica que pueda ser combinada con las suministradas en otros supuestos de evaluación y, consecuentemente, sea de utilidad en diversos proyectos de análisis espacial, y de planificación y gestión territorial. Aunque en Navarra se ha contado desde hace tiempo con una importante información gráfica de diversa índole sobre el territorio, la referente a los pastos ha sido muy escasa y ello, pese a que en los últimos años la demanda por este tipo de información ha sido

creciente. No hay que olvidar además que la heterogeneidad geológica, topográfica, climática y edáfica de Navarra conforman un amplio y variado conjunto de recursos pastables, tanto naturales como artificiales, cuya importancia a nivel territorial queda reflejada si se considera que ocupan aproximadamente el 60% de la superficie total de la Comunidad Foral, siendo la mayor parte de estos territorios de propiedad comunal.

La carencia de información sobre estos recursos de gran extensión en Navarra, cuyo papel en la gestión de las numerosas y diversas explotaciones ganaderas sitas en nuestra Comunidad es sin duda muy importante, y que suponen además una fuente de ingresos para los Entes Locales, fue el motivo por el que la entonces Sección de Evaluación de los Recursos Agrarios puso en marcha el proyecto que ahora se sintetiza en la presente publicación. Los objetivos que se plantearon para el mismo fueron los siguientes:

- Diferenciar, tipificar y caracterizar los recursos pastables presentes en Navarra.
- Representar cartográficamente a escala 1:25.000 los diferentes tipos de pasto y las infraestructuras ganaderas presentes.
- Elaborar diversas aplicaciones y documentación asociadas a la información gráfica en las que se sintetizará la información referente a los pastos de Navarra y que permitieran una divulgación efectiva y eficaz de los mismos.

MATERIAL Y MÉTODOS

Las fases metodológicas del proyecto han sido las siguientes:

- *Elaboración de leyenda de los pastos de Navarra:* el proyecto se ha desarrollado en dos fases. En la primera se seleccionaron determinados territorios (generalmente municipios o Lugares de Importancia Comunitaria –LIC–) representativos de la heterogeneidad biogeográfica de Navarra. El desarrollo del trabajo en ellos permitió poner a punto la metodología que se ha venido utilizando posteriormente, y confeccionar una leyenda general de los pastos de Navarra. Para el tratamiento nomenclatural se han establecido diversos niveles: un primer nivel fisionómico o estructural, para lo que se ha seguido lo establecido en el Nomenclátor de la SEEP (Ferrer *et al.*, 2001), y un segundo nivel que recoge aspectos florísticos (especie o especies dominantes). En una segunda fase del proyecto la información recopilada en estos territorios piloto sirve como referencia para trabajar y extrapolar la información a nivel Comarcal.

- *Fotointerpretación y digitalización previa de los tipos de pasto:* se hace una primera digitalización diferenciando polígonos homogéneos de vegetación. Se ha realizado a partir de la amplia información territorial existente en Navarra, desarrollada fundamentalmente por la Sección de Evaluación de Recursos Agrarios en cooperación con la empresa TRACASA: Mapa digital de Cultivos y Aprovechamientos de Navarra a escala 1:25.000, Mapa digital de Series de Vegetación a escala 1:25.000, Ortofoto digital a escala 1:5 000 en color de diferentes años, Mapa Topográfico digital a escala 1:5 000, etc.

Para ello se utiliza una aplicación informática desarrollada por TRACASA que se sustenta sobre la base que proporciona la plataforma *TcEngine*, un conjunto de librerías de gestión de datos geográficos y basadas en tecnología NET. Dicha aplicación además de integrar toda la información mencionada, permite, entre otros, la delimitación y modificación de polígonos (fig. 1).

Como criterio fundamental se ha establecido que la superficie mínima a representar sea de 2,5 ha, lo que equivale a la escala de trabajo adoptada, a un rectángulo en el mapa de 4 mm x 10 mm aunque, como es natural, el recinto puede adoptar cualquier forma. La distancia mínima entre líneas se ha establecido en 15 m.

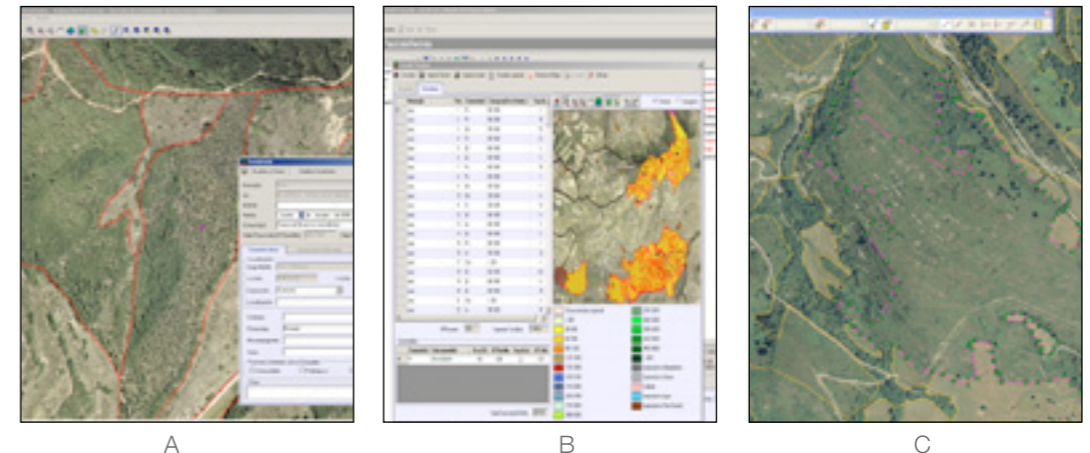


Figura 1. “Aplicación de Pastos de Navarra” desarrollada por Tracasa. a) detalle de pantalla para la digitalización de polígonos; b) detalle de pantalla para la introducción de datos; c) detalle de pantalla de consultas.

- *Trabajo de campo:* consiste fundamentalmente en la revisión de los polígonos delimitados en la digitalización inicial procediendo en su caso a su modificación, en la asignación del tipo o tipos de pasto que se localizan en cada polígono basándose en la leyenda establecida y en la determinación de las características específicas de los pastos en el territorio concreto. Cada tipo de vegetación diferenciado se caracteriza según aspectos fisiográficos, fisionómicos, estructurales y de composición florística, para lo que se realizan muestreos sobre el terreno por el método de transectos lineales e inventarios visuales.

En el trabajo de campo se localizan y georreferencian las infraestructuras ganaderas presentes en el territorio.

- *Tratamiento de la información:* toda la información obtenida se vuelca en bases de datos asociadas a la aplicación (fig. 1), que permite entre otros: 1) asignar el tipo o tipos de pasto presentes en cada polígono en consonancia con la leyenda establecida (máximo de cinco tipos de pasto por polígono. Sólo se tienen en cuenta los que ocupan más del 5% del polígono); 2) introducir los datos referentes a los inventarios (fisiográ-

ficos, estructura y composición) y realizar los cálculos correspondientes; 3) modificar la digitalización de recintos realizada previamente; 4) realizar la valoración pascícola de la vegetación. La valoración se lleva a cabo por la aplicación utilizando los algoritmos establecidos en el método del Valor Pastoral (Daget y Poissonet, 1972; Ascaso *et al.*, 1996), adaptados al entorno biogeográfico de Navarra (Ferrer, 1999); 5) obtener la leyenda de cada área de trabajo y los valores de la superficie y valor pascícola de cada tipo de pasto presentes en él, así como los totales para el conjunto del territorio. En la base de datos se incluye además información relativa al valor pascícola de cada recinto (VP y UF/año) y su inclusión en una de las 17 categorías o grupos de valor pascícola establecidos para el conjunto de Navarra.

Hasta el momento se han cartografiado los recursos pastables de 341 328 ha distribuidas en 38 zonas de estudio (municipios, LICs, Parques Naturales, etc.) (fig. 2).

RESULTADOS



Figura 2. Zonas estudiadas en el proyecto de cartografía 1:25.000 de los pastos de Navarra.

Se han tipificado, descrito y caracterizado alrededor de 100 tipos de pasto. Se dispone de información referida a 1850 inventarios pascícolas realizados sobre las comunidades diferenciadas.

La información referente a las características de los pastos (naturales, seminaturales y agrícolas, herbáceos, arbustivos, arbóreos) se sintetiza en unas fichas diseñadas al efecto que incluyen aspectos tales como: descripción, composición florística, uso ganadero, signos de degradación, valor pascícola, dinámica y recomendaciones de utilización. Las fichas se incluyen en memorias específicas de cada territorio estudiado

en las que además se aportan datos sobre las características del territorio y del manejo ganadero actual. En total, y hasta el momento se han elaborado 20 memorias de síntesis con la información obtenida.

Cada una de estas memorias se acompaña de un mapa digitalizado a escala 1:25.000 en el que se representa sobre base topográfica la distribución de los diferentes tipos de pasto, el valor pascícola de cada tipo y la localización de las infraestructuras ganaderas (fig. 3).

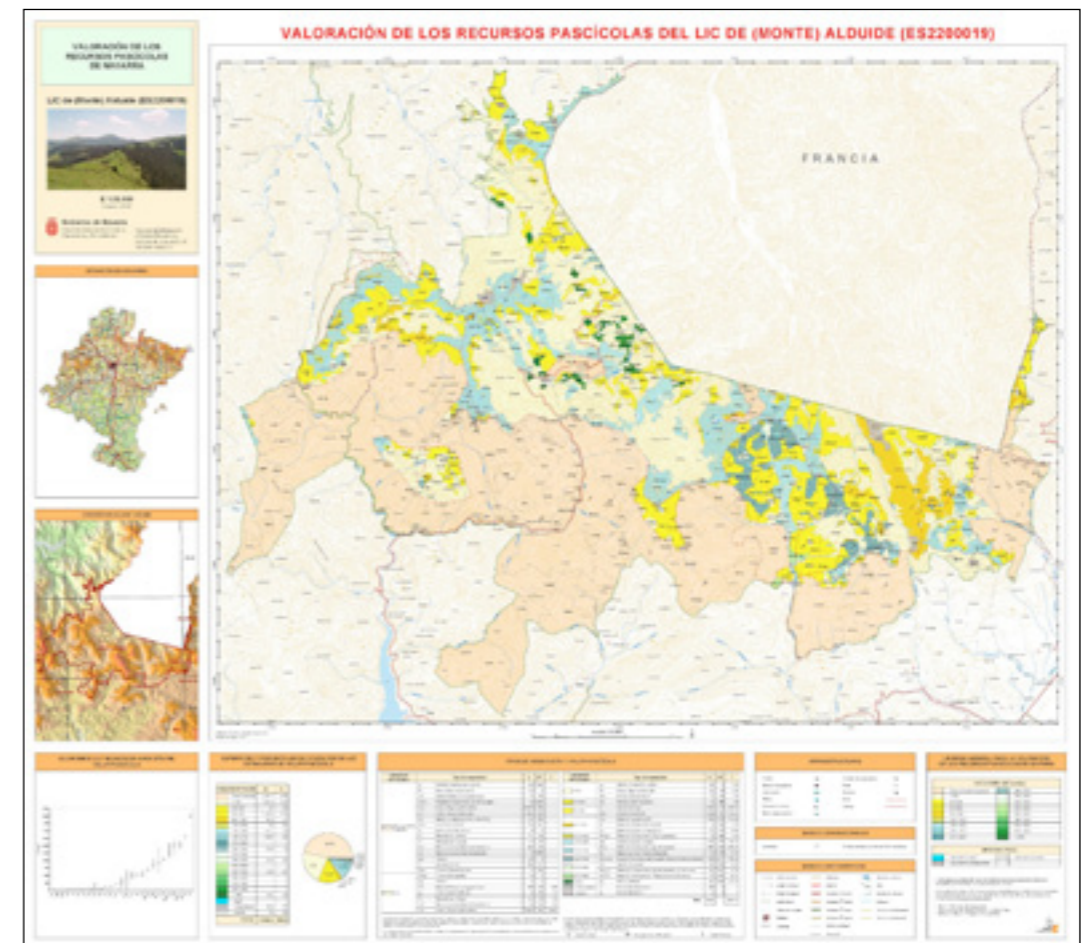


Figura 3. Ejemplo de mapa de pastos 1:25.000 (LIC de Alduides).

El mapa presenta, mediante una combinación de colores y tramas, una información doble: por un lado la distribución espacial de las distintas unidades de vegetación y, por otro, las áreas de diferente valor pascícola. En la leyenda del mapa se señalan las unidades de vegetación pertenecientes a cada categoría de valor pascícola, su superficie, su valor pascícola medio (UF/ha-año) y el total correspondiente a cada unidad y al conjunto del territorio estudiado (UF/año). Se incluye de igual manera la superficie ocupada por cada categoría de valor pascícola.

En la actualidad se plantea la elaboración de memorias a nivel comarcal en las que, además de la descripción de los tipos de pasto y su representación cartográfica, se incluyan los aspectos relativos al manejo ganadero.

Para la divulgación de la información se ha elaborado una página web incluida en el portal del DRIEMA en la que se resume la información sobre los tipos de pasto de Navarra. La información cartográfica se puede consultar y descargar en el portal de Infraestructura de Datos Espaciales de Navarra (<http://idena.navarra.es>), y se incluye asimismo en el Sistema de Información Territorial de Navarra (SITNA) en su versión de acceso restringido del Departamento. Además mediante la “Aplicación de Pastos de Navarra” puede consultarse la información gráfica y alfanumérica mediante diversas condiciones de búsqueda.

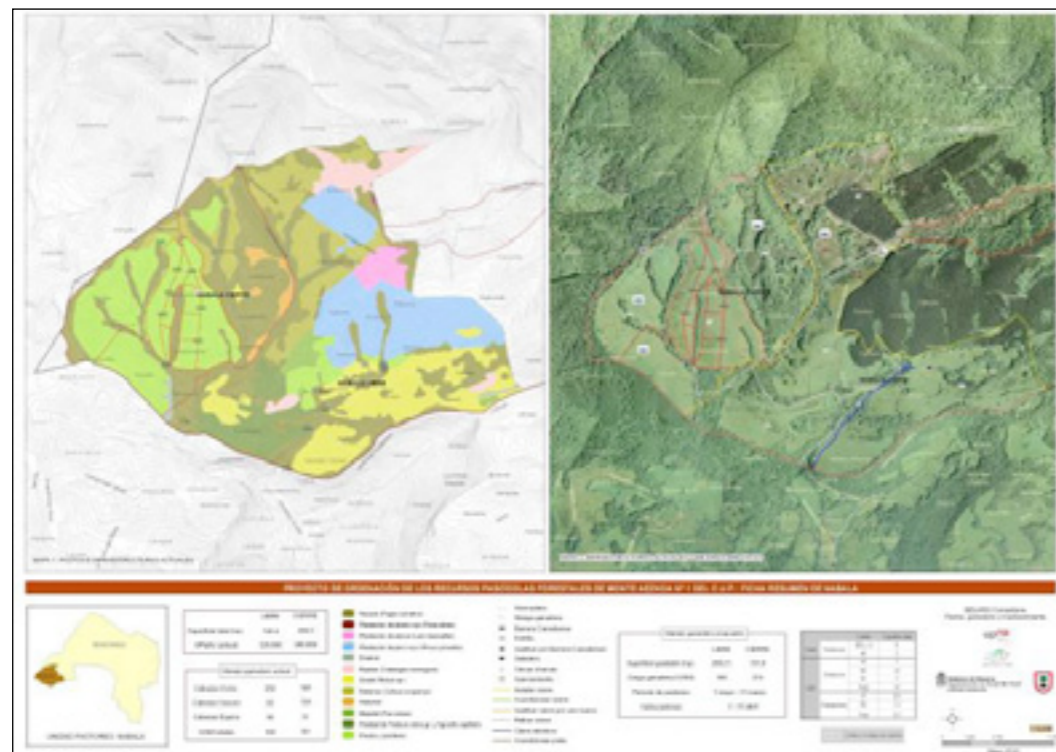


Figura 4. Ejemplo de valoración de un monte comunal a partir del mapa de pastos de Navarra.

Todo ello ha permitido que se utilice como información de base en diversos proyectos que se vienen desarrollando en Navarra y entre los que cabe mencionar proyectos de ordenación y gestión de pastos; proyectos de planificación territorial (Comunidad de Bardenas, 2003); elaboración de fichas de manejo y gestión de los principales comunales de Navarra (Iturriaga *et al.*, 2009); valoración pascícola y económica de corralizas y pastos comunales (fig. 4); proyectos de mejora de pastos comunales, trabajos para la asignación de usos en cartografías destinadas a la determinación de superficie

que se puede acoger a las ayudas de pago único de la PAC; elaboración de otras cartografías temáticas (mapas de intensidades de aprovechamiento de los pastos, cargas ganaderas, distribución de infraestructuras, mapas de hábitats, etc.); etc.

CONCLUSIONES

El proyecto de cartografía de pastos de Navarra a escala 1:25.000 aporta una información muy demandada desde diversos ámbitos. Teniendo en cuenta la importancia creciente de los SIG en la gestión del territorio, la disponibilidad de una capa de estas características adquiere mayor relevancia dada la posibilidad de ser utilizada en múltiples proyectos de diversa índole. Se trata de una capa que completa la información disponible en la Infraestructura de Datos Espaciales de Navarra.

AGRADECIMIENTOS

Los autores de esta comunicación queremos dedicar un recuerdo muy especial a Miguel Donézar Díez de Ulzurrun, fallecido en 2008, quien fue Jefe de la Sección de Evaluación de Recursos Agrarios y precursor y director de este proyecto. También nuestro más sincero agradecimiento a Ana Vicente Alzuaz, técnica de la Sección de Evaluación de Recursos Agrarios y colaboradora en el proyecto desde su inicio, así como a todos los demás técnicos que han participado en algún momento en el mismo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASCASO J., FERRER C. Y MAESTRO M. (1996) Valoración estacional y anual de los recursos pastables del Maestrazgo de Castellón. *Actas de la XXXVI Reunión Científica de la Sociedad Española para el Estudio de los Pastos*, pp. 161-166. S.E.E.P.
- COMUNIDAD DE BARDENAS (2003) Delimitación de distritos Agrícola-Ganaderos en el territorio de Las Bardenas Reales de Navarra. *Comunidad de Bardenas Reales-Tracasa*.
- DAGET Ph. Y POISSONET J. (1972) Un procédé d'estimation de la valeur pastorale des paturages. *Fourrages*, **49**, 31-39.
- FERRER-BENIMELI C, SAN MIGUEL A. Y OLEA L. (2001) Nomenclátor básico de pastos en España. *Pastos*, **29(2)**, 7-44.
- FERRER V. (1999) Tipificación, valoración forrajera y cartografía de los recursos pascícolas de Navarra. Protocolo metodológico. *Servicio de Estructuras Agrarias. Gobierno de Navarra*.
- ITURRIAGA I., MANGADO J.M. Y MAEZTU F. (2009) Fichas de manejo y gestión de las grandes áreas de pastos en común de Navarra. En: Reiné, R. *et al.*(Eds). *La multifuncionalidad de los pastos: producción ganadera sostenible y gestión de los ecosistemas*. pp. 463-469. Huesca, España: Sociedad Española para el Estudio de los Pastos.

Desarrollo de un plan de gestión sostenible de pastos comunales a escala municipal

Development of a sustainable management plan for common pastures at a municipality scale

I. MENÉNDEZ ARTIME¹ / I. VÁZQUEZ FERNÁNDEZ² / J. BUSQUÉ MARCOS³ / E. BAYARRI GARCÍA⁴

¹Biesca Agroforestal y Medioambiente S.L., C/ del Ferrocarril, 8, 1ª planta, 33580-Lieres nacho@biescaingenieria.com

²Departamento de Geografía, Urbanismo y Ordenación del Territorio. Universidad de Cantabria. Avda. de los Castros s/n. 39005-Santander

³Centro de Investigación y Formación Agrarias (CIFA), C/ Héroes 2 de mayo, 27, 39600-Muriedas, juanbusque@cifacantabria.org

⁴Dirección General de Montes y Conservación de la Naturaleza, C/ Rodríguez, 5, 1º, 39071-Santander, bayarri_em@gobcantabria.es

Resumen: Se presentan las bases metodológicas y los primeros resultados de un Plan de Gestión de Pastos Comunales desarrollado en el municipio de Rionansa (Cantabria). El Plan integra diversas fuentes de datos: una cartografía detallada a escala 1/10 000 de las principales comunidades vegetales de interés pastoral, datos de la administración pública sobre movimientos de ganado y superficies, encuestas a los ganaderos sobre el sistema de manejo empleado, resultados de un modelo informático de simulación para identificar espacial y temporalmente los niveles de utilización del pasto y los rendimientos animales y, finalmente, el empleo de un enfoque participativo involucrando en la planificación a los actores locales. Se pretende que esta metodología se constituya como un referente para la gestión de los pastos comunales.

Palabras clave: pastoreo, ganadería extensiva, modelización, Cordillera Cantábrica, Sistemas de Información Geográfica.

Abstract: We present the methodological background and the first results of a Management Plan of Common Grazing Land in the municipality of Rionansa (Cantabria). The Plan integrates different sources of information: a pastoral vegetation map scale 1:10.000, government databases on: livestock movements and areas, surveys to farmers on their livestock management, a grazing simulation model to quantify spatially and temporally forage utilization and livestock performance, and a participatory approach with farmers. It is intended that this methodology constitutes a reference for the management of common grazing land in mountainous areas.

Key words: Grazing, extensive livestock systems, modelling, Cordillera Cantábrica, Geographic Information System.

INTRODUCCIÓN

En Cantabria los pastos comunales ocupan una amplia superficie de su territorio, constituyendo un recurso fundamental para el desarrollo de la ganadería de carne en régimen extensivo. En las últimas décadas, los sistemas de aprovechamiento han sufrido cambios importantes tras el aumento del tamaño de las ganaderías, la práctica desaparición de muchas formas de producción basadas en pequeños rumiantes (caprino y ovino), la importancia que adquieren ciertas especies (equino) y nuevas razas ganaderas (en vacuno) y el escaso control del ganado en pastoreo, contribuyendo a la degradación de buena parte de los pastos de montaña cantábricos (Vázquez *et al.*, 2011). Estos cambios ponen en evidencia la necesidad de adoptar medidas de gestión que restablezcan el equilibrio en el uso ganadero del territorio, incrementando la rentabilidad de las explotaciones ganaderas y garantizando, al mismo tiempo, la conservación de los agroecosistemas pastorales de montaña.

En este trabajo se presentan las bases metodológicas y los primeros resultados del Plan de Gestión de Pastos Comunales (en adelante PGPC) que se está desarrollando actualmente en el municipio de Rionansa, representativo de la montaña cantábrica.

MATERIAL Y MÉTODOS

Área de estudio

El municipio de Rionansa, con una extensión total de 11 804 ha, pertenece desde el punto de vista biogeográfico a la Subprovincia Cantabroatlántica. El rango altitudinal se extiende desde los 105 hasta los 2 040 m snm, predominando las cotas situadas entre los 400 y los 800 m (47 % del territorio). Por su parte, el 40% de la superficie del municipio presenta pendientes por encima del 45%.

Tanto el Ayuntamiento como cada una de las cinco Juntas Vecinales que lo integran (Celis, Cabrojo-Puentenansa, Obeso, Cosío-Rozadío y San Sebastián) disponen de pastos comunales de su titularidad incluidos, en su mayor parte, en terrenos catalogados como Montes de Utilidad Pública (MUP).

La ganadería bovina y equina de carne constituyen las actividades económicas principales dentro del sector primario. Existen 102 explotaciones ganaderas que concentran 2 180 cabezas de vacuno, 609 de equino, 836 de ovino y 251 de caprino. La cabaña de vacuno está compuesta en su mayoría por una raza autóctona, la tudanca, y por un conjunto mestizo resultado del cruce de ésta con otras razas de orientación cárnica más productivas, principalmente limusina y charolesa. En el equino predomina la raza del país, en ovino la lacha y en caprino el tronco ibérico. El tamaño medio de las explotaciones de vacuno es de 22 UGM, con partos bastante agrupados durante la primavera, con tasas de fertilidad bajas (fig. 1) y edades de venta de los terneros nacidos de entre 1 y 3 meses.

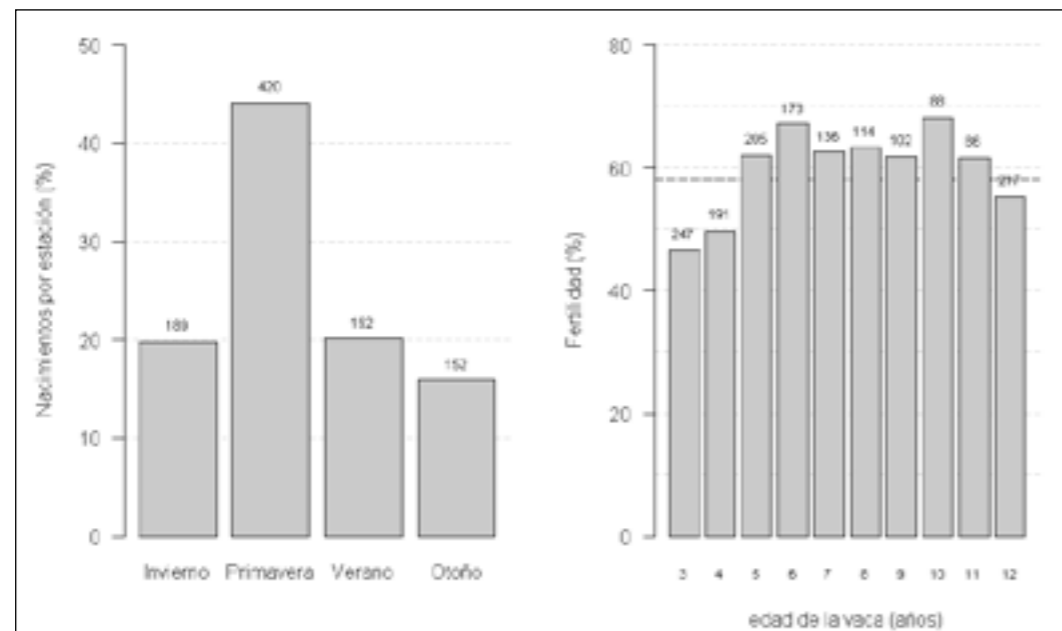


Figura 1. Algunas estadísticas zootécnicas del vacuno del municipio de Rionansa para 2010. Izquierda: porcentaje de nacimientos de terneros en cada estación del año. Derecha: porcentaje de tasas de fertilidad según la edad de las vacas. Fuente: Base de datos REMO del Gobierno de Cantabria.

El sistema de explotación se basa principalmente en el aprovechamiento de los recursos forrajeros locales, tanto conservados provenientes de los prados particulares, como mediante pastoreo. Finalizada la estabulación invernal, los rebaños aprovechan los prados particulares de las áreas bajas. Desde mediados de primavera hasta bien entrado el otoño el ganado aprovecha los pastos comunales, comenzando por los más próximos al pueblo y continuando por los pastos de puerto situados a mayor altitud, constituyendo el principal recurso nutritivo del ganado durante al menos 7 meses al año. La diferencia en el aprovechamiento de los comunales según el tipo de ganado (fig. 2), es un indicador de la productividad y calidad de los pastos. El ciclo se cierra nuevamente con el aprovechamiento desde mediados de otoño de los prados particulares hasta su regreso a las cuadras y cabañas invernales.

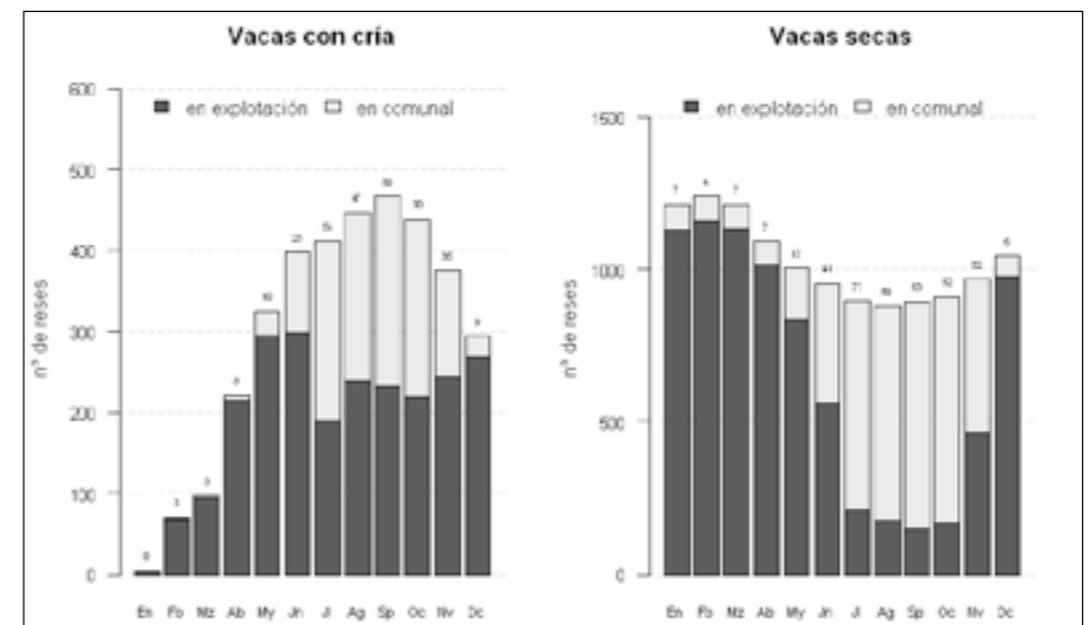


Figura 2. Distribución mensual de la localización de tipos de vacas en Rionansa entre los pastos comunales y las fincas privadas. Izquierda: Vacas con cría. Derecha: Vacas secas. Fuente: Base de datos REMO del Gobierno de Cantabria (año 2010).

El Plan de Gestión de Pastos Comunales. Fases del proyecto

El PGPC comienza a desarrollarse en el año 2011 por iniciativa de la D. G. de Montes y Conservación de la Naturaleza del Gobierno de Cantabria, encargada de la gestión de los MUP de la región. Tras una fase inicial de inventario y recopilación de las fuentes documentales disponibles, se procedió a definir las distintas fases del Plan, sintetizadas en la figura 3.

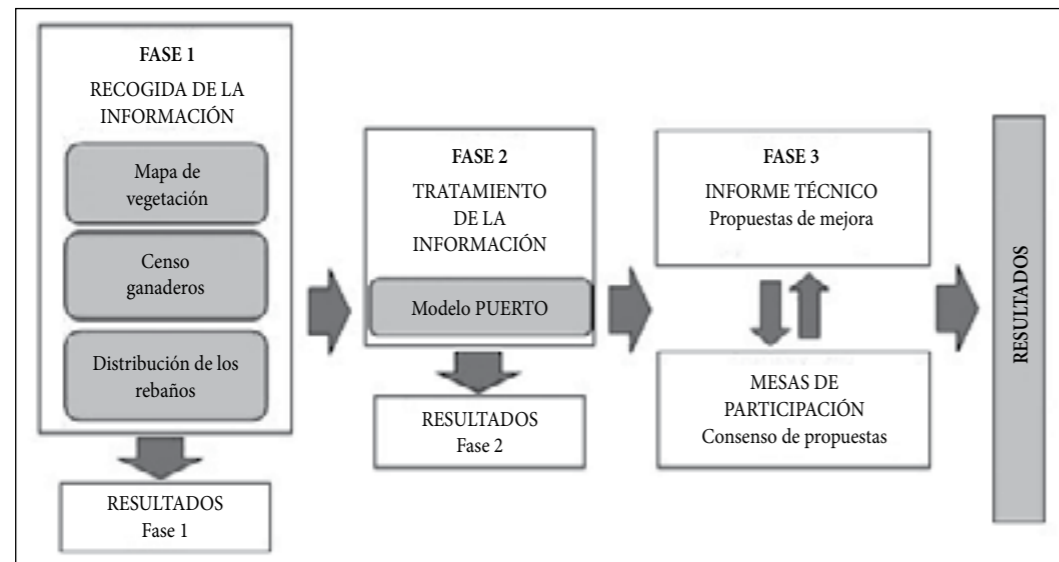


Figura 3. Diagrama de las fases del Plan de Gestión de Pastos Comunales.

Fase 1. Recogida de la información

1A. Cartografía de recursos forrajeros

Durante esta primera fase se ha realizado una cartografía de vegetación a escala 1/10000 de los terrenos comunales del municipio de Rionansa. Se delimitaron 786 teselas de vegetación y se estimó mediante trabajo de campo el porcentaje de cobertura de 30 grupos funcionales vegetales: 12 herbáceos, 12 arbustivos y 6 arbóreos. Para cada una de estos grupos se estimó su producción, calidad nutritiva y utilización forrajera a partir de la información de distintas fuentes.

1B. Caracterización de los sistemas de explotación

La Base de Datos oficial de movimientos de ganado cubre en la actualidad a la totalidad de ganaderías profesionales de Cantabria. Ha sido de gran utilidad para conocer los sistemas productivos del municipio: censos ganaderos (especie, raza, sexo y edad), épocas de partos, venta de crías y desplazamientos a pastos comunales. Por otro lado, se realizaron encuestas a una muestra representativa de las explotaciones ganaderas (41 explotaciones) sobre el manejo que realizan de su ganado, determinando las zonas (alcances) aprovechadas por cada rebaño a lo largo del ciclo anual.

Fase 2. Tratamiento de la información. Aplicación del modelo PUERTO

El modelo de simulación informatizado “PUERTO” (Busqué *et al.*, 2006) permite, contando con una información de partida sobre el ganado y los pastos comunales,

predecir espacial y temporalmente su utilización pastoral y sus repercusiones sobre los rendimientos del ganado (ganancias/pérdidas de peso). Para su aplicación, el modelo requiere de un mapa de vegetación y una cuantificación de los rebaños ganaderos y los alcances que ocupan dentro del comunal.

Los resultados del modelo, representados mediante un Sistema de Información Geográfica, permiten expresar espacialmente el rendimiento ganadero según la variación de peso vivo por animal, así como detectar las áreas sobrepastadas o infrautilizadas. La simulación con el modelo de la situación actual y de posibles escenarios futuros de gestión, permitirá evaluar y priorizar entre las distintas unidades pastorales delimitadas (ver figura 4b, c y d) las posibles actuaciones a realizar. Se han contemplado las siguientes actuaciones de referencia: a) redistribución espacial interna de los rebaños; b) modificación de los calendarios de aprovechamiento; c) actuaciones puntuales encaminadas a la mejora del recurso (siembras, abonados, encalados, desbroces o quemas controladas) y d) construcción o rehabilitación de infraestructuras y equipamientos ganaderos (pistas, abrevaderos, cierres, refugios, etc.).

Fase 3. Elaboración de propuestas de actuación. Un enfoque participativo

Con la intención de consensuar las propuestas de mejora resultantes de la fase anterior, se ha incluido un enfoque participativo involucrando en la planificación a ganaderos, gestores, técnicos de la administración y representantes de las entidades titulares de los pastos comunales (Ayuntamiento y Juntas Vecinales). Este proceso implica una metodología específica (Cazorla *et al.*, 2006) aunando el conocimiento “experto” del equipo técnico con el conocimiento “experimentado” de los actores locales mediante la realización de talleres y dinámicas de grupo. El resultado de esta fase permitirá reforzar las propuestas de actuación al adaptarlas a las necesidades reales de los ganaderos y a las condiciones locales del territorio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los pastos comunales de Rionansa se caracterizan por un alto grado de matorralización (fig. 4a). Un 47% de la superficie comunal está ocupada por comunidades dominadas por brezales-tojales de *Ulex gallii* y *Erica spp.* sobre sustrato ácido y aula-gares de *Genista hispanica* y *Erica vagans* sobre calizo. A estas comunidades se asocia un estrato herbáceo de escaso valor nutritivo y utilización dominado por gramíneas como *Agrostis curtisii*, *Molinia caerulea*, *Pseudarrhenatherum longifolium* y *Brachypodium pinnatum*. Los pastos herbáceos de mayor productividad (*Cynosurion*, *Mesobromenion*, *Violion* y *Nardion*) son los que presentan una mayor utilización forrajera (fig. 4b). Su distribución espacial define en parte la distribución de la presión ganadera (fig. 4c) y las variaciones de peso vivo (fig. 4d).

Dada la heterogeneidad de la vegetación y de los requerimientos pastorales y nutritivos de los distintos tipos de ganado (especies y razas), la utilización del concepto de carga ganadera como referencia para estimar la adecuada utilización del territorio (tal como se hace en la actualidad para el pago de muchas de las ayudas de la PAC a la ganadería extensiva) no resulta adecuado y no frena los procesos actuales de degradación de los recursos pastorales. La aplicación de modelos que contemplen esta variabilidad y simulen el comportamiento del ganado en pastoreo, como el modelo PUERTO, permite estimar el grado de utilización forrajera de las comunidades vegetales de interés pastoral, detectándose situaciones de sobrepastoreo e infrapastoreo, y por tanto cuantifica mejor la sostenibilidad de los sistemas de pastoreo empleados y las posibles mejoras a realizar.

Estas actuaciones deben ir encaminadas en dos direcciones. En primer lugar, medidas orientadas a promover un cambio en los sistemas de manejo basado en la redistribución del ganado desde áreas que soportan una elevada presión ganadera a aquellas con un excedente de recurso forrajero, complementándose con un reajuste de los calendarios de aprovechamiento. El segundo bloque de medidas, que se podrían calificar de tipo estructural, pasaría por la construcción o rehabilitación de infraestructuras y equipamientos, así como por la ampliación y mejora de las áreas de pasto ya existentes mediante abonados, encalados, siembras, desbroces o quemas controladas. Alcanzar el éxito en la aplicación de estas medidas requerirá de un consenso entre los diferentes actores locales.

CONCLUSIONES

La metodología empleada se muestra como una herramienta capaz de detectar los desequilibrios existentes en el aprovechamiento de los pastos comunales, sirviendo de apoyo en la toma de decisiones para una planificación silvopastoral sostenible en zonas de montaña.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BUSQUÉ J., FERNÁNDEZ N. Y FERNÁNDEZ B. (2006). A decision support tool to design rangeland sustainable grazing systems. *Grassland Science in Europe*, **11**, 682-684.
- Cazorla, A. (coord.) (2006). *Planificación para la sostenibilidad: proyectos de ingeniería en un ámbito local-rural*. E.T.S.I. Agrónomos. Universidad Politécnica de Madrid.
- FILLAT F., GARCÍA-GONZÁLEZ R., GÓMEZ D. Y REINÉ R. (2008). *Pastos del Pirineo*. Madrid. CSIC-Diputación de Huesca.
- VÁZQUEZ I., PUENTE L. Y BUSQUÉ, J. (2011). Patterns of land use and ownership and their influence on pasture quality in the mountains of northern Spain. *Grassland Science in Europe* **16**, 58-60.

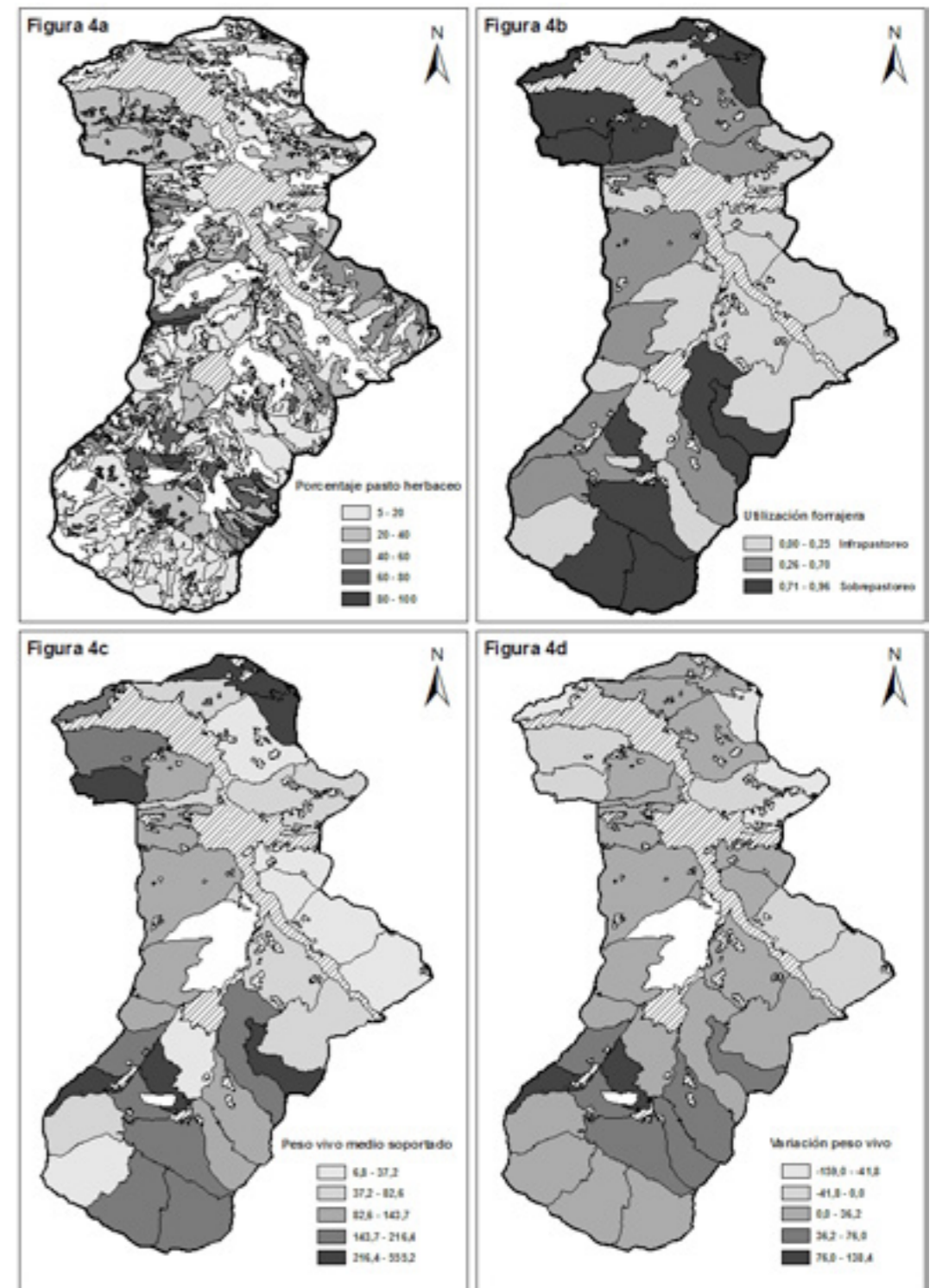


Figura 4. Salidas gráficas del modelo PUERTO. 4a: Distribución y cobertura de la vegetación herbácea. 4b: Utilización forrajera de los pastos herbáceos de mayor productividad (*Cynosurion*, *Mesobromenion*, *Violion* y *Nardion*). 4c: Peso vivo medio soportado en la unidad pastoral (kg/ha). 4d: Variación del peso animal en kg/ha en la unidad pastoral para todo el periodo de pastoreo. A rayas está representada la superficie no perteneciente a comunales.

Tercera parte

Producción animal con base a pastos

S.E.E.P.
PAMPLONA/IRUÑA 2012

CAPÍTULO INTRODUCTORIO

Gestión técnico-económica de explotaciones de rumiantes en Navarra: evolución y perspectivas

J.M. INTXAURRANDIETA / J.M. MANGADO / J.M. LASARTE / P. PÉREZ / I. MUJICA / J.A. ERBURU

Calidad de la leche de cabra de raza payoya durante el verano, en sistemas de pastoreo tipo arbustivo-mediterráneo

M. DELGADO-PERTÍÑEZ / A. SILES / E. VALENCIA / Y. MENA / V.M. FERNÁNDEZ-CABANÁS / D. LABEYRIE

Cuantificación del trabajo en explotaciones de ovino de leche en Navarra. Incidencia de la estacionalidad ligada al pastoreo

P. EGUINOA / J.M. INTXAURRANDIETA / J.M. LASARTE / P. LAZCANOTEGUI / M. ANCIN

Efecto del sistema de alimentación de corderos y del sexo sobre la composición de su carne en ácidos grasos y en vitamina E

V. CAÑEQUE / O. LÓPEZ / C. LÓPEZ CARRASCO / I. MUIÑO / M. RAMOS / C. PÉREZ / M.T. DÍAZ / S. LAUZURICA / J. DE LA FUENTE

Revisión de los procesos de alimentación en producción de ovino ecológico en montaña

J. L. SÁEZ ISTILART

Efecto del manejo y del estado fisiológico de ovejas de raza latxa en relación al gasto energético por locomoción

N. MANDALUNIZ / N.A. LASKURAIN / A. ALDEZABAL

Factores determinantes del uso del espacio por parte del ganado vacuno y equino en pastos de montaña

A. ALDEZABAL / N.A. LASKURAIN / N. MANDALUNIZ

Aprovechamiento ganadero de rastrojos de cultivos hortícolas y extensivos en Navarra

J.M. MANGADO / P. IRIBARREN

Análisis de las variables que influyen en la eutrofización de las explotaciones lecheras en Cantabria

G. SALCEDO

Efecto de la fecha y del número de parto de las vacas sobre la producción y calidad de la leche en pastoreo

A. I. ROCA-FERNÁNDEZ / A. GONZÁLEZ-RODRÍGUEZ / O. P. VÁZQUEZ-YÁÑEZ

Sistema de apoyo a la toma de decisiones (graze'in) validación externa para ganado vacuno en pastoreo

A. I. ROCA-FERNÁNDEZ / R. DELAGARDE / L. DELABY / M. E. LÓPEZ-MOSQUERA / A. GONZÁLEZ-RODRÍGUEZ

Predicción de la calidad de la dieta del rebeco (*Rupicapra pyrenaica*) mediante NIRS

A.L. GÁLVEZ CERÓN / E. SERRANO FERRON / J. BARTOLOMÉ FILELLA / G. MENTABERRE / X. FERNÁNDEZ AGUILAR / L. FERNÁNDEZ SIRERA / N. NAVARRO GONZALEZ / J.R. LÓPEZ OLVERA / S. LAVÍN / I. MARCO / E. ALBANELL

Especies toxigénicas del género *Fusarium* presentes en precosecha de maíz forrajero para ensilado en Galicia

M.J. SAINZ / O. AGUÍN / M.J. BANDE / C. PINTOS / J.P. MANSILLA

Evolución en la calidad de los ensilados de maíz: profesionalización de las explotaciones lecheras

B. DE LA ROZA DELGADO / A. SOLDADO / M. A. GONZÁLEZ / M. PELÁEZ / A. MARTÍNEZ FERNÁNDEZ

Gestión técnico-económica de explotaciones de rumiantes en Navarra: evolución y perspectivas

Technical-economic management of ruminant farms in Navarra: trends, evolution and prospects

J.M. INTXAURRANDIETA / J.M. MANGADO / J.M. LASARTE / P. PÉREZ / I. MUJICA / J.A. ERBURU

Instituto Navarro de Tecnologías e Infraestructuras Agroalimentarias S.A.
Avda. Serapio Huici, 22. 31610 Villava (Navarra).
jntxaur@intiasa.es

Resumen: Los Institutos Técnicos y de Gestión comenzaron a trabajar en 1981 en el análisis y asesoramiento de gestión a las explotaciones ganaderas de Navarra. En una primera etapa la información recogida para este objetivo fue de carácter técnico fundamentalmente y, posteriormente, se amplió tanto el volumen de información recopilada como el ámbito de estudio, pasando de trabajar con el rebaño a trabajar con la explotación en su conjunto. En la actualidad se dispone de series de datos desde 1986 que permiten estudiar la evolución de la productividad, los precios, los costes y los resultados de las diferentes especies de ganadería de rumiantes y en sus diferentes orientaciones productivas (OP). Las principales de entre ellas que existen en Navarra son: i) vacuno de leche (VL), ii) vacuno de carne (VC), iii) ovino de leche (OL), iv) ovino de carne (OC). En este trabajo se repasan, en primer lugar, los censos y la tipología de las explotaciones. Posteriormente, utilizando los resultados de gestión técnico-económica y analizando tanto su evolución en el pasado como la situación actual, se hace un recorrido por los principales factores que inciden sobre las diferentes estrategias adoptadas por los ganaderos y sobre la rentabilidad de su actividad. Para terminar, se presenta una propuesta y algunos resultados de los nuevos enfoques que se están desarrollando desde INTIA para que la gestión pueda ofrecer un diagnóstico de las explotaciones ganaderas más integral y más adaptado a las exigencias futuras.

Palabras clave: censos de ganado, margen económico, orientación productiva, indicadores, sostenibilidad.

Abstract: The Technical and Management Institutes started to work in 1981 in the advice and analysis of farm's management in Navarra. In a first stage, the information collected for this purpose was technical, mainly to increase both the volume of information and the study area, going from working at the herd level to the farm level. Data set collected from 1986 till nowadays of different ruminant species and productive orientations, allows the study of the evolution of the productivity, the prices and the costs of i) dairy cattle, ii) beef, iii) dairy sheep and iv) sheep meat. In this paper we review, first, the evolution of censuses and the typology of farms. Using the technical-economic management results we analyze the evolution, the current situation, the main factors that affect the different strategies adopted by farmers, and the profitability of their business. Finally, we present a proposal and some results of new approaches that INTIA is beginning to work in order to adapt ruminant livestock management to future requirements.

Key words: livestock censuses, economic margin, productivity orientation, indicators, sustainability.

CENSOS Y TIPOLOGÍA DE LAS EXPLOTACIONES EN NAVARRA

Interpretar correctamente los censos es una tarea fundamental previa a cualquier análisis posterior. Esta interpretación no resulta sencilla si se considera el manejo combinado de especies y producciones ganaderas en la misma explotación, así como la dedicación parcial a la actividad ganadera de muchos titulares, cosas ambas, relativamente habituales en Navarra. La referencia principal que se emplea en este apartado es la de explotaciones en gestión, que en su mayoría son de carácter profesional.

Vacuno de leche (VL)

En Navarra actualmente existen 261 explotaciones con cuota láctea que producen aproximadamente 191 284 t, lo que supone una cuota media de 732 890 kg de leche por explotación. En la figura 1 se recoge la reestructuración habida en este subsector en los últimos 20 años. En este período ha desaparecido el 82% de las explotaciones aunque la producción total de leche en Navarra, regulada por la cuota láctea, se ha incrementado en un 44%. Este incremento es consecuencia, casi exclusiva, del incremento de la productividad individual por vaca ya que el número de vacas ha permanecido prácticamente constante. En este tiempo la producción media por explotación se ha multiplicado por 8.

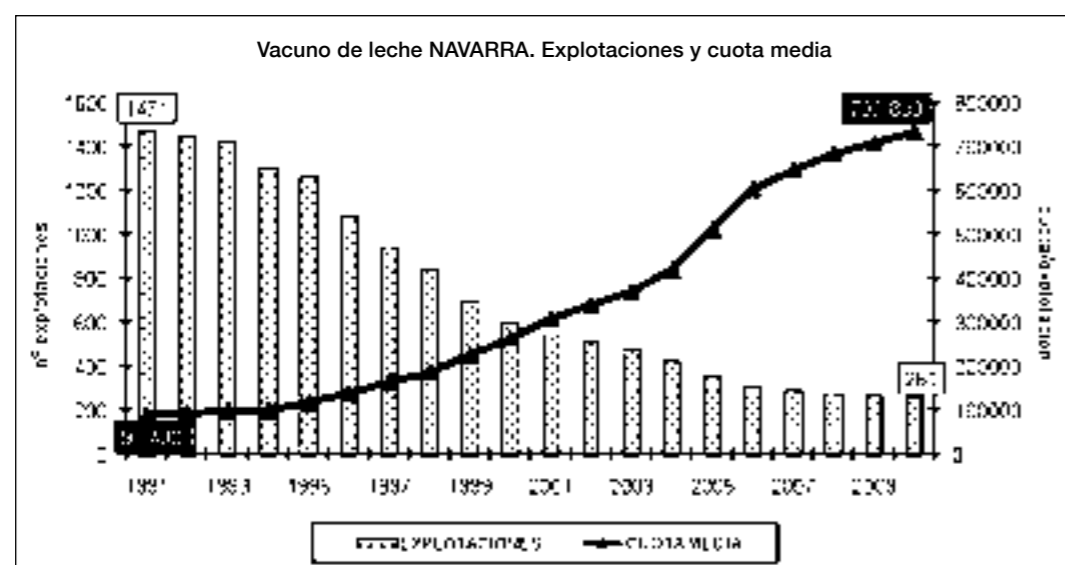


Figura 1. Evolución de las explotaciones de vacuno de leche en Navarra y la cuota media disponible expresada en kg.

La explotación de VL es fundamentalmente profesional (el 84% son prioritarias) y especializada (el 77% de las explotaciones sólo trabajan con esta especie). A pesar de ello hay 51 explotaciones, circunscritas a los valles atlánticos, que combinan VL con ovino de leche.

Vacuno de carne (VC)

En Navarra actualmente existen 1413 explotaciones con vacas de aptitud cárnica (no se incluyen las vacas bravas) con 28 334 vacas nodrizas, lo que supone 20 vacas por explotación. Este dato, que parece reflejar la tantas veces criticada escasa dimensión de las explotaciones ganaderas, exige una explicación más detallada. En primer lugar es importante constatar que únicamente el 32% de las explotaciones con vacas de carne

son prioritarias, agrupando el 68% del censo, lo que supone una media de 43 vacas/explotación. Dicho de otra forma, hay 966 rebaños con vacas de aptitud cárnica con una media de 9 vacas/explotación que ejercen esta actividad por afición o como complemento de rentas.

Por otra parte, en esta orientación productiva (OP) es muy habitual la combinación de esta especie con otras producciones tanto agrícolas como ganaderas. Centrando el análisis sólo en estas últimas, y sólo para las explotaciones prioritarias, se pueden establecer, al menos, los siguientes modelos productivos (tabla 1):

Tabla 1. Sistemas ganaderos con rebaños de vacuno de carne.

Modelo	Explotaciones	Nº de animales en producción
VC especializado	185	57 vacas
VC con ovino de leche	126	23 vacas y 233 ovejas
VC con ovino de carne	36	45 vacas y 473 ovejas
VC con otros ganados	100	

En VC las explotaciones prioritarias y especializadas suponen el 13% del total de explotaciones con vacas de carne.

Ovino de carne (OC)

Las razas de ovino cárnica, fundamentalmente de raza "navarra", suponen 2/3 del total de ovejas en Navarra. Por otra parte, casi la mitad de los efectivos de las razas de aptitud lechera se explotan sólo para carne, por lo que las ovejas con producción cárnica exclusiva en Navarra son el 79% del total. Sin embargo este porcentaje se ha reducido desde el desacoplamiento de las ayudas PAC, aplicado en España en 2006.

En la figura 2 se puede observar como hasta 2005 la reducción constante del número de explotaciones ($\pm 2\%$ anual) no tenía consecuencias sobre el censo ovino ya que las explotaciones que permanecían absorbían el censo de las cesantes. Sin embargo a partir de 2005, si bien el abandono de explotaciones sigue a un ritmo muy similar, los censos sufren un descenso muy importante, de más de 100 000 ovejas en 4 años. Esta reducción se debe a que los rebaños que permanecen no sólo no absorben el ganado de las que abandonan sino que ellos mismos reducen sus efectivos medios tal y como se verá más adelante en los resultados de gestión. Estas reducciones de censos, consecuencia de los cambios en el modo de gestionar las ayudas directas de la PAC, afectan casi en exclusiva a los rebaños de ovino de aptitud cárnica. Como se verá más adelante, los censos de los rebaños de ovino leche, sobre los que la incidencia de la PAC es menor, permanecen prácticamente constantes.

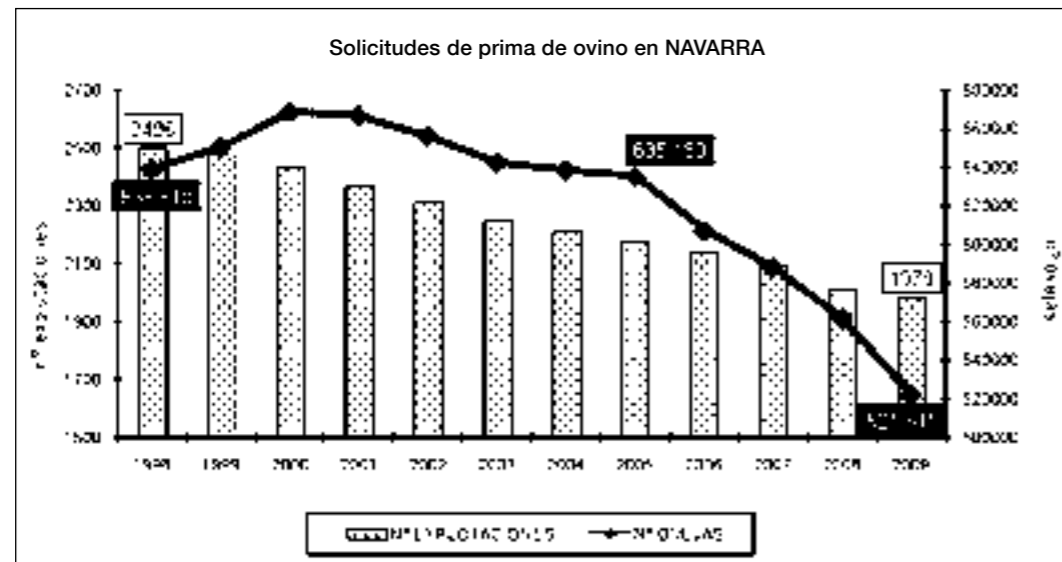


Figura 2. Evolución del número de explotaciones y censos con solicitud de prima de ovino 1998-2009.

En la actualidad hay 650 rebaños con ovejas de aptitud cárnica, de los que 332 son profesionales, con un rebaño medio de 846 ovejas. La mayor parte de ellos son explotaciones especializadas si bien hay un grupo de explotaciones, unas 60, que combinan OC con VC y otras especies ganaderas (equino).

Ovino de leche (OL)

En primer lugar, para interpretar los censos de OL, hay que discernir entre razas/apertitudes y manejo. Baste como ejemplo el hecho de que la raza autóctona “latxa”, catalogada como de aptitud lechera, solo se ordeña en el 23% de las explotaciones que agrupan el 52% de los efectivos.

Tomando como referencia el carácter prioritario de las explotaciones, ocurre que de 1530 explotaciones existentes en Navarra con ovejas de aptitud lechera, 1170 explotaciones (76,5%) no son prioritarias. Se trata de explotaciones con un censo medio de 66 ovejas, económicamente inviables por su escasa dimensión.

Las 333 explotaciones restantes, consideradas prioritarias, manejan una media de 307 ovejas/explotación. A pesar de que este número es ya significativo hay que destacar que, al igual que en VC, hay un importante número de explotaciones no especializadas. En este sentido, además de las 51 explotaciones que combinan OL con VL y las 126 que lo hacen con VC (datos presentados en apartados anteriores) hay otras 45 explotaciones en las que el ganado ovino se combina con otro tipo de ganado (principalmente porcino y equino).

En resumen, el número de explotaciones prioritarias especializadas en OL es de 111. Matizando más este dato se puede decir que 24 explotaciones de entre ellas trabajan en exclusiva con razas foráneas (principalmente “assaf” y “lacaune”) y que otras 51

explotaciones combinan la producción de leche con ovejas de raza “latxa” con la transformación y venta de queso. En resumen se trata de una OP con múltiples modelos.

A modo de conclusión puede decirse que en la ganadería rumiante de Navarra el 66% de las explotaciones prioritarias están especializadas en una sola producción ganadera gestionando censos medios muy relevantes (99 vacas de leche, 57 vacas de carne, 456 ovejas de leche y 935 ovejas de carne). El resto de las explotaciones prioritarias combinan varias especies ganaderas. Esta combinación, no siempre debidamente valorada, permite cubrir varios objetivos importantes en la coyuntura actual:

- Obtener una dimensión económica aceptable.
- Hacerlo con una mejor capacidad de aprovechamiento de las superficies forrajeras disponibles con lo que conlleva de reducción de la compra de alimentación externa.
- Aumentar la diversificación económica y por lo tanto reducir riesgos.
- Incrementar la diversidad tanto animal como vegetal que, si bien el mercado no valora debidamente, las políticas agrarias, cada vez más trascendentes sobre la rentabilidad de estas explotaciones, parecen contemplar entre sus objetivos futuros.

EVOLUCIÓN DE LOS RESULTADOS DE GESTIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA

La base de este trabajo son los resultados de gestión técnico-económica de 187 rebaños correspondientes a 170 explotaciones.

Como se aprecia en la tabla 2, la representatividad de la muestra es cercana al 10% en VC y OL, del 13% en OC y supera el 25% en la orientación productiva VL. En cualquier caso, el conocimiento de las explotaciones analizadas por parte de los técnicos, el método empleado y los años que se lleva ejerciendo esta labor, ofrecen suficientes garantías como para que la información manejada sea considerada como de alto grado de fiabilidad.

Tabla 2. Muestra INTIA sobre censo de explotaciones prioritarias.

	Censo prioritarias	Muestra INTIA	%
VL	261	67	25,67
VC	447	44	9,84
OL	333	33	9,91
OC	332	43	12,95
TOTAL	1.373	187	13,62

Dimensión y productividad

El incremento de dimensión y la mejora en la productividad parece que deben acompañar necesariamente la evolución de las explotaciones profesionales que buscan

la mejora de la rentabilidad (Buxadé y Purroy, 1996). Esta es la estrategia que se ha seguido en algunas de las OP, pero no en todas.

Una de las orientaciones en las que tanto la productividad como la dimensión se han incrementado ha sido la de VL, tal y como se recoge en la figura 3.

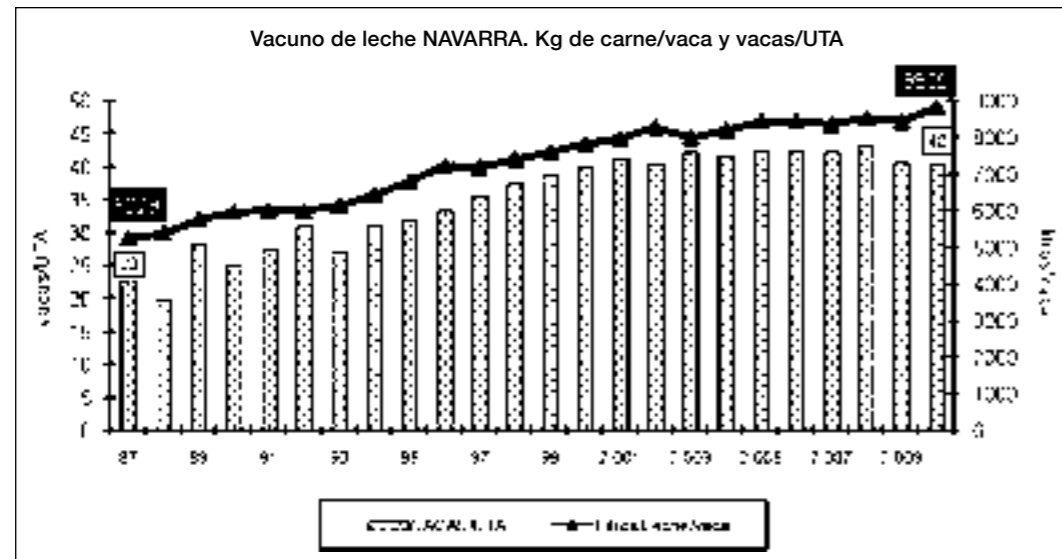


Figura 3. Número de vacas/UTA y litros de leche vendida/vaca.

El número de vacas manejadas por unidad de trabajo año (UTA) se ha incrementado en 25 años en un 77% (pasa de 23 a 40), a la vez que la producción de leche por vaca lo ha hecho en un 68% en el mismo período. Estos dos factores juntos hacen que la producción de leche por UTA se haya triplicado, pasando de 120 t a 356 t.

En la orientación VC (fig. 4) también se da un importante incremento de dimensión, reflejado en el número de vacas manejadas por UTA, que pasa de 20 a 55. La productividad, sin embargo, ha permanecido prácticamente inalterada. Hace 17 años los kilos de carne de ternera/o vendidos por vaca eran 176; en la actualidad son 191 con oscilaciones intermedias que no reflejan una tendencia clara. La mejora de la productividad en sistemas extensivos de ganadería rumiante resulta muy complicada.

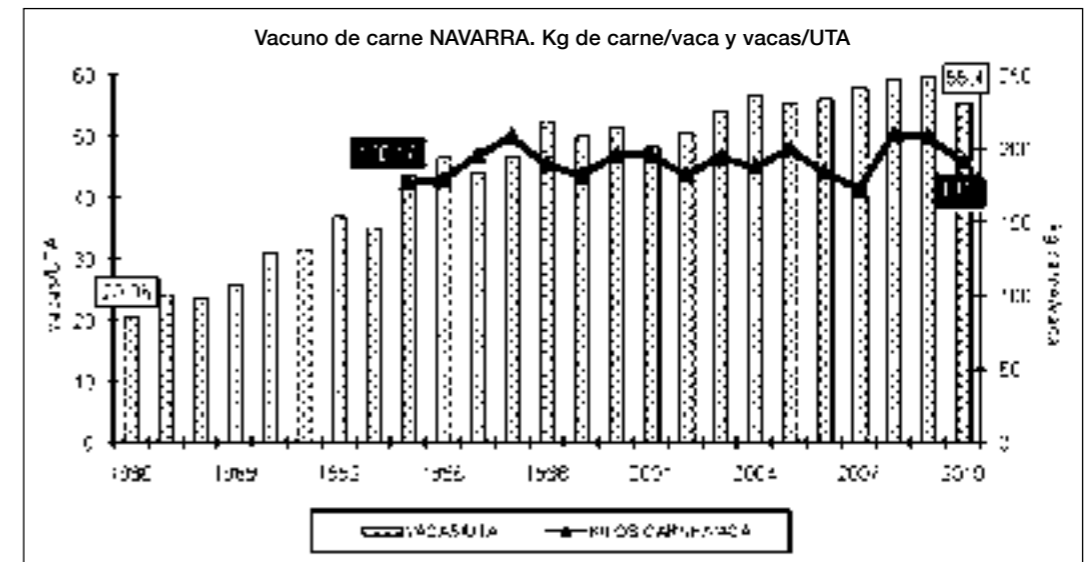


Figura 4. Vacas por UTA y kilogramos (canal) de carne de ternera/o vendidos por vaca.

En OL se contemplan, exclusivamente, los rebaños de raza “latxa”. Los resultados, representados en la figura 5, son contrarios al caso anterior, dándose un importante incremento del volumen de leche vendida por oveja presente (pasa de 53 a 132 litros), sin que el número de ovejas manejadas por UTA se haya incrementado. La estrategia de diversificación analizada en el primer capítulo, unida a la de valorización por transformación y venta de queso, pueden justificar esta estabilidad en los rebaños OL.

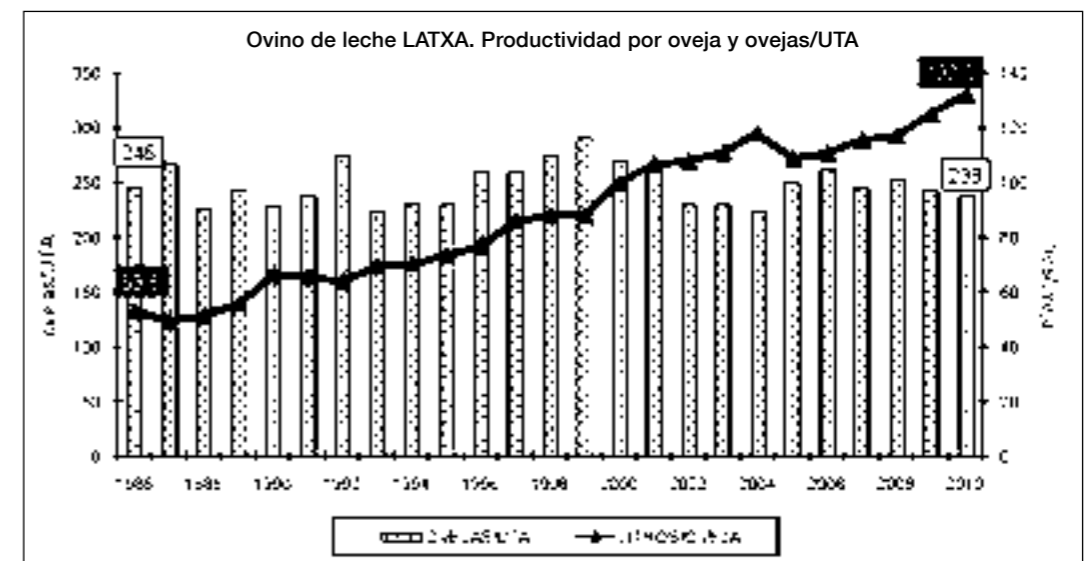


Figura 5. Número de ovejas/UTA y litros de leche vendidos por oveja presente de raza latxa.

En el análisis en OC hay que diferenciar dos períodos distintos: 1) desde 1987 a 2003 2) de 2004 a la actualidad.

En la figura 6 se presenta el número de ovejas manejadas por UTA, que tuvo un importante incremento entre 1987 y 2003, pasando de 304 ovejas a 676. En ese período la PAC no primaba la productividad sino el número de ovejas presentes. Sin embargo, a partir de ese año el número medio de ovejas/UTA se va reduciendo ligeramente hasta situarse en la actualidad en 605, estando este hecho vinculado al desacoplamiento de las ayudas PAC tal y como se comentó en el apartado de censos.

Curiosamente, a partir de ese mismo año empiezan a reducirse los kilos vivos de cordero vendidos por oveja y año, pasando de 23,1 en 2002 a 18,2 kilos en 2010 (-21,2%). La razón es puramente comercial ya que no se reduce el número de corderos vendidos por oveja, que se mantiene constante, sino que, dado que los corderos lechales empiezan a cotizarse con mejores precios relativos que los ternascos, la mayor parte de los ganaderos (equivalente al 83% de los corderos) deciden pasar a producir lechal, ya que no compensa económicamente la producción de ternasco.

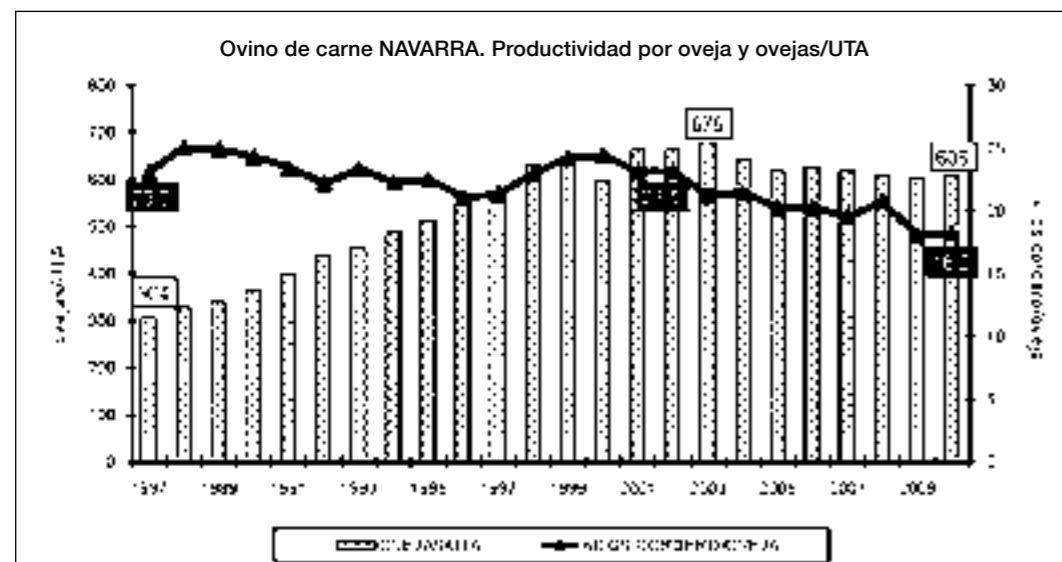


Figura 6. Evolución del número de ovejas/UTA y kg de cordero (vivo) vendidos por oveja.

En OC se da por tanto una sorprendente evolución; reducción del número de ovejas manejadas por UTA y de los kg vendidos por oveja. Esto supone una reducción de casi un 50% de kg de carne vendidos por UTA en 2010 respecto a 2002.

Como conclusión, puede comprobarse que en ganadería rumiante las estrategias no son las mismas para todas las orientaciones productivas. Desde estrategias clásicas de incremento de dimensión y productividad (VL), incremento de productividad sin aumento de dimensión (OL), incremento de dimensión sin aumento de productividad (VC) y reducción de dimensión y productividad (OC), estrategia ésta que sorprende en primera instancia y que requiere un análisis más profundo.

Precios

La evolución de los precios tiene para todas las OP estudiadas dos características comunes:

1. Son exógenos, es decir, se marcan fuera de su ámbito de actuación y los ganaderos, en general, tienen poca capacidad para intervenir sobre ellos.
2. Son decrecientes en valores constantes.

En la figura 7 se presenta la evolución en valores constantes de los precios pagados por los principales productos de las cuatro orientaciones de ganadería rumiante.

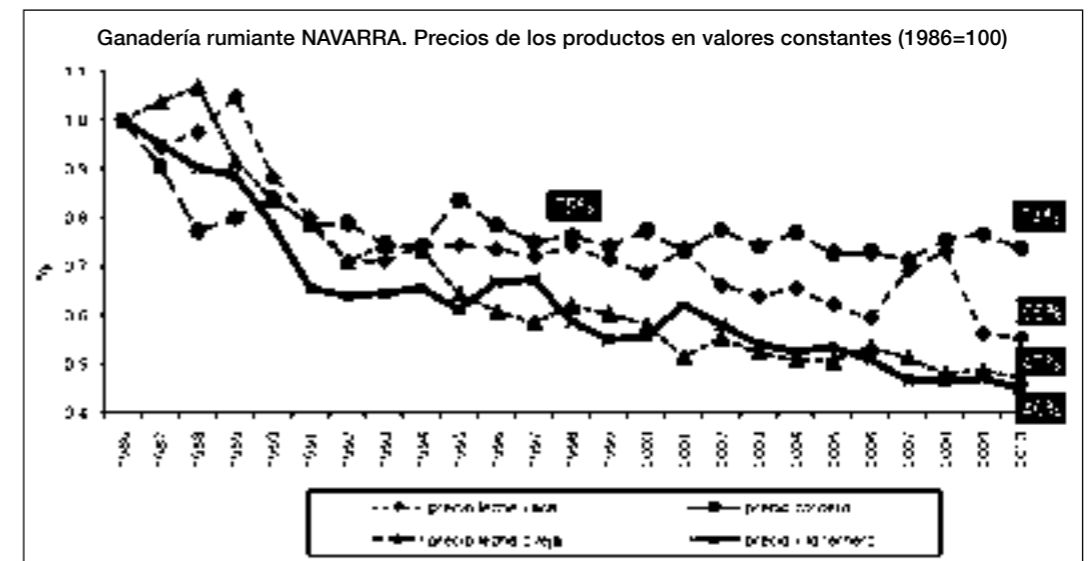


Figura 7. Precios de los principales productos de las cuatro orientaciones de ganadería rumiante (valores constantes).

Se aprecia que tres de las cuatro orientaciones productivas (VL, VC, OC) están vendiendo en 2010 su producto principal aproximadamente a la mitad de precio que hace 25 años. Solo en OL, para rebaños que manejan raza latxa, se da una situación diferente consiguiendo mantener los precios de venta en valores constantes en los últimos 12 años. Detrás de este fenómeno está la capacidad de valorizar el producto obtenido (leche de oveja latxa) bien mediante la adscripción a una D.O., bien mediante la transformación y comercialización del producto por parte del propio ganadero.

Este fenómeno lo analizamos en INTIA clasificando las explotaciones de OL de la siguiente manera:

- Explotaciones con raza latxa y venta de leche a industria transformadora
- Explotaciones con raza latxa y transformación/venta en explotación.
- Explotaciones con razas foráneas (assaf, lacaune)

En la figura 8 se aprecian las diferencias en la capacidad de valorizar el producto que se dan entre los tres sistemas desde 2001 a 2010.

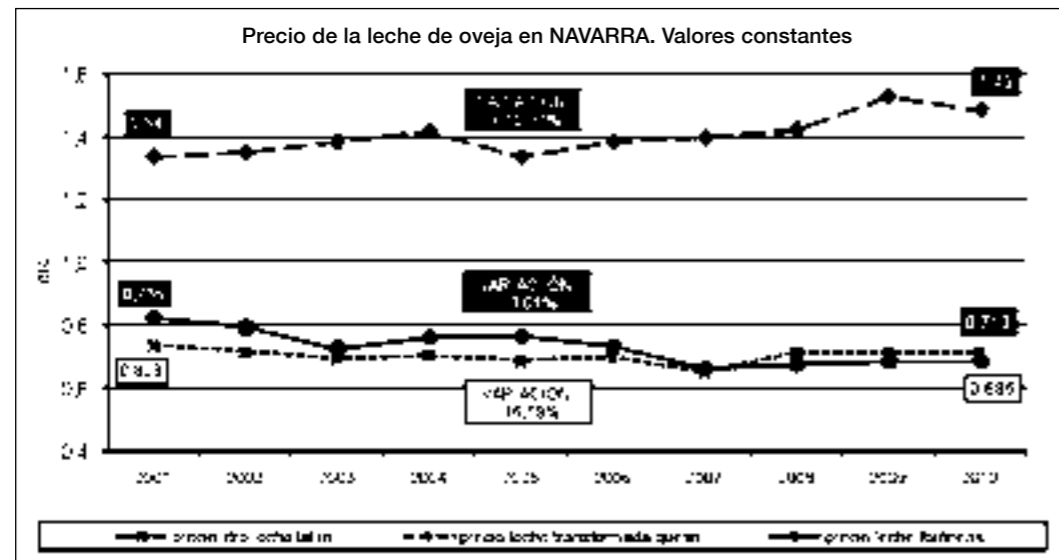


Figura 8. Evolución de los precios de la leche (valores constantes) de los tres sistemas de OL.

En los últimos 10 años, mientras los ganaderos que venden leche adscrita a una D.O. casi mantienen precios en valores constantes (- 3%), los ganaderos con razas foráneas pierden un 16,6% y los que, gestionando rebaños latxos, venden su leche transformada en queso mejoran sus precios casi un 11% por encima de la inflación.

Gastos

Para comparar la incidencia de los gastos se toma como unidad funcional la Unidad de Ganado Mayor (UGM). En la figura 9 se puede observar que mientras en VL el gasto total, sin considerar los costes de oportunidad, se sitúa en el entorno de 3000 €/UGM, en VC y OL superan ligeramente los 1000 € y en OC ronda los 500 €/UGM. Esto da una idea del carácter más o menos intensivo de cada orientación productiva.

En VL la tendencia general es el empleo de razas foráneas de alta productividad con estabulación casi permanente. En VC se combina una cría extensiva con un cebo intensivo (todas las explotaciones en gestión ceban sus terneros en la propia explotación). En OL los datos se refieren exclusivamente a rebaños de raza latxa que, además de seguir trabajando con una raza autóctona, mantienen un manejo relativamente extensivo, con pastoreo tanto en pastos propios como en pastizales comunales. En OC se mantiene un sistema de manejo netamente extensivo. La única fase de cierta intensificación, que sería el cebo de corderos, prácticamente no se hace en la actualidad, tal y como se ha comentado anteriormente.

El gasto en alimentación se acerca en todos los casos al 50% de los gastos totales, con las consecuencias que ello puede conllevar en coyunturas de volatilidad de precios de materias primas como la actual.

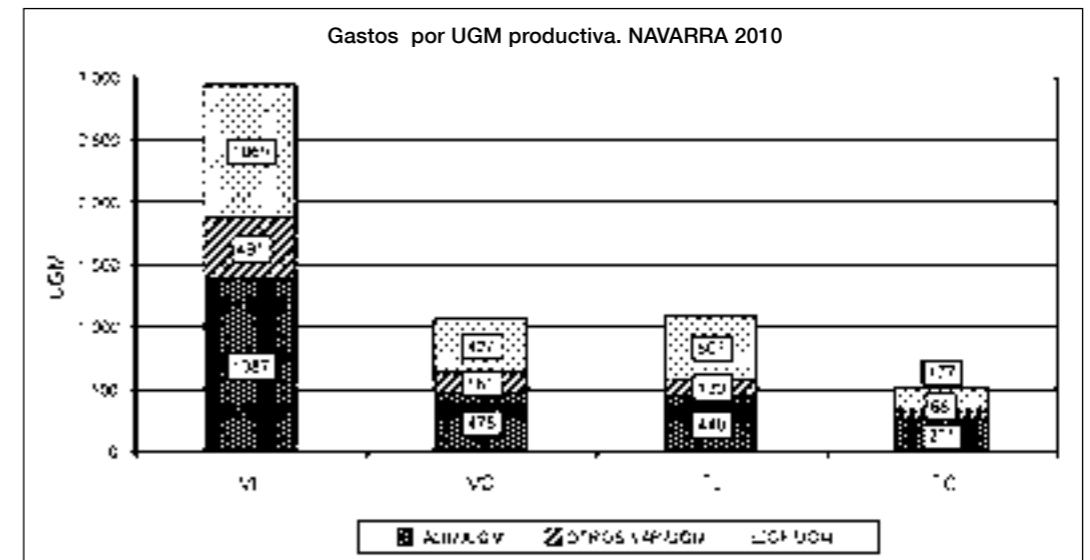


Figura 9. Distribución de gastos de alimentación, otros gastos variables y gastos fijos por UGM productiva 2010.

En la figura 10 se presenta la evolución de los gastos totales por UGM en los últimos 15 años, para cada OP, descontando la incidencia de la inflación (valores constantes). Se puede apreciar que la OP que más ha incrementado sus gastos en los últimos 15 años ha sido OL, siendo no el sistema más intensivo, pero sí el que más se ha intensificado. La explicación de este comportamiento puede encontrarse en un nivel de intensificación muy bajo en el año de inicio (la producción de leche por oveja era la mitad que en la actualidad) y en un mejor comportamiento general del precio de venta del producto principal (fig. 7) en especial para el caso de los pastores elaboradores de queso (fig. 8).

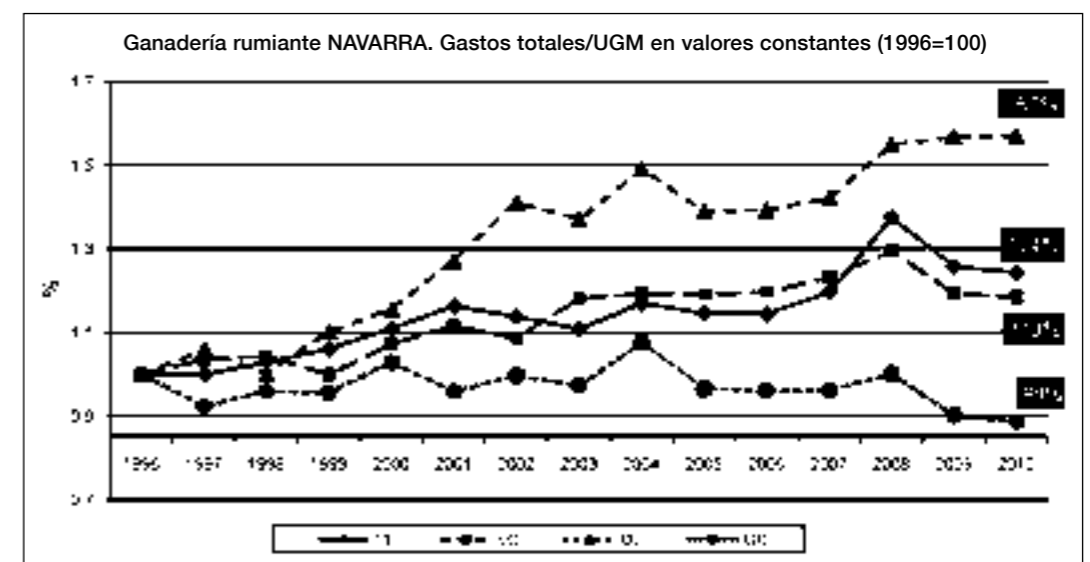


Figura 10. Evolución de los gastos totales/UGM en valores constantes para cada orientación productiva (1996 = 100).

En OC el comportamiento es el contrario, siendo la única OP en la que los gastos se han incrementado por debajo de la inflación, pudiendo decirse que se ha desintensificado. En este caso las razones están ligadas a una estrategia que, con el desacoplamiento de las ayudas PAC y la comercialización de lechales, lleva a un mejor equilibrio tierra-ganado y un menor gasto en concentrados. En VL y VC los gastos por UGM se incrementan en valores constantes entre un 19% y un 24%.

Márgenes y resultados

En primer lugar se analiza la evolución de los resultados de las diferentes OP durante los últimos 15 años. Para ello, y considerando las diferencias de criterio que se han empleado para su adjudicación, se dejan de lado las subvenciones percibidas. En la figura 11 se muestra la tendencia general para todas las orientaciones. La parte de beneficio que queda de la producción va reduciéndose año tras año en todas las especies. En VC este porcentaje es negativo desde la crisis de las vacas locas (2001). En OC ocurre lo mismo, si bien desde fechas más recientes. En VL se mantiene positivo pero por debajo del 10% en los dos últimos años. En OL alcanza el 29% en la actualidad, habiéndose reducido desde el 44% en 1996.

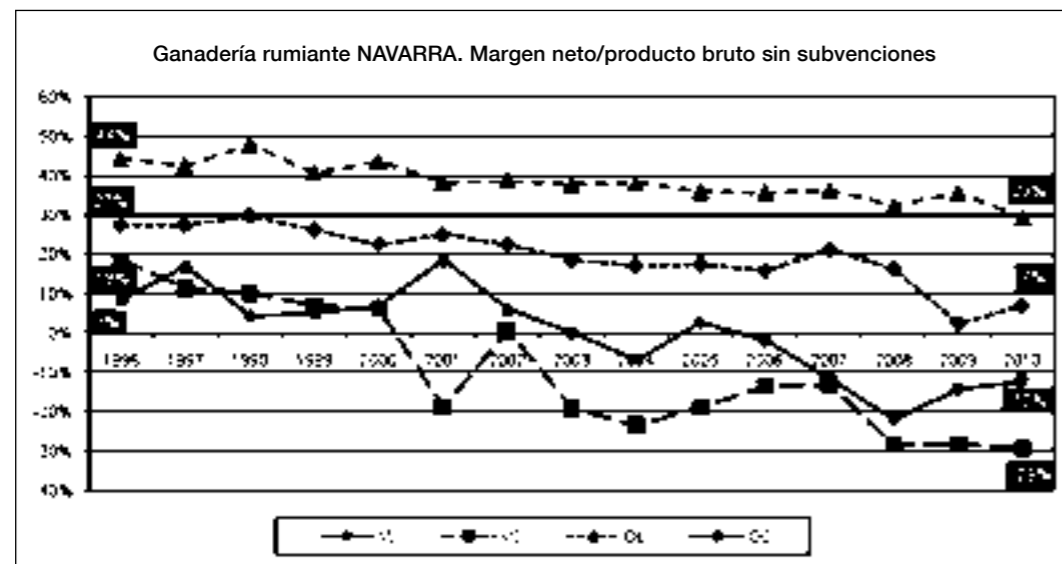


Figura 11. Evolución porcentual del margen neto sobre el producto bruto (MN/PB).

En la metodología empleada en INTIA las subvenciones de explotación se computan como ingresos de una OP en la medida en que estas subvenciones están vinculadas a dicha producción, no así las ayudas dissociadas que sólo se consideran si el análisis se realiza a nivel del conjunto de la explotación (orientación técnico económica, OTE). En la figura 12 se analizan los resultados a nivel de OP, es decir nivel rebaño.

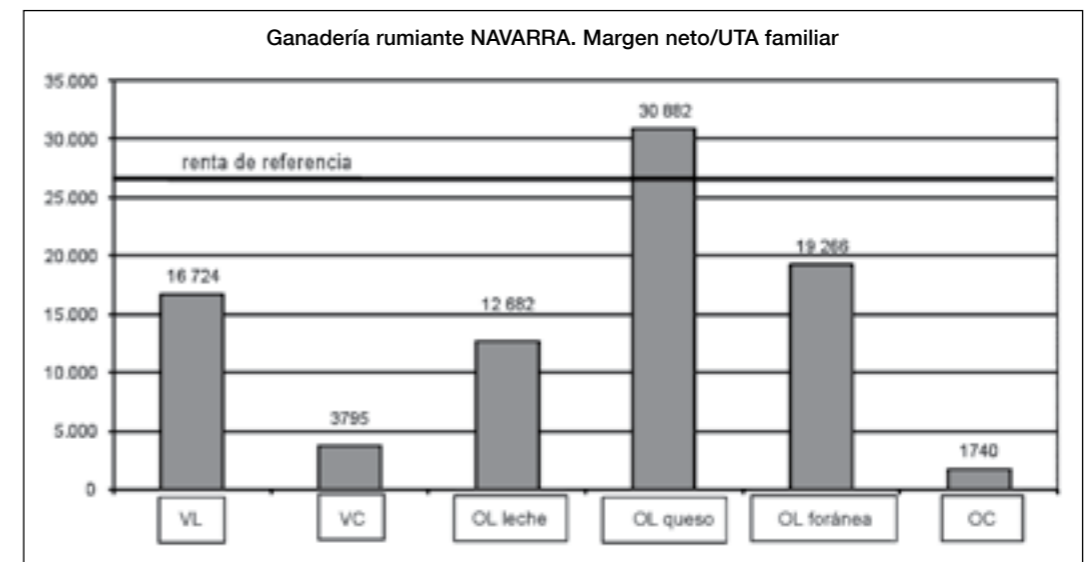


Figura 12. Comparación del margen neto (MN) por UTA familiar en las diferentes OP (sin ayudas dissociadas), diferenciando sistemas en ovino de leche.

En OL se diferencian los tres sistemas definidos en el apartado de precios. Tomando como objetivo que el margen neto por UTA familiar cubra la renta de referencia del año correspondiente (26 305 € en 2010), éste sólo se cubre en la orientación OL con transformación y venta de queso. En el resto de orientaciones lácteas apenas sí se obtiene el 50% de dicha renta. En las orientaciones cárnicas el resultado es positivo pero próximo a 0.

Sin embargo para tener una visión completa de la rentabilidad de las explotaciones es imprescindible, sobre todo desde la disociación de las ayudas PAC, hacer un análisis global. Para ello se clasifican las explotaciones en OTEs considerando especializadas aquellas en las que el producto bruto (PB) de una orientación supera en 2/3 el PB total, y mixtas las demás. Agrupando de este modo las explotaciones se obtienen los resultados reflejados en la tabla 3.

Tabla 3. Resultados por OTEs (se incluyen ayudas dissociadas). Navarra 2010.

	VL	VC	OL	OC	mixtas
UTA familiar	1,75	1,16	1,69	1,05	1,37
Resultado sin primas (€)	19 446	- 15 001	27 851	- 6108	- 1631
Subvenciones acopladas (€)	8935	18 484	3101	7586	13 679
Resultado OP (€)	28 382	3484	30 952	1479	12 048
Subvenciones desacopladas (€)	37 528	24 484	21 735	27 146	35 108
Resultado final (€)	65 910	27 968	52 686	28 625	47 156
Resultado/UTA familiar (€)	37 737	24 032	31 133	27 338	34 331
Subvenciones/resultado final (%)	70	154	47	121	103

Sólo las explotaciones ganaderas con producción lechera generan un “resultado de la actividad productiva” (sin subvenciones) positivo. Incorporando las subvenciones vinculadas a la producción, el “resultado de la OP” es positivo en todas las OTEs si bien en las producciones cárnicas es muy bajo. Sin embargo, si se incluyen las ayudas dissociadas de la producción, todas las OTEs superan los 25 000 € de resultado, y en todas menos en VC el resultado por unidad de trabajo familiar supera la renta de referencia.

Comparación por OTEs 2010

En las explotaciones centradas en la producción cárnica o mixtas con cultivos, el resultado económico depende de las subvenciones de una forma absoluta. En el caso de la leche tanto de vacuno como de ovino sin transformación, las subvenciones permiten alcanzar la renta de referencia. El OL con transformación en queso es el único modelo con autonomía de ayudas para la obtención de la renta de referencia.

Futuro de la gestión en INTIA

“Desde hace más de treinta años el “problema ambiental” ha venido suscitando la necesidad de establecer circuitos de información sobre la incidencia física y territorial de las actividades económicas ordinarias que el análisis monetario dominante ignora, para hacer que la sociedad pueda rediseñar, a la luz de esta nueva información, las reglas del juego económico que condicionan valores y precios. Sin embargo esta necesidad de información no ha sido satisfecha y la información monetaria sigue siendo la única que se utiliza de forma sistemática para orientar la gestión”. Naredo, 2004

Es indudable que la situación ha cambiado mucho en los últimos 25 años. En ese tiempo se vislumbraba un gran recorrido para la aplicación de innovaciones técnicas que permitieran aumentar tanto la dimensión como la productividad de las explotaciones ganaderas. Así mismo la PAC estaba orientada en este sentido. Sin embargo, estas innovaciones, tuvieron algunas consecuencias no deseadas en forma de desaparición de razas autóctonas, intensificación, desconexión del ganado con la base territorial, pérdida de sabores y saberes locales, y otras ligadas a los procesos biofísicos.

Actualmente, una vez satisfechas las necesidades de autoabastecimiento alimentario, se empiezan a valorar otras funciones de la agricultura no exclusivamente productivas, y a manejar conceptos como multifuncionalidad (Reiné *et al.*, 2009) o sostenibilidad. La cuestión de fondo es como combinar el interés económico, el desarrollo social y el equilibrio ambiental de un proceso productivo. En este sentido, Tomás García Azcárate, funcionario de la Comisión Europea, en referencia al diseño de la futura PAC, escribía lo siguiente: “No hay contradicción entre agricultura sostenible y agricultura competitiva, simplemente porque si la agricultura no es sostenible, no será” (García, 2011).

En apartados anteriores se ha demostrado la gran incidencia de las políticas agrarias sobre las decisiones de los ganaderos. Considerando la dependencia actual de las

ayudas de la PAC (las subvenciones representan un 88% del margen neto de las explotaciones en gestión) es indudable que cualquier estrategia futura debe estar acorde con los objetivos de la PAC.

Sin embargo, para desarrollar estrategias que busquen un mayor grado de sostenibilidad, debe haber herramientas que permita medir este atributo. Actualmente la información que se obtiene de los procesos agrarios en este sentido tiende a ser esporádica, parcial, fundamentalmente basada en cálculos teóricos y realizados por personas alejadas del día a día del sector. Algunos centros vinculados al trabajo de campo y a la gestión técnico económica de rumiantes han empezado a trabajar en este sentido, al menos parcialmente. Es el caso del Institut de l’Elevage (Fr) que publica habitualmente resultados de gestión técnico económica de explotaciones de vacuno y ovino francesas y que ha incorporado a esos estudios indicadores ambientales tales como los balances de nutrientes o las necesidades energéticas (Caillaud *et al.*, 2011).

Hacia el diagnóstico integral y la gestión por indicadores de sostenibilidad

En esta línea se enmarca el desarrollo futuro de la gestión en INTIA. Considerando la disponibilidad actual de resultados de gestión y el conocimiento detallado de las explotaciones ganaderas, la obtención del “dato añadido” resulta más sencilla y permite profundizar en nuevos ámbitos de estudio. Uno de los campos a abordar es el del medio ambiente.

El interés ambiental ligado a los procesos agrarios ha tenido un recorrido que ha pasado de priorizar los análisis sobre los balances de nutrientes a trabajar sobre balances energéticos. Pero son los gases de efecto invernadero (GEIs) los que en la actualidad reclaman mayor atención. En el caso de la ganadería rumiante el tema es crucial debido al metano generado en el proceso de rumia y a la importancia de este gas como responsable del calentamiento global (21 veces superior al CO₂). Ello hace que en determinados foros se mire a este tipo de ganadería como un gran contaminador. Ante estas cuestiones es importante tener información propia, sobre todo porque los criterios metodológicos pueden hacer variar las conclusiones (Dolle *et al.*, 2011; O’Brien *et al.*, 2011).

El trabajo desarrollado hasta ahora en INTIA ha pasado por la aplicación de programas ya elaborados como Planete /Diaterre®, para posteriormente crear herramientas propias en colaboración con otros equipos (Arandia *et al.*, 2009; Mangado *et al.*, 2009). De este modo se han obtenido los primeros resultados sobre balances energéticos y emisiones de gases de efecto invernadero (Intxaurrendieta y Arandia, 2008).

Algunas de las conclusiones obtenidas de estos primeros acercamientos desvelan la gran variabilidad de interpretaciones que puede darse sólo con el cambio en las unidades funcionales escogidas (tabla 4). Esta elección puede hacer que un sistema (S2) penalizado si se toma la referencia de los litros de leche (objetivo principal producción de leche), quede en una posición media si la referencia es la mano de obra (objetivo

principal generación de empleo) y obtenga la mejor posición (mínimo consumo de energía y emisiones GEI) si la referencia es la generación de margen, es decir si el objetivo es: ¿qué sistema es capaz de generar más unidades de margen neto con las mismas emisiones? (Dillon *et al.*, 2008).

Tabla 4. Resultados de energía y emisiones GEI en diferentes sistemas ganaderos.

ENERGÍA (MJ)	S1	S2	S3
por UTA	409 504	544 392	1 012 077
por MN	21,13	6,56	34,18
por litro de leche	12,96	16,07	10,18
EMISIONES (eq. CO ₂)	S1	S2	S3
por UTA	133 540	164 365	234 813
por MN	18,34	6,54	17,57
por litro de leche	4,23	4,85	2,36

Por otro lado, y dentro del campo ambiental, no cabe duda de que la sustentabilidad de una explotación dependerá además de las emisiones GEI de otros indicadores como el balance de nutrientes, el equilibrio ganado-SAU, el mantenimiento de la biodiversidad, etc.

Además, un sistema ganadero será sostenible si lo es desde un punto de vista social. Este carácter social puede medirse tanto desde un punto de vista interno (capacidad de generación de empleo, calidad de vida, calidad de trabajo, garantía de continuidad, etc.) como externo a la explotación (mantenimiento de paisajes, bienestar animal, calidad de productos). Por ello, en esta nueva etapa de la gestión en INTIA, se ha empezado a preguntar a los ganaderos sobre las horas efectivas trabajadas por mes y al cabo del año, sobre la percepción que tienen de su calidad de vida o de la del trabajo que desarrollan. En la figura 13 se reflejan las valoraciones medias que los ganaderos de tres sistemas de OL han dado sobre su calidad de vida y de trabajo.

La aportación de esta nueva forma de analizar los resultados de gestión no viene dada sólo por la incorporación de información social y ambiental, sino que también pretende que el enfoque económico, hasta la actualidad limitado a cuestiones de productividad y rentabilidad anual, tenga un carácter ligado a la sustentabilidad, de forma que se ha empezado a medir, además de la rentabilidad, la generación de valor, la diversificación del riesgo, la dependencia de subvenciones, la estructura del gasto, etc.

En la figura 14 se reflejan los resultados de dos indicadores que miden la fragilidad de los sistemas ante la volatilidad de los precios de las materias primas y la consecuente inestabilidad de los márgenes a largo plazo. Tal y como se refleja en la gráfica el sistema 2 es el menos volátil y en el que la inestabilidad del margen neto es muy inferior a la de los otros dos sistemas, principalmente el 3. Se puede concluir que el sistema 2 es un sistema más resiliente que los otros dos.

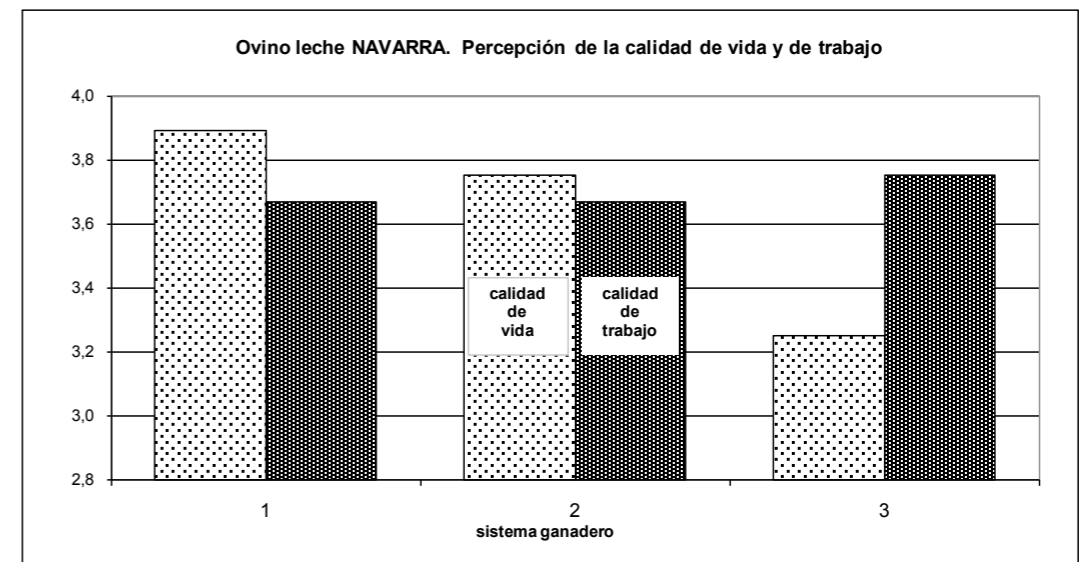


Figura 13. Valoración de la percepción de la calidad de vida y de trabajo.

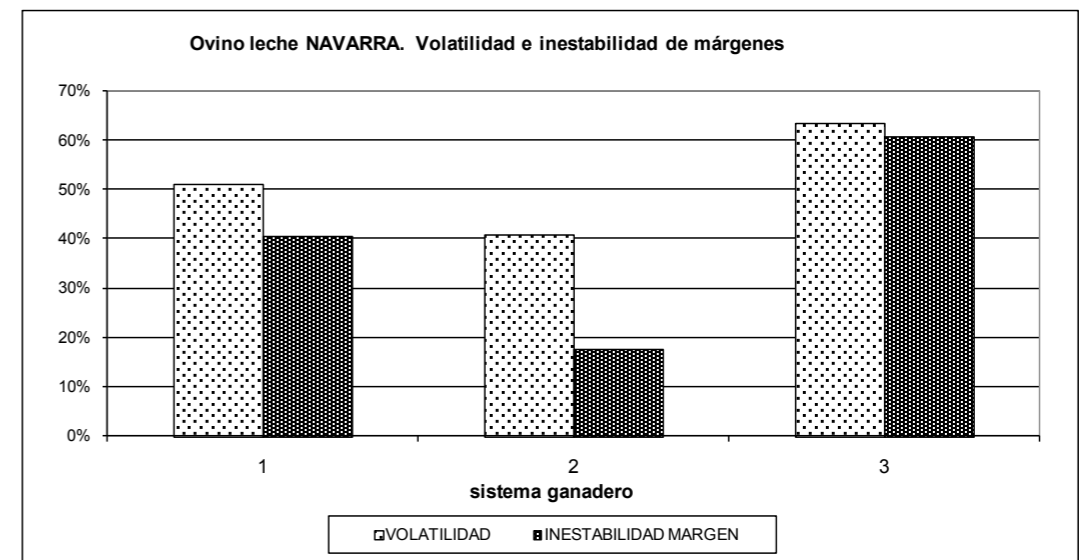
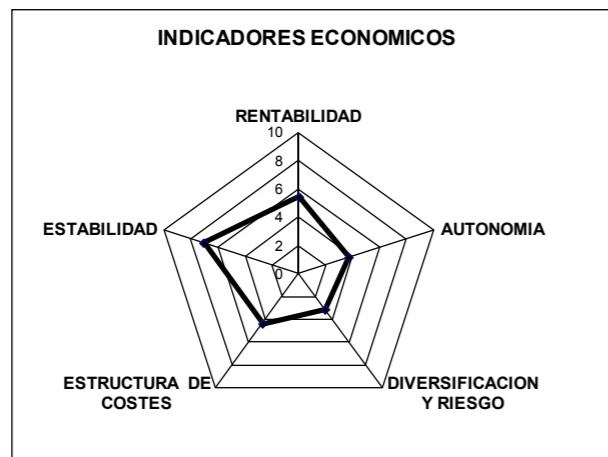


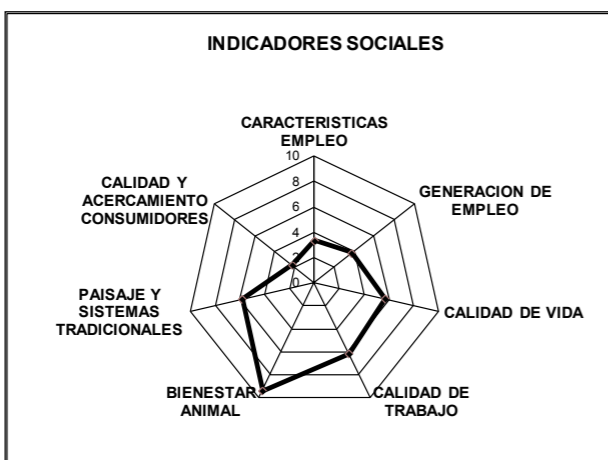
Figura 14. Riesgo ante volatilidad de precios de materias primas e inestabilidad de márgenes según sistemas.

En resumen, se puede decir que la estrategia para el futuro desarrollo de la gestión en INTIA pasa por incorporar nueva información de carácter social y ambiental a la información económica habitualmente disponible para poder realizar un diagnóstico integral de la sustentabilidad de las explotaciones ganaderas. En la figura 15 se presenta un ejemplo de resultados de la aplicación de estos criterios que reflejan la valoración en los tres pilares de la sustentabilidad de un sistema especializado en OL.

Indicadores económicos (sobre 10)		4,74
RENTABILIDAD		5,42
AUTONOMIA		3,68
DIVERSIFICACION Y RIESGO		3,14
ESTRUCTURA DE COSTES		4,36
ESTABILIDAD		7,08



Indicadores sociales (sobre 10)		5,20
CARACTERISTICAS EMPLEO		3,29
GENERACION DE EMPLEO		3,71
CALIDAD DE VIDA		5,67
CALIDAD DE TRABAJO		6,21
BIENESTAR ANIMAL		9,44
PAISAJE Y SISTEMAS TRADICIONALES		5,83
CALIDAD Y ACERCAMIENTO CONSUMIDORES		2,22



Indicadores ambientales (sobre 10)		6,97
EQUILIBRIO GANADO SUPERFICIE		8,69
GESTION SAU		10,00
BALANCE NUTRIENTES		2,35
GESTION DE EFLUENTES		8,57
ENERGIA		5,89
EMISIONES		6,34

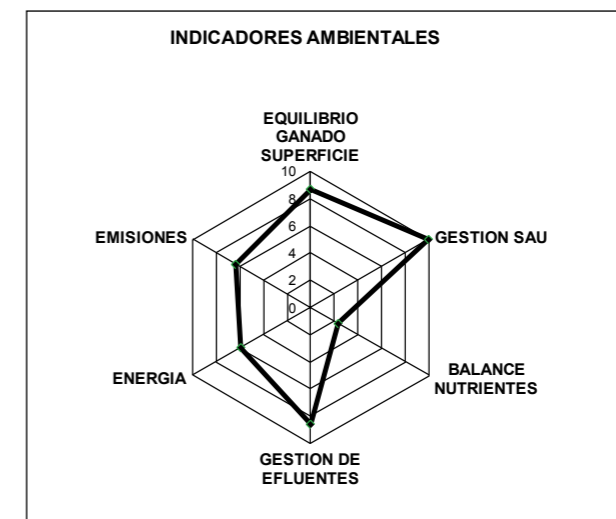


Figura 15. Ejemplo de resultados de indicadores de sostenibilidad de una sistema ganadero 2010.

CONCLUSIONES

- Los censos ganaderos siguen reflejando una gran diversidad de sistemas que aportan riqueza en lo ambiental, flexibilidad en lo social y reducción de riesgos económicos.
- Las estrategias de mejora no siempre están orientadas a incrementos de dimensión y productividad. Solo ocurre, de modo indiscutible, en los rebaños de VL.
- Los precios de venta de producciones ganaderas, en valores constantes, se reducen para todas las OP excepto para los ganaderos de OL que transforman en queso y venden directamente su producción.
- Los rebaños de VL son los más intensivos, pero son los de OL los que más han intensificado su producción en los últimos años.
- El margen generado por la actividad productiva (sin contar subvenciones) se va reduciendo constantemente a lo largo de los años. Computando todas las ayudas (incluidas las disociadas), todas las OTEs obtienen en 2010 un MN por UTA superior a la renta de referencia, a excepción de la especializada en VC.

- Se constata la dependencia que tienen de las subvenciones algunos sistemas ganaderos. Es importante contemplar las tendencias futuras de la PAC.
- La volatilidad de los mercados de materias primas está poniendo en cuestión algunos modelos ganaderos.
- Los sistemas ganaderos de bajos insumos y ligados a la base territorial pueden, además de ser rentables, generar mayores niveles de resiliencia, valorizar el patrimonio paisajístico, proporcionar mayores grados de bienestar animal y humano, incrementar la biodiversidad y en definitiva reforzar los tres niveles de la sostenibilidad: económico, social y ambiental.
- La gestión debe ser algo dinámico que se adapte a las necesidades del momento. Sólo una herramienta que integre todos estos atributos de una forma equivalente permitirá realizar un diagnóstico más adecuado de la realidad de las explotaciones ganaderas para que éstas puedan continuar ofreciendo bienes y servicios valorados por la sociedad.

AGRADECIMIENTOS

A todos los técnicos de asistencia técnica de ITG Ganadero – INTIA.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARANDIA A., INTXAURRANDIETA J.M., SANTAMARIA P., DEL HIERRO O., NAFARRATE L., ICARAN C., LÓPEZ E., PINTO M. Y MANGADO J.M. (2009) Desarrollo de una herramienta para el diagnóstico de la sostenibilidad económica, ambiental y social en sistemas agroganaderos. Aplicación en vacuno de leche. En: Reiné, R. *et al* (Eds.) *La multifuncionalidad de los pastos: producción ganadera sostenible y gestión de los ecosistemas*, pp 439-446. Huesca, España: XLVIII Reunión Científica de la SEEP.
- BUXADÉ C. Y PURROY A. (1996) Los costes de producción en el ovino de leche. *Ganado ovino de leche*. Madrid, España: Ed. Mundi-Prensa.
- CAILLAUD D. (2011) *Synthèse regionale des données des réseaux d'élevage bovins lait. Campagne 2010*. Collection Résultats. Francia: Ed. Institut de l'Élevage.
- DILLON E., HENNESSY, T., HYNES S. Y COMMINS V. (2008) Assessing the sustainability of Irish Farming. *107 EAAE Seminar Modelling of Agricultural and Rural Development Policies*. Sevilla, España.
- DOLLÉ J.P., MANNEVILLE V., GAC A. Y CHARPIOT A. (2011) *Emissions de gaz à effet de serre et consommations d'énergie des viandes bovines et ovines françaises: revue bibliographique et évaluations sur l'amont agricole*. Collection Résultats. Francia: Ed. Institut de l'Élevage.
- GARCIA T. (2011) Una visión agronómica de propuesta de la futura Política Agraria Común para después del 2013. *Mundo del Agrónomo*, 17, 24-26.
- INTXAURRANDIETA J.M. Y ARANDIA A. (2008) Sistemas ganaderos. Energía y emisiones. Análisis comparativo de explotaciones de ganadería rumiante en Navarra. *V Congreso AERNA*. Palma de Mallorca, España.

- MANGADO J.M., ARANDIA A., INTXAURRANDIETA J.M., SANTAMARIA P., DEL HIERRO O., NAFARRATE L., ICARAN C., LÓPEZ E., PINTO M. Y RUIZ R. (2009) *Diagnóstico de sostenibilidad de los sistemas agroganaderos. Incorporación de indicadores de carácter social y ambiental a programas de gestión técnico económica*. Memoria final. Proyecto RTA 2005-00174-C02.
- NAREDO J.M. (2004) Raíces económicas del problema ambiental. *I Congreso de AERNA*. Vigo, España.
- O'BRIEN D., SHALLO L., BUCKLEY F., HORAN B., GRAINGER C. Y WALLACE M. (2011) The effect of methodology on estimates of greenhouse grass emissions from grass-based dairy systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 141, 39-48.
- REINÉ M., BARRANTES O., BROCA A. Y FERRER C. (2009) *La multifuncionalidad de los pastos: producción ganadera sostenible y gestión de los ecosistemas*. Huesca, España: Ed. Sociedad Española para el Estudio de los Pastos.

Calidad de la leche de cabra de raza payoya durante el verano en sistemas de pastoreo tipo arbustivo-mediterráneo

Effect of grazing level in summer on a mediterranean shrublands in milk quality of payoya goats

M. DELGADO-PERTÍÑEZ¹ / A. SILES¹ / E. VALENCIA² / Y. MENA¹ / V.M. FERNÁNDEZ-CABANÁS¹ / D. LABEYRIE³

¹Departamento de Ciencias Agroforestales, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica, Universidad de Sevilla, Ctra. Utrera km 1, 41013 Sevilla (España). pertinez@us.es, bistante@hotmail.com, yomena@us.es, victor@us.es

²Instituto de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma de Baja California (México). valfa812000@hotmail.com

³Fromandal S.A., grupo EURIAL. David.LABEYRIE@fromandal.com

Resumen: No se conocen trabajos sobre el consumo de pastos arbustivo-mediterráneo y su relación con la calidad de los productos en caprino en Andalucía. El objetivo del presente trabajo fue aportar unos primeros datos para caracterizar la calidad de la leche en la época de verano, de los sistemas de raza Payoya en pastoreo. Se seleccionaron 8 explotaciones situadas en la Sierra de Cádiz. De agosto a octubre fueron encuestadas para caracterizarlas en el manejo alimenticio. Según el porcentaje de necesidades cubiertas por el pastoreo, las explotaciones se clasificaron en dos grupos: alto y bajo pastoreo. Durante esos meses se recogieron muestras de leche de tanque y fueron analizados su composición química y los contenidos de ácidos grasos y vitamina E. Los porcentajes de ácidos grasos deseables nutricionalmente (ácidos n-3) fueron significativamente más altos, mientras que el índice n-6/n-3 fue más bajo en el grupo alto pastoreo. Los isómeros CLA no se vieron afectados por el nivel de pastoreo. El contenido de α -tocoferol fue más alto en el grupo alto pastoreo. En conclusión, el mayor nivel de pastoreo ha tenido un efecto positivo sobre la calidad de la leche de cabra, con mayores contenidos de componentes funcionales (ácidos grasos n-3, α -tocoferol).

Palabras clave: ácidos grasos, ácido linoléico conjugado, ácidos n-3, vitamina E.

Abstract: Information about consumption of Mediterranean bush pastures and its relationship to the quality of goat products in Andalusia is scarce. The aim of this study was to characterize the milk quality produced by grazing Payoya goats during summer. 8 farms in the Sierra de Cádiz were selected and surveyed to characterize feeding systems from August to October. According to the percentage of energy needs covered by grazing, farms were classified into two groups: high and medium grazing. In this period, milk samples were collected from the main tank and analyzed for fatty acids and vitamin E contents. Desirable fatty acids (n-3) contents were significantly higher, while n-6/n-3 ratio was lower in the high grazing group. CLA isomers contents were not affected by the grazing level. α -tocopherol content was higher in the higher grazing group. In conclusion, the highest level of grazing has had a positive effect on the quality of milk from Payoya breed, with higher amounts of functional components (n-3 fatty acids, α -tocopherol).

Key words: Fatty acid, linoleic acid, conjugated linoleic acid, n-3 fatty acids, vitamin E.

INTRODUCCIÓN

La ingesta en la dieta de ciertos ácidos grasos insaturados, en particular el ácido linoléico conjugado (CLA) y ácidos grasos n-3, así como de componentes antioxidantes solubles en grasa (α -tocoferol, carotenoides) se ha relacionado con beneficios importantes para la salud (Connor, 2000; Parodi, 2003; Wilcox *et al.*, 2004).

Varios trabajos en caprino lechero han puesto en evidencia el potencial del pastoreo en pastos herbáceos para aumentar en la leche la proporción de ácidos grasos poliinsaturados (PUFA), ácido α -linoléico (principal ácido graso n3 presente en la leche) y CLA (Zan *et al.*, 2006; D'Urso *et al.*, 2008) y antioxidantes solubles en grasa

(Morand-Fehr *et al.*, 2007; Pizzoferrato *et al.*, 2007), en comparación con los sistemas estabulados. Existe poca información de cómo las especies forrajeras del Mediterráneo tipo arbustivo afectan a la composición de la leche y del queso de oveja y cabra. En este sentido, Tsiplakou *et al.* (2006) observaron que la alimentación en matorrales mediterráneos no aumentó el contenido de CLA de la leche en comparación con animales estabulados. Además no se conocen trabajos sobre las diferencias en componentes antioxidantes solubles en grasa de la leche de cabras lecheras en sistemas de pastoreo con pastos arbustivos mediterráneos.

El objetivo de este estudio fue hacer una evaluación inicial del efecto del sistema de producción con respecto al nivel de pastoreo (alto y medio) en pastos mediterráneos, durante la época de verano, en la producción de leche y los contenidos de ácidos grasos y de vitamina E en la leche de cabra de raza Payoya.

MATERIAL Y MÉTODOS

Área de estudio. Explotaciones. Elaboración de indicadores

El estudio se ha realizado en la comarca geográfica de la Sierra de Cádiz. Se seleccionaron 8 explotaciones caprinas de la raza Payoya, con distinto grado de pastoreo.

El periodo de estudio abarcó desde principios de agosto hasta finales de octubre de 2010. En cada mes se realizó una visita por explotación para recabar información, con objeto de caracterizar el manejo alimenticio, según la metodología FAO-CIHEAM (Toussaint, 2002) adaptada a los sistemas pastorales por Ruiz *et al.* (2008). Se determinó mensualmente el porcentaje de necesidades de energía de las cabras cubierto por el pastoreo, por el método teórico, según metodología descrita por Ruiz *et al.* (2008). En base a la clasificación propuesta por Castel *et al.* (2004), las explotaciones se dividieron en dos grupos según el grado de pastoreo: alto y medio.

Toma de muestras de leche y análisis químicos

De cada explotación y de forma mensual se tomaron muestras de leche del tanque de refrigeración y fueron conservadas a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ en laboratorio hasta su análisis. Las muestras fueron recogidas por duplicado en botes de plástico de 50 ml y envueltos en papel de aluminio.

La composición química básica se estimó por espectroscopía de infrarrojo cercano (NIRS). Para la obtención de los datos espectrales de la leche, se utilizó un espectrofotómetro monocromador de espectro continuo Foss-NIRSystems 6500 SY II el cual realiza medidas entre 400 y 2500 nm (región visible y NIR) con un intervalo de 2 nm.

Los ácidos grasos totales fueron extraídos, metilados y analizados según el método descrito por Sukhija y Palmquist (1998). Los esteres metílicos de los ácidos grasos fueron cuantificados mediante un comatógrafo de gases Agilent 6980N (Agilent Tech-

nologies Spain, S.L., Madrid, España). El éster metílico del ácido nonadeicoico (C19:0) se utilizó como estándar interno.

La determinación del contenido en vitamina E (α -tocoferol) se realizó siguiendo una modificación del método descrito por Buttriss y Diplock (1984) en un equipo HPLC HEWLETT PACKARD serie 1050, equipado con una bomba isocrática HPIB 16, un detector UWD, HPIB 10, y una columna Lichrospher 100 de fase reversa. La cuantificación se realizó a partir de una cantidad conocida de los distintos patrones y se expresó en forma de $\mu\text{g/g}$.

Análisis estadístico

Las características en el manejo alimenticio de las explotaciones y los parámetros de composición química básica, ácidos grasos y vitamina E de la leche, fueron analizados mediante un análisis ANOVA, usando el modelo lineal general (GLM) del paquete estadístico SPSS software (SPSS Inc., 2006), incluyendo como factor fijo el grado de pastoreo. Para el análisis ANOVA del parámetro células somáticas, los valores fueron transformados a escala logarítmica en base 10.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización del manejo alimenticio de las explotaciones. Grado pastoreo

En función de la Energía Neta cubierta por el pastoreo y de la superficie de pastoreo por cabra (Castel *et al.*, 2004), tres explotaciones fueron clasificadas de alto pastoreo y cinco de pastoreo medio. Las primeras eran de mayor tamaño, tanto en cabras como en superficie de pasto natural, que las segundas (tabla 1). Se han encontrado diferencias significativas, según el grado de pastoreo, en el porcentaje de energía neta cubierta por el pastoreo (un 15 % mayor en las de alto pastoreo) y el concentrado suministrado en pesebre (0,3 kg menos en las de alto pastoreo).

Producción de leche, composición química básica y contenido de Vitamina E

Tanto la producción de leche como su composición química básica no han diferido estadísticamente entre los grupos alto y medio pastoreo (tabla 2). Esto indicaría que no ha habido diferencias en los niveles de energía o proteína de la dieta entre los grupos (Moran-Fehr *et al.*, 2007).

Tabla 1. Diferencias en el manejo alimenticio y productivo entre explotaciones de alto y medio grado de pastoreo.

Características ganado	Grado de pastoreo		SEM ^b	P ^c
	Alto	Medio		
Número de explotaciones	3	5		
Número de cabras en lactación	260	148	25	*
Superficie de pasto natural/cabra, ha	1,6	0,6	0,1	*
Composición dieta^a				
Energía neta aportada por el pastoreo (%)	55	40	2	***
Concentrado suplementado (kg/día)	0,82	1,1	0,6	*
Forraje suplementado (kg/día)	0,2	0,4	0,1	ns

^a En % se expresa las necesidades de energía neta cubiertas por los diferentes alimentos.

^b Error estándar de la media.

^c P: significación estadística, * P<0,05; ** P<0,01; *** P<0,001; ns: no significativo, P>0,05.

Tabla 2. Valores medios de la producción y constituyentes nutritivos de la leche de cabra Payoya según el grado de pastoreo.

	Grado pastoreo		SEM ^a	P ^b
	Alto	Medio		
Producción leche (l/cabra/día)	0,90	1,10	0,76	ns
Materia seca (%)	14,14	13,80	0,30	ns
Proteína bruta (%)	3,95	3,98	0,10	ns
Grasa bruta (%)	5,39	5,35	0,18	ns
Lactosa (%)	4,05	3,99	0,02	ns
Extracto seco magro (%)	8,70	8,65	0,10	ns
Células somáticas (x 10 ³ /ml) ^c	3615	3760	92,86	ns
α-tocoferol (ug/g)	0,58	0,42	0,26	**

^a Error estándar de la media

^b P: significación estadística; * P<0,05; ** P<0,01; *** P<0,001; ns: no significativo, P>0,05

^c Para el análisis estadístico, los valores fueron transformados a escala logarítmica en base 10

El contenido de α-tocoferol en la leche fue más alto en el grupo de explotaciones con mayor grado de pastoreo (p<0,05) (tabla 2). No se conocen trabajos que analicen los contenidos en componentes antioxidantes solubles en grasa (como la vitamina E) en la leche de cabra bajo pastoreo a base de arbustos y especies leñosas. Sin embargo, concuerdan con los obtenidos en un trabajo realizado con pastos herbáceos (Pizzoferrato *et al.*, 2007). Estos resultados se pueden explicar por un menor suministro de xantofilas, α-caroteno (provitamina A) y α-tocoferol de los forrajes conservados y por la nula o escasa suplementación de vitaminas en los sistemas con menor nivel de pastoreo (Iwanska *et al.*, 1997).

Perfil de ácidos grasos

El perfil de ácidos grasos según el grado de pastoreo se presenta en la tabla 3. Los porcentajes de C16:1, C18:1 n-9 *trans*, C18:1 n-9 *cis* y MUFA fueron significativamente más altos y el total de SFA significativamente inferior en la leche del grupo de pastoreo

medio, no habiendo diferencias en el contenido de PUFA entre grupos. Estas diferencias son difíciles de explicar, ya que estudios previos han demostrado que el consumo de pasto aumenta el suministro de PUFA (Tsiplakou *et al.*, 2006.; D'Urso *et al.*, 2008). No obstante, algunos estudios previos han obtenido menores tasas de biohidrogenación de los ácidos grasos en el rumen con dietas basadas en concentrados (Chilliard *et al.*, 2007). Esto sugiere que la mayor proporción de concentrados en las dietas del grupo de pastoreo medio hacen que baje dicha biohidrogenación, obteniéndose un menor porcentaje de SFA y un mayor porcentaje de MUFA.

Tabla 3. Perfil de ácidos grasos (% del total) de la leche de cabra Payoya según el grado de pastoreo.

Ácido graso ^a	Grado pastoreo		SEM ^b	P ^b
	Alto	Medio		
C4:0	0,27	0,28	0,15	ns
C6:0	0,38	0,42	0,30	ns
C8:0	1,76	1,70	0,76	ns
C10:0	9,40	8,85	0,16	ns
C12:0	4,42	4,22	0,14	ns
C14:0	11,43	11,37	0,18	ns
C14:1	0,47	0,55	0,03	ns
C15:0	0,74	0,84	0,04	ns
C16:0	29,76	29,17	0,37	ns
C16:1	0,77	0,98	0,05	*
C17:0	0,66	0,59	0,03	ns
C17:1	0,23	0,24	0,02	ns
C18:0	13,95	13,47	0,45	ns
C18:1 n-9 <i>trans</i>	0,29	0,42	0,03	*
C18:1 <i>trans</i> -11 (VA)	0,88	0,87	0,04	ns
C18:1 n-9 <i>cis</i>	19,76	20,97	0,33	ns
C18:2 n-6 <i>trans</i>	0,19	0,24	0,01	ns
C18:2 n-6 <i>cis</i>	2,11	2,41	0,09	ns
γ-C18:3 n-6	0,45	0,52	0,00	ns
C20:0	0,31	0,29	0,02	ns
α-C18:3 n-3	0,44	0,32	0,02	**
CLA <i>cis</i> -9, <i>trans</i> -11 (RA)	0,33	0,33	0,01	ns
CLA <i>trans</i> -10, <i>cis</i> -12	0,15	0,15	0,01	ns
C21:0	0,20	0,20	0,02	ns
C20:3 n-6	0,05	0,07	0,00	ns
C20:4 n-6 (ARA)	0,20	0,23	0,01	**
C20:3 n-3	0,22	0,23	0,00	ns
C20:5 n-3 (EPA)	0,05	0,03	0,00	ns
C22:5 n-3 (DPA)	0,12	0,11	0,00	ns
C22:6 n-3 (DHA)	0,03	0,02	0,00	*
SFA	73,59	71,72	0,41	*
MUFA	22,57	24,22	0,37	*
PUFA	3,84	4,06	0,12	ns
UFA	26,41	28,28	0,41	*
n-6	2,60	3,00	0,10	ns
n-3	0,67	0,51	0,03	*
n6/n3	4,00	6,14	0,34	**
CLA	0,48	0,47	0,02	ns

^a VA, ácido vaccénico; RA, ácido ruménico; CLA, ácido linoleico conjugado; ARA, ácido araquidónico; EPA, ácido eicosapentanoico; DPA, ácido docosapentanoico; DHA, docohexanoico; SFA, ácidos grasos saturados; MUFA, ácidos grasos monoinsaturados; PUFA, ácidos grasos poliinsaturados; UFA: ácidos grasos insaturados; CLA, ácido linoleico conjugado total.

^b Error estándar de la media

^c P: significación estadística; * P<0,05; ** P<0,01; *** P<0,001; ns: no significativo, P>0,05

En contraste, los porcentajes de ácidos grasos deseables nutricionalmente (ácido α -linoleico, C22:5 n-3 y el total de n-3) fueron significativamente más altos, mientras que los niveles de algunos n-6 y la relación n6/n3 fueron significativamente más bajos, en la leche del grupo de alto pastoreo. Estos resultados podrían ser una consecuencia de la mayor ingesta de pastos por las cabras del grupo de alto pastoreo y de la menor suplementación en pesebre. En este sentido, cabras alimentadas en pastos arbustivos (Tsiplakou *et al.*, 2006) y en pastos herbáceos (D'Urso *et al.*, 2008) han mostrado mayor proporción de ácidos grasos n-3 en grasa de la leche, en comparación con los animales alimentados con dietas a base de concentrados.

Los ácidos CLA cis-9, trans-11 y CLA trans-10, cis-12 no se vieron afectados por el nivel de pastoreo. Los animales alimentados con pastos herbáceos tienen una mayor concentración de CLA en la leche (D'Urso *et al.*, 2008; Butler *et al.*, 2008), en comparación con los animales de bajo pastoreo o sin pastoreo. Sin embargo, los alimentados en pastos arbustivos tipo mediterráneo no han presentado un aumento del contenido de CLA en la leche (Tsiplakou *et al.*, 2006). Estos resultados podrían deberse a los efectos de los taninos sobre la biohidrogenación ruminal (Vasta *et al.*, 2009) y podría explicar la falta de efecto que se obtuvo en el presente estudio.

CONCLUSIONES

Las explotaciones de alto pastoreo mostraron niveles significativamente más altos de ácidos grasos n-3 y α -tocoferol, que son ampliamente reconocidos por sus efectos beneficiosos sobre la salud humana. No obstante, son necesarios más estudios, incluyendo más meses del año y más diversidad de explotaciones, para poder establecer una mejor relación entre calidad y alimentación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BUTRISS J.L. Y DIPLOCK A.T. (1984) High-performance liquid chromatography methods for vitamin E in tissues. *Methods enzymol.*, **105**, 131-138.
- CASTEL J., MENA Y., GARCÍA M., CARAVACA F. Y NAHED J. (2004) Creación de una zona de referencia de indicadores técnico-económicos para los sistemas caprinos semiextensivos en Andalucía. *La Chevre*, **262**, 16-18.
- CHILLIARD Y., GLASSER F., FERLAY A., ROUEL J. Y DOREAU M. (2007) Diet, rumen biohydrogenation and nutritional quality of cow and goat milk fat. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.*, **109**, 828-855.
- CONNOR W.E. (2000) Importance of n-3 fatty acids in health and diseases. *Am. J. Clin. Nutr.*, **7**, 171S-175S.
- D'URSO S., CUTRIGNELLI M.I., CALABRÓ S., BOVERA F., TUDISCO R. Y PICCOLO V. (2008) Infascelli. Influence of pasture on fatty acid profile of goat milk. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.*, **92**, 405-410.
- IWANSKA S., PYSERA B. Y STRUSINSKA D. (1997) Carotenoids content of green forages and preserved feeds. *Acta Acad. Agric. Techn. Olst. Zootech.*, **47**, 117-128.

- MORAND-FEHR P., FEDELE V., DECANDIA M. Y LE FRILEUX Y. (2007) Influence of farming and feeding systems on composition and quality of goat and sheep milk. *Small Rumin. Res.*, **68**, 20-34.
- PARODI P.W. (2003). Conjugated linoleic acid in food. En: Christie W.W. *et al.* (Eds) *Advances in Conjugated Linoleic Acid Research*, pp. 101-122. Champaign, IL: AOCS Press.
- PIZZOFERRATO L., MANZI P., MARCONI S., FEDELE V., CLAP S. Y RUBINO R. (2007) Degree of antioxidant protection: A parameter to trace the origin and quality of goat's milk and cheese. *J. Dairy Sci.*, **90**, 4569-4574.
- RUIZ F.A., CASTEL J.M., MENA Y., CAMÚÑEZ J. Y GONZALEZ-REDONDO P. (2008) Application of the técnico-economic análisis for characterizing, making diagnoses and improvising pastoral dairy goat systems in Andalucía (Spain). *Small Rumin. Res.*, **77**, 208-220.
- SPSS Inc. (2006) *Manual del Usuario de SPSS Base 15.0*. SPSS Inc, Chicago, USA.
- SUKHIJA P.S. Y PALMQUIST D.L. (1988). Rapid Method for Determination of Total Fatty Acid Content and Composition of Feedstuffs and Feces. *J. Agric. Food Chem.*, **36**: 1202-1206.
- TOUISSANT, J. (2002). Notice des indicateurs de fonctionnement des systèmes laitiers. *Options méditerranéenne*, **39**, 147-157.
- TSIPLAKOU E., MOUNTZOURIS K.C. Y ZERVAS G. (2006) Concentration of conjugated linoleic acid in grazing sheep and goat milk fat. *Livest. Sci.*, **103**, 74-84.
- VASTA V., MAKKAR H.P.S. Y MELE M. (2009) Ruminal biohydrogenation as affected by tannins *in vitro*. *Brit. J. Nutr.*, **102**: 82-92.
- WILLCOX J.K., ASH S.L. Y CATIGNANI G.L. (2004) Antioxidants and Prevention of Chronic Disease. *Crit. Rev. Food Sci.*, **44**, 275-295.
- ZAN M., STIBILJ V. Y ROGELJ I. (2006) Milk fatty acid composition of goats grazing on alpine pasture. *Small Rumin. Res.*, **64**: 45-52.

Cuantificación del trabajo en explotaciones de ovino de leche en Navarra. Incidencia de la estacionalidad ligada al pastoreo

Quantification of work in dairy sheep in Navarre.
Impact of seasonal grazing

P. EGUINOA / J.M. INTXAURRANDIETA / J.M. LASARTE / P. LAZCANOTEGUI / M. ANCIN

Instituto Navarro de Tecnologías e Infraestructuras Agroalimentarias S.A.
Avda. Serapio Huici, 22. 31610 Villava (Navarra).
peguinoa@intia.com

Resumen: La cuantificación y valorización económica del trabajo no asalariado es una de las cuestiones más relevantes y a su vez difíciles de medir en el análisis de gestión de explotaciones agrarias, principalmente en regiones como Navarra en las que la agricultura es fundamentalmente de carácter familiar. La referencia habitualmente empleada ha sido la Unidad de Trabajo Año (UTA). Esta referencia sigue siendo útil debido a la sencillez de su cálculo y la generalización de su uso. Sin embargo, los diferentes manejos agro ganaderos y especialmente los vinculados al pastoreo y al aprovechamiento de comunales generan estacionalidades que marcan grandes diferencias de dedicación y horas trabajadas. En este trabajo se definen tres sistemas vinculados al ovino lechero sobre los que se recoge información detallada de las tareas realizadas y las horas efectivamente trabajadas analizándose por último la renta del trabajo obtenida en cada sistema.

Palabras clave: ovino leche, pastoreo, horas trabajo.

Abstract: The quantification and monetization of non-wage work is one of the most important and difficult turn in the analysis of farm management mainly in regions such as Navarre in which agriculture is of familiar character. The employ has been commonly referred to Annual Work Unit (AWU). The results obtained by AWU are still useful because of the simplicity of their calculation and their widespread use. However, the methodological approach to the calculation of hours actually worked is essential especially in systems with seasonal livestock production and use of common pasture. In this paper we define three systems linked to dairy sheep and collected detailed information on the tasks performed, the actual hours worked and the family farm income.

Key words: milk sheep, grazing, work.

INTRODUCCIÓN

Una de las cuestiones más relevantes y por otro lado más difíciles de evaluar al analizar los resultados de una explotación agraria es la relacionada con el trabajo. Esto es debido a que confluyen varias circunstancias:

- a) La actividad agraria y específicamente la ganadería exigen niveles de dedicación y atención continuados que en muchos casos no se corresponden con horas efectivamente trabajadas.
- b) Se dan importantes estacionalidades que exigen diferentes niveles de aportación de este factor a lo largo del año.
- c) En Navarra, y especialmente en las explotaciones de ganadería rumiante, a pesar de la tendencia general a la salarización en el sector agrario, el trabajo sigue siendo fundamentalmente de carácter familiar.

- d) Por este mismo carácter familiar, la remuneración de este factor no es como en la mayor parte de las empresas un coste real y fijo sino que se trata de un coste de oportunidad.

La UTA como medida del trabajo

Existen diferentes enfoques para analizar el trabajo en las explotaciones agrarias (Dedieu y Servière, 2004). En el presente estudio se va a tomar el enfoque económico. Se va a realizar un acercamiento considerando el trabajo como factor de producción con el objetivo de cuantificarlo y evaluarlo con una escala temporal de ejercicio económico.

Para ello, habitualmente, la referencia que se ha tomado ha sido la de la UTA (unidad trabajo año), UTH (unidad trabajo humano) o UMO (unidad mano de obra).

Según la Red de Información Contable Agraria (RICA): “Una unidad de trabajo anual equivale a una persona empleada a tiempo completo en la explotación. Una persona nunca puede sobrepasar el equivalente a una unidad de trabajo anual, incluso cuando su tiempo de trabajo efectivo sea superior a la norma de la región y del tipo de explotación de que se trate. Las personas que no trabajen todo el año en la explotación constituyen una fracción de unidad anual.” (Reglamento (CE) N° 868/2008 de la Comisión).

Sin embargo, esta definición no se aplica en algunos ámbitos. Concretamente, en Navarra, tanto para la realización de los planes de instalación de jóvenes agricultores y los planes de modernización de explotaciones, como en los cálculos que realiza el Registro de Explotaciones Agrarias de Navarra (REAN) se emplea un criterio distinto recogido en la Orden Foral 220/2007. Según éste, una persona puede representar más de una UTA ya que el cálculo se hace en función de las hectáreas o cabezas de ganado disponibles en la explotación. Concretamente para el caso del ovino de leche una UTA son 230 ovejas adultas. Así pues, un ganadero que manejara 460 ovejas de leche tendría asignadas 2 UTA.

En este trabajo se va a emplear la definición de UTA dada por la RICA de modo que una persona nunca puede generar más de una UTA.

MATERIAL Y MÉTODOS

Se ha tomado una muestra de 23 explotaciones en las que el ovino de leche es la actividad principal (> 2/3 del Producto Bruto [PB] proviene del ovino de leche). Estas explotaciones se han clasificado en tres grupos en función del sistema productivo (raza-manejo) y de su comercialización (leche-queso).

- Latxa-Leche: Ovino de leche basado en raza autóctona latxa y venta de leche a industria
- Latxa-Queso: Ovino de leche basado en raza autóctona latxa y venta de leche transformada en queso en la propia explotación
- Razas Foráneas: Ovino de leche basado en razas foráneas (principalmente Asaf y Lacaune) y venta de leche a industrias.

Las horas efectivamente trabajadas como medida del trabajo anual

En referencia a las horas trabajadas la RICA propone lo siguiente: “El tiempo de trabajo se indicará en horas. Se trata únicamente del tiempo efectivamente dedicado a los trabajos de la explotación agrícola.” (Reglamento (CE) N° 868/2008 de la Comisión). Sin embargo, en los programas de gestión agraria habitualmente empleados no se recopila información sobre las horas trabajadas. Esto ha llevado al manejo de estimaciones que difieren según objetivos y ámbitos de trabajo. Así, durante muchos años se ha estado usando la referencia en RICA de 2200 horas/año. EUROSTAT propone 1800 horas de trabajo o 225 días al año para definir una UTA. La Red Contable Agraria Nacional (RECAN), plantea para 2010 una referencia horaria de 1826 horas/UTA. Por otro lado, el convenio agropecuario de Navarra establece para el período 2007-2010 una jornada anual de 1758 horas.

Metodología empleada para la medición del trabajo efectivo realizado en explotaciones de ovino de leche en Navarra

Considerando la arbitrariedad empleada en la fijación de las horas de trabajo, se decidió abordar con más precisión este campo elaborando una plantilla (ITG Ganadero *et al.*, 2009) con el objetivo de recopilar información referente a:

- Las personas que de alguna manera participan en la actividad agraria, preguntando el porcentaje de dedicación, su afiliación a la seguridad social, su condición de agricultor a título principal (ATP), la edad y si genera ingresos de fuera de la explotación.
- El trabajo real efectuado según los siguientes criterios:
 - Para los días libres y vacaciones se solicita nº de días por mes
 - Para tareas puntuales como son siembra, abonado-estercolado, cosecha, esquila, cierres, labores de mantenimiento o gestión se solicita información de horas por mes.
 - Para las tareas cotidianas o con dedicación diaria durante más de un mes, se recoge la información en forma de horas/día.

Renta del trabajo

Para evaluar la remuneración del trabajo realizado se emplea el ratio Renta del Trabajo definido como el margen que queda después de descontar todos los costes, incluidas las amortizaciones técnicas y los costes de oportunidad de los capitales propios.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Relación entre dimensión de la explotación y trabajo medido en UTAs

Una de las cuestiones a dilucidar es si la intensidad del trabajo está más relacionada con la dimensión (nº ovejas) o con el sistema. En la figura 1 se aprecia que mien-

tras en las explotaciones intensivas ligadas a razas foráneas existe cierta correlación ($R^2=0,571$) entre el nº de ovejas en el rebaño y el nº ovejas/UTA, en las explotaciones de Latxa es prácticamente inexistente (R^2 entre 0,012 y 0,158).

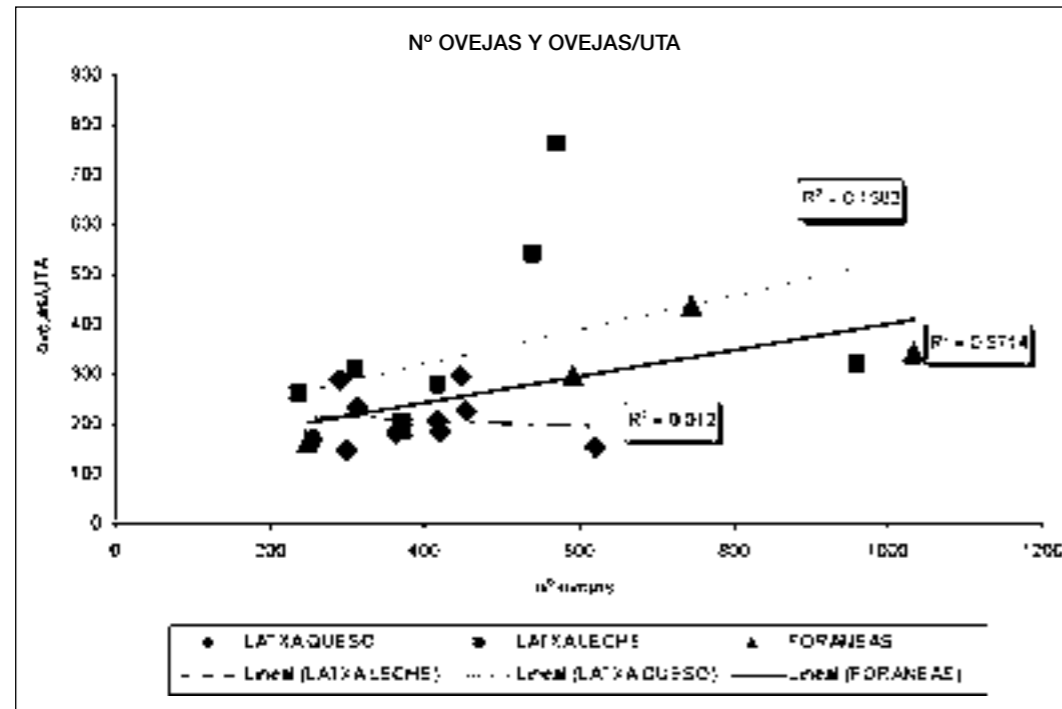


Figura 1. Relación entre tamaño del rebaño y nº ovejas/UTA.

Cálculo del trabajo en horas

Los primeros resultados obtenidos dan a entender que es el sistema basado en razas foráneas el que exige más horas de trabajo por UTA empleada, y el sistema "Latxa Leche" el que menos (fig. 2). Si la comparación se hace por oveja, puede apreciarse que el sistema "Latxa Queso" es el que exige más trabajo. Esto es lógico considerando que además de la producción de leche está incluido el trabajo de transformación y en la mayor parte de los casos comercialización. Los rangos están entre 8,13 horas/oveja y año en "Latxa Leche", 9,02 horas/oveja y año en razas foráneas y 13,68 horas/oveja y año en "Latxa Queso".

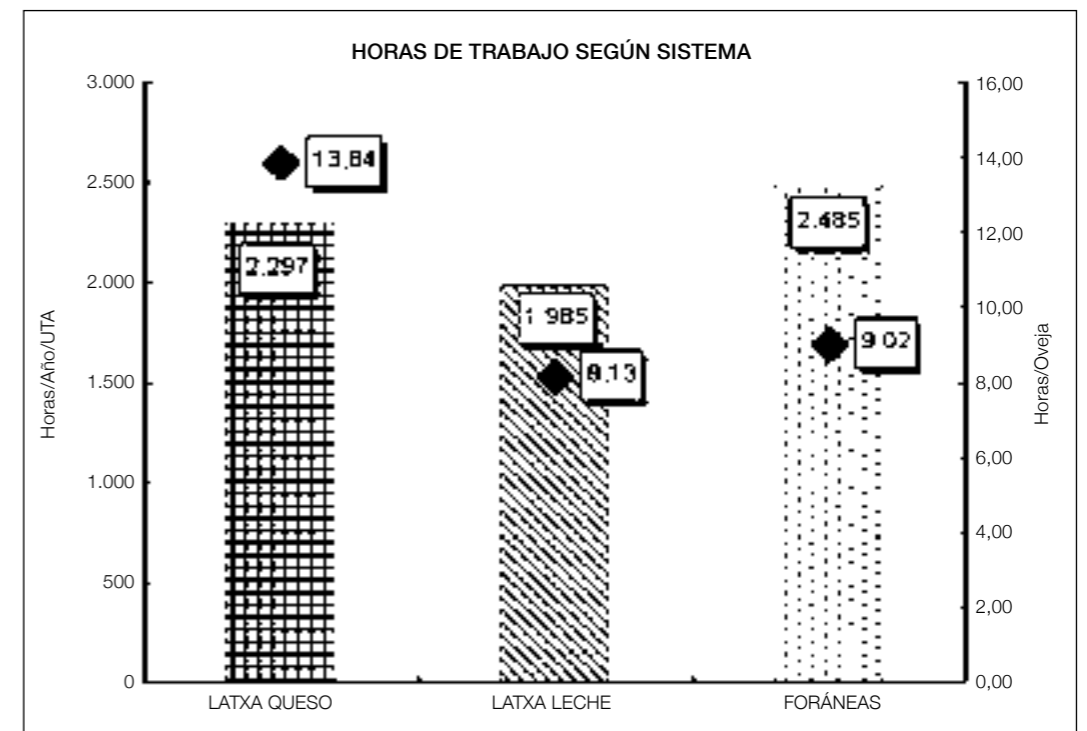


Figura 2. Horas de trabajo por UTA y por oveja según sistemas.

Por otro lado, resulta interesante analizar la incidencia de la estacionalidad. Para ello se mide la evolución de las horas de trabajo diarias en la explotación a lo largo del año (fig. 3).

Mientras en el sistema de razas foráneas en ningún momento la jornada por UTA es inferior a 6 horas, en el sistema "Latxa Leche" baja hasta 2,1 horas/día y a 3,4 horas/día en el sistema "Latxa Queso".

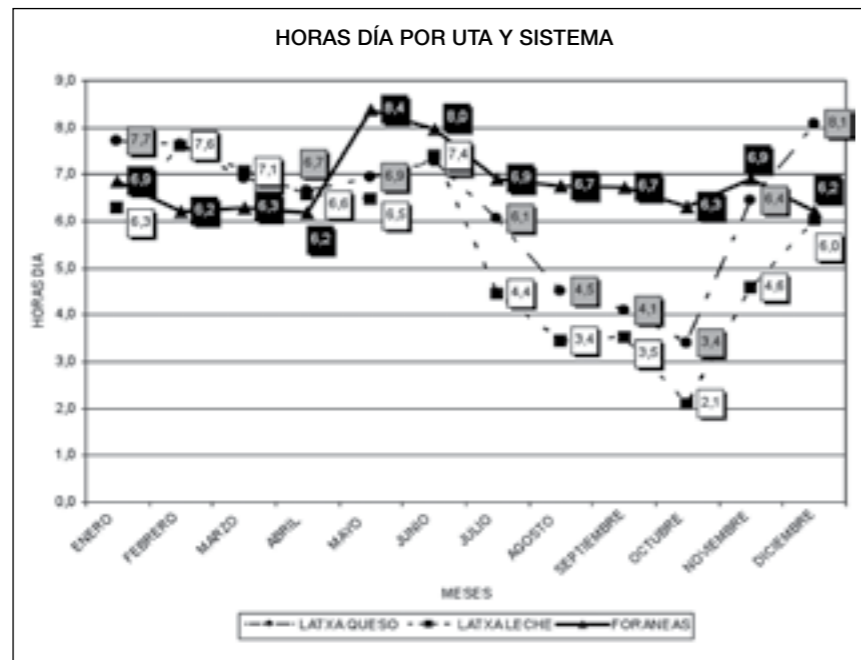


Figura 3. Estacionalidad del trabajo: Horas trabajadas por UTA y día según sistema.

Pero además de las horas trabajadas es importante evaluar la remuneración de esas horas. Para ello se emplea la Renta del Trabajo. Tanto en la referencia de Renta del Trabajo total de la explotación como en la de Renta del trabajo /UTA el sistema “Latxa-Queso” obtiene los mejores resultados (fig. 4), y es el único que consigue aproximarse a la renta de referencia.

Sin embargo, realizando los mismos cálculos pero en referencia a la remuneración de la hora trabajada, en la figura 5 puede apreciarse que es el sistema “Latxa Leche” el que obtiene mejor remuneración del trabajo debido al menor número de horas trabajadas. Resultados muy similares obtiene el sistema “Latxa Queso” estando en ambos casos muy por encima del sistema basado en razas foráneas. Tomando como referencia la jornada laboral del convenio agropecuario y considerando la remuneración horaria efectiva de cada uno de los sistemas estudiados puede concluirse que:

- Ninguno de los sistemas consigue remunerar su trabajo con la renta de referencia (26 305 €).
- Los sistemas basados en raza Latxa remuneran su trabajo con el equivalente al salario del convenio agropecuario de Navarra para la categoría de técnicos (18 936 € para 2010).
- El sistema basado en razas foráneas obtiene una remuneración superior al Salario Mínimo Interprofesional (8866 € para 2010) pero inferior al convenio agropecuario.

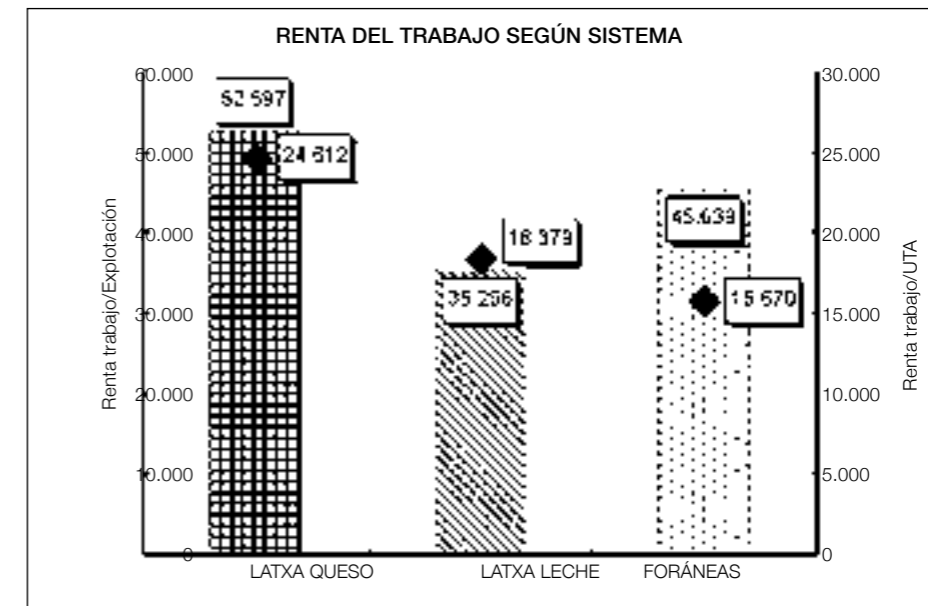


Figura 4. Renta del trabajo total por explotación y por UTA por sistema (2010).

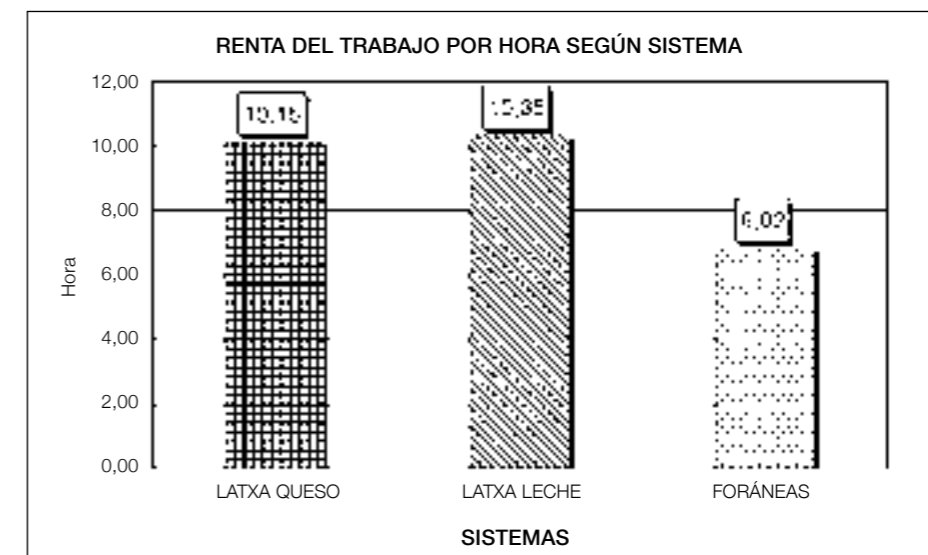


Figura 5. Renta del trabajo por hora efectiva según sistemas (2010).

CONCLUSIONES

- La referencia de la UTA es válida para medir la dedicación pero no tanto el trabajo efectivo en explotaciones ganaderas.
- El aprovechamiento de pastos y montes comunales vinculado a sistemas extensivos con fuerte estacionalidad productiva, como el basado en la oveja Latxa, requiere menos tiempo de trabajo en determinadas épocas del año.

- Es por esto que el sistema “Latxa Leche” que obtiene la peor Renta del Trabajo en el conjunto de la explotación, ofrece la mejor remuneración a la hora trabajada.
- El sistema “Latxo Queso”, además de obtener una buena remuneración horaria, obtiene los mejores resultados económicos, tanto por explotación como por UTA.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ITG GANADERO S.A., NEIKER, UPNA, SERGAL e IKT (2009). *Programa para el diagnóstico de sostenibilidad agroganadera*. Manual de usuario. Proyecto INIA-RTA 2005-00174-C02
- ITG GANADERO S.A. (2011). *Resultados técnicos y económicos de las actividades de rumiantes año 2010*.
- DEDIEU B. Y SERVIÈRE G. (2004). Des pistes pour améliorer le travail des éleveurs. *GREP*, **182**, 1-6.
- MARM (2010). *RECAN: Ficha resumen de información contable. Definiciones e instrucciones y manual de usuario*.
- ORDEN FORAL 220/2007 de 6 de julio, de la Consejería de Agricultura, Ganadería y Medio Ambiente, por las que se establecen las Unidades de Trabajo Agrario (UTA) en la Comunidad Foral de Navarra. *Boletín Oficial de Navarra*, **92**, 8780-8781.
- REGLAMENTO (CE) N° 868/2008 DE LA COMISIÓN de 3 de septiembre de 2008 relativo a la ficha de explotación que debe utilizarse para el registro de las rentas de las explotaciones agrícolas y el análisis del funcionamiento económico de esas explotaciones. *Diario oficial de la Unión Europea*, **L 237**, 18-69.

Efecto del sistema de alimentación de corderos y del sexo sobre la composición de su carne en ácidos grasos y en vitamina E

Effect of the lamb feeding system and sex on the composition of its meat in fatty acids and vitamin E

V. CAÑEQUE¹ / O. LÓPEZ¹ / C. LÓPEZ CARRASCO² / I. MUIÑO¹ / M. RAMOS³ / C. PÉREZ⁴ / M.T. DÍAZ¹ / S. LAUZURICA⁵ / J. DE LA FUENTE⁵

¹Dpto. Tecnología de los Alimentos. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA).

Ctra. A Coruña km. 7,5, 28040 Madrid. Correo electrónico: cañeque@inia.es

²C.I.A. Dehesón del Encinar (J.C. Castilla la Mancha), 45560 Oropesa (Toledo)

³Centro de Agricultura Ecológica y de Montaña (CAEM), Avda. España, 43, 10600 Plasencia (Cáceres)

⁴Dpto. Fisiología Animal. Facultad de Veterinaria (UCM). Avda. Puerta de Hierro 28040 Madrid

⁵Dpto. Producción Animal. Facultad de Veterinaria (UCM). Avda. Puerta de Hierro 28040 Madrid.

Resumen: Se ha estudiado el efecto de la alimentación en aprisco o en pastoreo de corderos de ambos sexos en la calidad de su carne, a partir de su contenido en ácidos grasos y en vitamina E. Para ello, se utilizaron un total de 84 corderos que se dividieron al destete en cuatro lotes, dos de machos y dos de hembras y a su vez cada sexo en dos sistemas de alimentación, basados en el pastoreo y en el aprisco con aporte de heno de pradera, ambos con pienso a voluntad. Se ha encontrado un efecto, tanto del sexo como del sistema de alimentación, sobre la deposición de vitamina E en la carne, aumentando en los animales de pastoreo en relación a los de aprisco y en hembras en relación a machos. También existe un efecto de ambos tratamientos sobre la deposición en ácidos grasos, aumentando los MUFA en los que pastorean ($P<0,01$) y en los machos respecto a las hembras ($P<0,05$). Los PUFA también estuvieron afectados por los tratamientos aumentando en los de pastoreo, en especial el ácido linolénico, respecto a los de aprisco ($P<0,05$) y en las hembras respecto a los machos ($P<0,05$).

Palabras clave: aprisco, pastoreo, pienso, calidad de la carne.

Abstract: The feeding of lambs of both sexes in pens or grazing and the effects this has on the quality of the meat regarding its fatty acids and vitamin E has been studied. For this purpose, we used a total of 84 lambs, which were divided from weaning into four lots, two male and two female groups. Each sex was then also put into two different feeding systems based on grazing and a breeding pen with a supply of grass hay, both feeds *ad libitum*. An effect has been discovered involving both the sex and the rearing system, which is associated with the vitamin E content in the meat, this being higher within grazing animals in relation to those which receive concentrate, as well as in females in relation to males. There is also an effect associated with both treatments regarding the deposition of fatty acids, increasing the MUFA in those which receive pasture ($P<0,01$), and in males when compared with females ($P<0,05$). The PUFA were also affected by the treatments, above all, showing an increase in linolenic acid within those which were pasturing in comparison with those given concentrate ($P<0,05$), and in females compared to males ($P<0,05$).

Key words: breeding pen, grazing, feed, meat quality.

INTRODUCCIÓN

Existe una demanda creciente de productos naturales, ya que los consumidores cada vez están más sensibilizados y son más exigentes con los procesos de producción y alimentación animal, exigiendo que sean respetuosos con el bienestar animal evitando cualquier forma de contaminación ambiental.

La composición de la grasa del cordero está muy ligada al tipo de alimentación que reciben los animales (Jakobsen, 1999). En nuestro país, el cebo del cordero se realiza tradicionalmente en aprisco ligado al empleo de piensos y paja, lo que favorece el aumento en el contenido de ácidos grasos saturados de su carne.

Los sistemas de producción natural favorecen, por el contrario, el empleo de pastos con un menor aporte de pienso, dando lugar a carnes de mejor calidad por su menor contenido en ácidos saturados y mayor en poliinsaturados, que favorecen la salud del consumidor (Díaz *et al.*, 2005). La calidad del pasto, sin embargo, varía sensiblemente con la zona y la época del año, lo que puede afectar a la calidad final de la carne.

En el presente trabajo se ha estudiado la evolución de la calidad del pasto en una dehesa a lo largo del periodo de pastoreo (abril-junio). Sobre el mismo se han criado corderos tanto machos como hembras con la madre hasta los 60 días en que la mitad fueron destetados y cebados intensivamente en aprisco y el resto también destetados pero engordados en pastoreo. Se ha estudiado el efecto de estos tratamientos en la calidad de su carne.

MATERIAL Y MÉTODOS

Se utilizaron un total de 84 corderos, 46 procedentes de partos simples y 38 de partos dobles, de un rebaño de ovejas de raza Talaverana del CIA "El Dehesón del Encinar", donde fueron criados hasta su sacrificio. A partir de los 10 días del nacimiento, los corderos salieron al pasto con sus madres durante el día, teniendo a libre disposición el pienso. A los 60 días de vida se destetaron todos los corderos, haciéndose cuatro lotes al azar, dos de machos y dos de hembras con un número semejante de animales procedentes de parto simple o doble y con un peso similar. Los tratamientos realizados a partir de entonces fueron los siguientes:

1. Corderos criados hasta el sacrificio en pastoreo con un pienso de cebo natural.
2. Corderos criados hasta el sacrificio en cebadero con pienso de cebo natural y heno de pradera natural.

En ambos casos, se hicieron dos lotes, uno de machos y otro de hembras.

El pienso de cebo, estaba constituido por ingredientes naturales (51% cebada, 17% trigo, 7% harina de girasol, 20% guisantes, 2% salvado y 3% suplemento vitamínico-mineral) que fueron mezclados en la propia finca. La composición química del pienso y heno se indican en la tabla 1.

Tabla 1. Composición química del pienso y heno.

	Pienso	Heno
Cenizas (%)	4,76	8,87
Proteína bruta (%)	14,3	13,15
FND (%)	24,90	56,05
FAD (%)	10,20	41,00
DL- α -Tocoferol (mg/kg _{carne})	8,06	5,22

El pastoreo de los corderos se realizó sobre una pradera de secano de 1,5 ha. Para estimar la composición de la materia seca (MS) y su evolución a lo largo de la experien-

cia, se realizaron muestreos semanales en 12 puntos. La oferta de hierba al comienzo del pastoreo fue 1100 kg de MS/ha.

Los corderos se pesaron semanalmente, controlándose en el mismo período el consumo de pienso y de heno. El sacrificio fue realizado en un matadero industrial cuando los corderos llegaron individualmente a un peso vivo de 26 kg los machos y 24 kg las hembras con una edad media de 100 días, pesándose las canales calientes y frías. Se realizó la extracción del músculo *longissimus dorsi* para analizar la carne.

La composición química del pasto se determinó por la AOAC (1999) y las fibras (FND y FAD) por la técnica secuencial de Van Soest *et al.* (1991). Los ácidos grasos, tanto del pasto como de la carne, se extrajeron según el método descrito por Bligh y Dyer (1959) realizando las modificaciones necesarias para cada tipo de muestra. Los ésteres metílicos de los ácidos grasos (FAMES) se obtuvieron según el método del trifluoruro de boro (BF₃) propuesto por Morrison y Smith (1964). Para su análisis cromatográfico, se utilizó un cromatógrafo de gases con detector FID y una columna capilar de alta polaridad específica para la determinación de FAMES.

La vitamina E se analizó según el método desarrollado por Liu *et al.* (1996) utilizando un HPLC con detector de fluorescencia, en fase normal, utilizando una columna polar.

Los resultados de calidad de la carne se analizaron como un modelo factorial 2x2 considerando los factores del sistema de alimentación y del sexo. Se ha empleado el procedimiento GLM del paquete estadístico SAS 9.0.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En figura 1 se muestra la evolución de la composición química de la pradera en la que estuvieron pastando los corderos machos y hembras hasta su sacrificio.

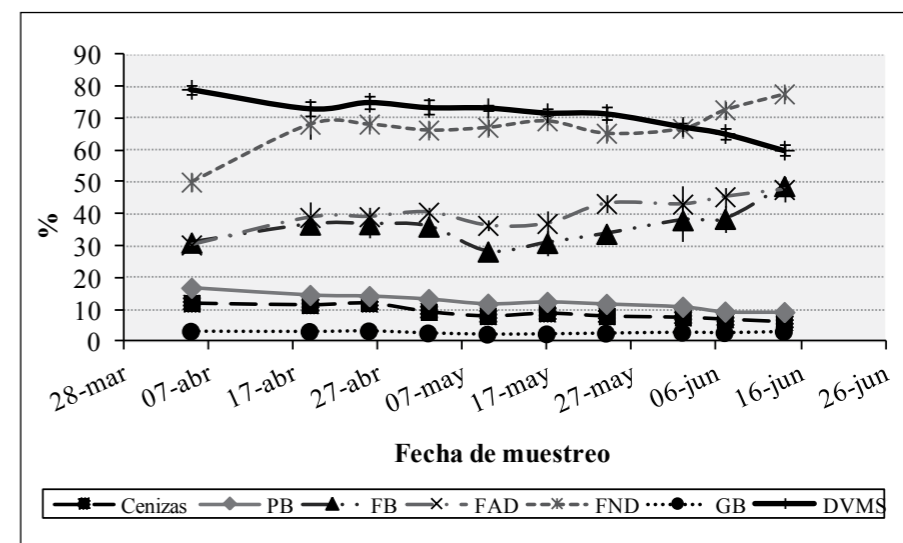


Figura 1. Evolución de la composición química (% MS) de la pradera.

Se observa que la proteína bruta es elevada en abril (15,2%) y va disminuyendo de forma paulatina, pasando a ser de un 12% en mayo y de un 10% en junio. Las tres fibras estudiadas presentan un mínimo a comienzos de abril que coincide con el máximo de proteína. Aumentan rápidamente en los otros dos controles de abril y se mantienen hasta finales de mayo, en que aumentan de nuevo sobre todo en junio, alcanzando el máximo en el último control. La digestibilidad de la MS, las cenizas y la grasa bruta, son mayores en abril, disminuyendo progresivamente hasta junio en que alcanzan los mínimos.

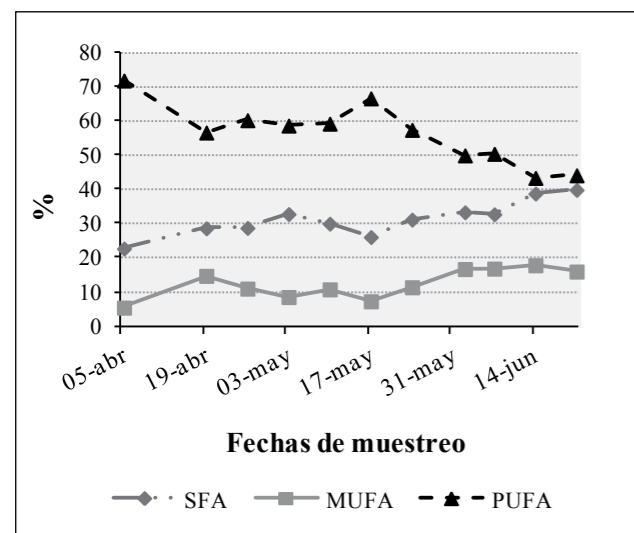


Figura 2. Evolución del contenido en ácidos grasos globales (%) del pasto.

El contenido en vitamina E (dato no mostrado) disminuye desde un valor de 30mg/kg MS a valores próximos a 10 a primeros de mayo y se mantiene este valor hasta finales de junio. La composición en porcentaje en ácidos grasos del pasto se indica en las figuras 2 y 3.

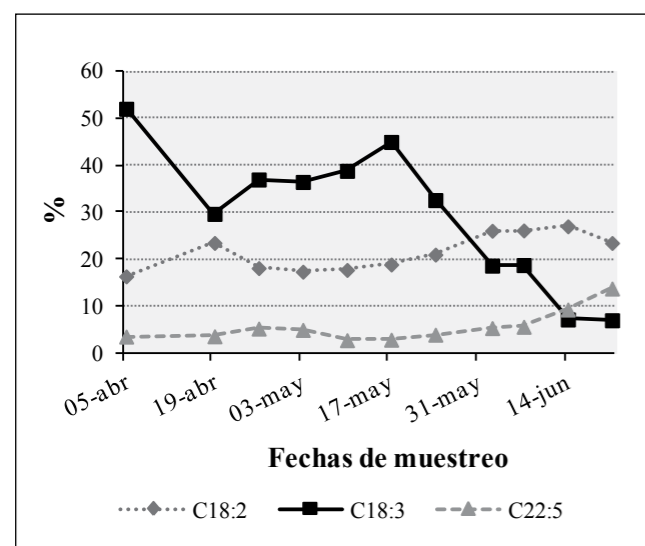


Figura 3. Evolución del contenido en ácidos grasos poliinsaturados (%) del pasto.

Se observa que, según va avanzando el periodo estudiado, los ácidos grasos saturados aumentan pasando de un 23% en mayo a un 29% en junio siendo el ácido palmítico el que presenta un mayor aumento, resultando este ácido graso el más perjudicial para la salud de los consumidores (Moloney *et al.*, 2001). Los ácidos grasos monoinsaturados evolucionan de la misma forma, alcanzando el máximo en junio con un 16%. Los poliinsaturados, por el contrario, disminuyen en el periodo estudiado pasando el linoléico de un 49% en abril a un 11% en junio y aumentando, en cambio, el linoleico. Estos resultados son semejantes a los encontrados en un trabajo realizado con anterioridad (Cañeque *et al.*, 2010).

En la tabla 2 se presentan los resultados de crecimiento y consumo de pienso y heno. El crecimiento fue, en el periodo total estudiado, mayor en los machos ($p \leq 0,001$) no afectando el tipo de alimentación. Del destete al sacrificio existe una interacción, ya que, las hembras crecen más en aprisco que en pasto y con los machos ocurre lo contrario. El consumo de pienso fue mayor en los machos de pasto, en especial al final del engorde, quizá debido a la mala calidad del pasto en esa época.

Tabla 2. Crecimiento en g/día (g/d) y consumo en kg/cordero (kg/c) de pienso y heno según el sistema de alimentación y el sexo de los corderos.

		Machos		Hembras	
		Aprisco	Pasto	Aprisco	Pasto
Crecimiento (g/d)	Nacimiento-Sacrificio	219,30	225,70	201,80	194,80
	Destete-Sacrificio	225,20	241,80	157,60	137,90
Consumo total (kg/c)	Concentrado	34,14	40,88	22,60	21,31
	Heno de pradera	17,88		14,74	

Los efectos del sistema de cebo y del sexo sobre la composición en ácidos grasos y en vitamina E del músculo *longissimus* se indican en la tabla 3.

Existe un efecto del sistema de cebo ($P < 0,01$) y del sexo ($P < 0,05$) sobre el contenido en vitamina E de la carne siendo mayor en los animales en pastoreo respecto de los que permanecen en aprisco (2,31mg/kg carne frente a 0,62) a pesar de la disminución brusca del contenido en vitamina E del pasto. El nivel de vitamina E alcanzado en pastoreo está próximo al recomendado (Álvarez *et al.*, 2008) para una buena conservación de la carne. Las hembras presentan también un mayor contenido en vitamina E que los machos aunque existe una interacción con el tipo de alimentación en pastoreo, ya que, en las hembras hay un mayor contenido que en los machos.

Respecto a los ácidos grasos, se produce un mayor contenido de los monoinsaturados en los corderos que reciben concentrado, quizás debido al elevado contenido en ácido oleico del pienso (Cañeque *et al.*, 2011) siendo mayor también en los machos respecto a las hembras.

Los PUFA están, en general, afectados por el sistema de alimentación, aumentando en los animales de pastoreo, debido a su mayor contenido en el pasto. Dentro de los

PUFA, es de destacar el mayor contenido en los animales de pastoreo del ácido linoléico por la alta riqueza en el pasto, aunque disminuye sensiblemente con el tiempo. Los ácidos grasos de cadena larga son mayores en los que pastan aunque, en este caso, las diferencias no son significativas. El sexo afecta al contenido en el ácido linoléico, siendo mayor en las hembras.

Tabla 3. Composición en ácidos grasos (%) y vitamina E (mg/kg_{carne}) de la carne.

	Sistema de alimentación		Sexo		A	S	A x S
	Pastoreo	Concentrado	Machos	Hembras			
DL- α -tocoferol	2,31	0,62	1,19	1,74	***	**	**
Ácidos grasos							
SFA	38,77	39,38	38,83	39,32	ns	ns	ns
MUFA	35,68	38,54	39,13	35,58	*	**	ns
PUFA	25,56	22,08	22,04	25,10	*	*	ns
16:0	21,21	22,17	22,05	21,46	*	ns	ns
18:1	32,61	35,56	35,92	32,73	*	**	ns
18:2	12,43	10,13	10,69	11,62	**	ns	ns
18:3	2,13	1,65	1,67	2,04	**	**	ns
20:5 _{n3}	1,58	1,30	1,25	1,59	ns	*	ns
22:5 _{n3}	1,75	1,55	1,52	1,75	ns	*	ns
22:6 _{n6}	0,91	0,84	0,79	0,93	ns	*	ns
n3	6,36	5,34	5,23	6,32	*	*	ns
n6	18,65	16,24	16,33	18,23	*	ns	ns
n6/n3	2,94	3,07	3,16	2,89	ns	ns	ns

A: Sistema de alimentación; S: sexo; A x S: interacción Sistema de alimentación x Sexo; Nivel de significación: ns, no significativo; *, $P < 0,05$; **, $P < 0,01$; ***, $P < 0,001$.

CONCLUSIONES

La composición del pasto en la dehesa estudiada evoluciona de abril a junio disminuyendo su proteína bruta, grasa bruta, cenizas y PUFA, aumentando los componentes fibrosos y los ácidos grasos saturados y monoinsaturados.

Existe un efecto del sistema de alimentación y del sexo sobre el contenido de vitamina E en la carne, que se reduce en los animales criados en aprisco respecto a los criados en pasto y en los machos respecto a las hembras. Este efecto, también tiene lugar para los ácidos grasos, aumentando en especial los PUFA en pastoreo respecto al aprisco y en las hembras respecto a los machos en especial, para el ácido linoléico.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos la colaboración prestada por el C.I.A. de la Junta de Castilla la Mancha, Finca “El Dehesón del Encinar” aportando sus instalaciones, personal y animales

para la realización de este trabajo. Así mismo agradecemos a Patricia Juárez su colaboración al realizar la toma de datos de campo, referente a los animales y a M^a Jesús Gómez, los referentes a los muestreos de las praderas y su composición específica. Los trabajos realizados han sido financiados por el proyecto INIA: AEG 08-021-C4-3.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ÁLVAREZ I., DE LA FUENTE J., DÍAZ M.T., LAUZURICA S., PÉREZ C. Y CAÑEQUE V. (2008) Estimation of α -Tocopherol concentration necessary to optimize lamb meat quality stability during storage in high-oxygen modified atmosphere resing broken-line regression analysis. *Animal* **2(9)**, 1405-1411.
- AOAC (1999) *Official Methods of Analysis*, 16th Edition, 5th revision. AOAC International, Gaithersburg, MD, USA. Association of Official Analytical Chemists.
- BLIGH E.G. Y DYER W.J. (1959) A rapid method of total lipid extraction and purification. *Can. J. Bioch. Physiol.*, **37**, 911-917.
- CAÑEQUE V., DÍAZ M.T., LÓPEZ O., LAUZURICA S., PÉREZ C., LÓPEZ-CARRASCO C. Y DE LA FUENTE J. (2010) Efecto del sistema de crianza de corderos en producción ecológica sobre su contenido en ácidos grasos de su carne. En: *Pastos: Fuente natural de energía*. 4^a Reunión Ibérica de Pastos y Forrajes. 419-425. Universidad de León. SEEP.
- CAÑEQUE V., LÓPEZ-CARRASCO C., LÓPEZ O., DÍAZ M.T., RAMOS M., RIVAS A., MUIÑO I., Y DE LA FUENTE J. (2011) Estudio de sistemas de acabado en producción ecológica: Efecto de la alimentación y del sexo. Actas de la 50 Reunión Científica de la SEEP. Toledo. SEEP.
- DÍAZ M.T., ÁLVAREZ I., DE LA FUENTE J., SAÑUDO C., CAMPO M.M., OLIVER M.A., FONT I FURNOLS M., MONTOSSI F., SAN JULIÁN R., NUTE G.R. Y CAÑEQUE V. (2005) Fatty acid composition of meat from typical lamb production systems of Spain, United Kingdom, Germany and Uruguay. *Meat Science*, **71**, 256-263.
- JACOBSEN K. (1999) Dietary modifications of animal fats: Status and future perspectives. *Feed/Lipid*, **101(12)**, 475-483.
- LIU Q., SCHELLER K.K., ARP S.C., SCHAEFER D.M. Y WILLIAMS S.M. (1996) Color Coordinates for assessment on dietary vitamine E effects on beef color stability. *Journal Animal Science*. **74(1)**, 106-116.
- MOLONEY A.P., MOONEY M.T., KERRY J.P. Y TROY D.J. (2001) Producing tender and flavour-some beef with enhanced nutritional characteristics. *Proceedings of the Nutrition Society*, **60**, 221-229.
- MORRISON W.R. Y SMITH L.M. (1964) Preparation of fatty acid methyl esters and dimethyl acetals from lipids with boron fluoride-methanol. *J. Lipids Res.*, **5**, 600-608.
- VAN SOEST P.J., ROBERTSON J.B. Y LEWIS B.A. (1991) Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.*, **74**, 3583-3597.

Revisión de los procesos de alimentación en producción de ovino ecológico en montaña

Feeding processes in organic lamb meat and sheep milk production in mountain farms

J. L. SÁEZ ISTILART

Instituto Navarro de Tecnologías e Infraestructuras Agroalimentarias S.A.
Avda. Serapio Huici, 22 Edif. Peritos. 31610 Villava. Navarra. (España)
jsaez@intiasa.com

Resumen: En la búsqueda de la eficiencia en producción ecológica de pequeños rumiantes no se debe prescindir de formas de gestión modernas que ayuden a evaluar y mejorar los procesos. Los condicionantes legales y la búsqueda de rentabilidad a partir de la optimización del uso de los recursos, hacen que el proceso de alimentación sea el más importante en este contexto productivo. En este trabajo se seleccionan los estudios previos, las estrategias adoptadas y los aspectos organizativos más influyentes en la concepción del proceso de alimentación en producción de ovino ecológico en explotaciones en entorno de montaña. Se alcanzan porcentajes de autonomía sobre las necesidades energéticas y proteicas del rebaño en torno al 80%. Unos buenos resultados para un sistema de organización que puede ser una oportunidad en explotaciones de producción convencional.

Palabras clave: organización, índices de control, leche de oveja, cordero, estrategia de alimentación.

Abstract: When seeking efficiency, organic production farms should use modern management methods which are common in other business disciplines to evaluate and improve production processes. The legal constraints and the optimal use of resources make the feeding process the most important in this context. This report explains the previous studies, the strategies and organizational aspects that help to explain the concept of the feeding process in organic production in mountain on farms of lamb meat and sheep's milk. The result of food self-sufficiency (80% of protein and energy) is a good indicator that leads to optimal results in the current context of competition for feed materials, and can also help conventional production farms.

Key words: organization, control rates, feeding strategy.

INTRODUCCIÓN

Desde hace más de 20 años I.N.T.I.A. S.A., gestiona en Roncesvalles y Remendía sendas Fincas Experimentales de ovino lechero y carne respectivamente. Desde 2003, la experiencia central consiste en el desarrollo y optimización de los planes de producción y de sus correspondientes procesos operativos bajo condiciones de producción ecológica certificada. En el subsector ovino en Navarra, la alimentación del ganado genera los mayores movimientos de materias primas tanto en volumen como en valor económico (ITGG, 2003-2010). La legislación sobre producción ecológica, para el caso de animales herbívoros, establece un mínimo de consumo diario de forrajes por animal del 60% de la materia seca ingerida total (Reglamentos CE nº 889/2008 y CE nº 889/2008). El mismo reglamento regula la densidad de ganado máxima admisible en función de la cantidad máxima de Nitrógeno orgánico aplicable a la superficie agraria, 170 kg de nitrógeno por hectárea. El Consejo de la Producción Agraria Ecológica en Navarra marca un máximo de 1,4 Unidades de Ganado Mayor por ha. En este contexto el proceso de alimentación es el de mayor trascendencia en los planes de

producción ya que comprende la organización del conjunto de actividades y tareas que sirven para satisfacer las necesidades nutricionales del ganado derivadas del plan de producción elegido. Se incluyen en él desde la elección de las rotaciones en los cultivos hasta la elaboración, distribución y comprobación de consumos de las raciones diarias.

La adopción de sistemas de organización modernos (Beltrán *et al.*, 2002) pueden ayudar al seguimiento de los procesos productivos para apoyar la toma de decisiones y conducir a la obtención de buenos índices de resultados. El objetivo de esta comunicación es revisar los aspectos más importantes para la conformación del proceso de alimentación en éstas dos explotaciones experimentales.

MATERIAL Y MÉTODOS

Para el desarrollo del presente trabajo, se parte de los análisis previos de condicionantes y estudios de viabilidad técnica-económica que se desarrollaron para elegir los planes y procesos de producción de las dos Fincas Experimentales, Roncesvalles y Remendía. El diseño, optimización y evolución de éstos planes y de sus respectivos procesos se recoge y justifica en sendas publicaciones (Sáez, 2009; Sáez, 2011) en las que se describen además los resultados técnicos y económicos alcanzados en comparativa con explotaciones en producción convencional (ITGG, 2003-2010). Las experiencias se desarrollaron con precios de venta de productos iguales a los convencionales. Este trabajo consiste en seleccionar los aspectos que más trascendencia han tenido para la gestación y consolidación del proceso de alimentación y sus consecuencias sobre sus índices más significativos.

RESULTADOS

Estudios específicos previos para el diseño del proceso de alimentación

Tipos de cebo

Para conocer el mejor método para cebar corderos tipificados como ternasco, se compararon tres opciones: en régimen ecológico bajo la madre, en régimen ecológico cumpliendo el 40/60 concentrado/forraje y con paja y concentrado sin cumplir la citada proporción. Se constató la enorme dificultad de criar corderos y obtener canales con los mismos parámetros organolépticos y de conformación que en manejo convencional (Eguinoa *et al.*, 2006). En consecuencia, en ambas fincas, se asume la cría de corderos lechales, aspecto con enorme influencia sobre el diseño de todos los procesos operativos.

Especies vegetales en las rotaciones

Dado que el proceso de alimentación incluye el diseño de las rotaciones de cultivos, se precisó la determinación de qué especies producen más cantidad de energía y proteína en condiciones de producción ecológica y bajo diferentes tipos de aprovecha-

miento: pastoreo exclusivo, mixto con pastoreo y henificado y mixto con pastoreo y ensilado. Los resultados del testaje de cultivos condujeron a ratificar las mezclas de raigrases (*Lolium perenne*, *Lolium híbridum* y *Lolium multiflorum*) con tréboles blancos y violetas, como mejores opciones. Estos trabajos previos y la constatación posterior por medio del desarrollo de la experiencia durante seis años, precisan el censo soportable en cada finca asumiendo autonomía forrajera y cumpliendo la proporcionalidad máxima 40/60 forraje/concentrado. En torno a 320 ovejas en ovino lechero para 35 hectáreas de superficie equivalente de pastos en Roncesvalles y unas 375 ovejas para 55 hectáreas en Remendía.

Formas de conservación de forrajes

La compra de los alimentos ecológicos con alto contenido proteico es la más gravosa. A lo largo de dos años, en la finca experimental de Roncesvalles, se realizó una experiencia comparando la calidad de la leche producida consumiendo ensilado con aquella que se obtenía con consumo de heno (Eguinoa *et al.*, 2008). Se ha consolidado el empleo del ensilado como un buen método de conservación de forrajes para las épocas de estabulación forzosa. Esta técnica permite realizar cortes en momentos fenológicos en los que el material vegetal presenta contenidos en proteína sensiblemente más altos pero que se dan en unas circunstancias climatológicas que no permiten el henificado.

Decisiones estratégicas

La fecha de partos y el censo generan la curva de necesidades nutricionales de un rebaño en el tiempo. En las tablas 1 y 2 se recoge la evolución de las densidades ganaderas y las fechas medias de parto en ambas fincas experimentales a lo largo de los periodos considerados. En las figuras 1 y 2 se puede observar también la evolución anual de las necesidades energéticas y proteicas (INRA 1998, 2007) derivadas de las respectivas fechas de partos elegidas y de los objetivos de los planes de producción. La decisión de la fecha de partos se ha tomado a partir del enfrentamiento de estas necesidades con los datos climáticos que regulan la oferta de forraje en el tiempo (Mendizabal *et al.*, 1992).

Aspectos organizativos más destacables

Manejo de inventarios técnicos y optimización del racionamiento

Se prioriza el pastoreo como alternativa de alimentación. En otoño se conocen ya las cantidades y se evalúan analíticamente las calidades del forraje conservado obtenido. De acuerdo a su tipificación se elaboran todas las raciones teóricas dirigiendo el uso de cada calidad a cada estado fisiológico y productivo, empleando para cada caso el forraje más adecuado. Así se deciden también las fórmulas idóneas para la compo-

sición de los concentrados. Se programan las compras anuales necesarias, cantidades, momento oportuno de suministro y calidad. El control periódico de inventarios y el control de las cantidades reales consumidas permiten corregir desviaciones. Esquemáticamente el procedimiento se resume así, en este ciclo repetitivo anual:

Necesidades nutricionales conocidas de acuerdo a Plan y procesos de producción
 → *Decisión sobre producciones forrajeras anuales necesarias* → *Tipificación de calidades de producciones de forraje conservado obtenido* → *Racionamiento previo de toda la campaña y decisión de compras* → *Control periódico de inventario y verificación de racionamiento.*

Tabla 1. Evolución de censos y densidades ganaderas en las fincas de Remendía y Roncesvalles, desde el periodo de transición a la producción ecológica (2002 a 2009).

Localización	Año	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Remendía (ovino de carne)	Ovejas adultas	635	553,5	523,5	514	487,6	388	374	359
	UGM/ha	1,7	1,5	1,4	1,4	1,3	1,2	1,2	1,1
Roncesvalles (ovino de leche)	Ovejas adultas	388	384	334	302	307	306	344	341
	UGM/ha	1,5	1,4	1,4	1,2	1,0	1,2	1,4	1,3

UGM/ha: Densidad Ganadera Expresada en Unidades de Ganado Mayor por ha de superficie forrajera equivalente. En este caso 1 oveja adulta=0,15 UGM. 1 ha de Pastos arbustivos = 0,5 ha de superficie forrajera equivalente. 1 ha de pasto arbolado = 0,25 ha de superficie forrajera equivalente.

Tabla 2. Fechas medias de parto en las fincas experimentales.

Año	2004	2005	2006	2007	2008	2009	
Fecha media de parto	Roncesvalles	24 marzo	11 marzo	3 marzo	3 marzo	16 marzo	17 marzo
	Remendía	27 abril	28 abril	18 mayo	20 mayo	15 mayo	19 mayo

Manejo de la fertilidad de suelos

Se realizan controles periódicos, normalmente anuales, de los niveles de fertilidad de cada parcela y se calculan las necesidades de nutrientes de acuerdo a sus resultados y a la orientación productiva, corte o pastoreo. Se realiza un inventario de cantidades y tipos de residuos generados y se distribuye de acuerdo las necesidades de cada parcela. Éste se considera como un procedimiento más del proceso de alimentación y genera índices indicadores de la sostenibilidad en el tiempo del plan de producción.

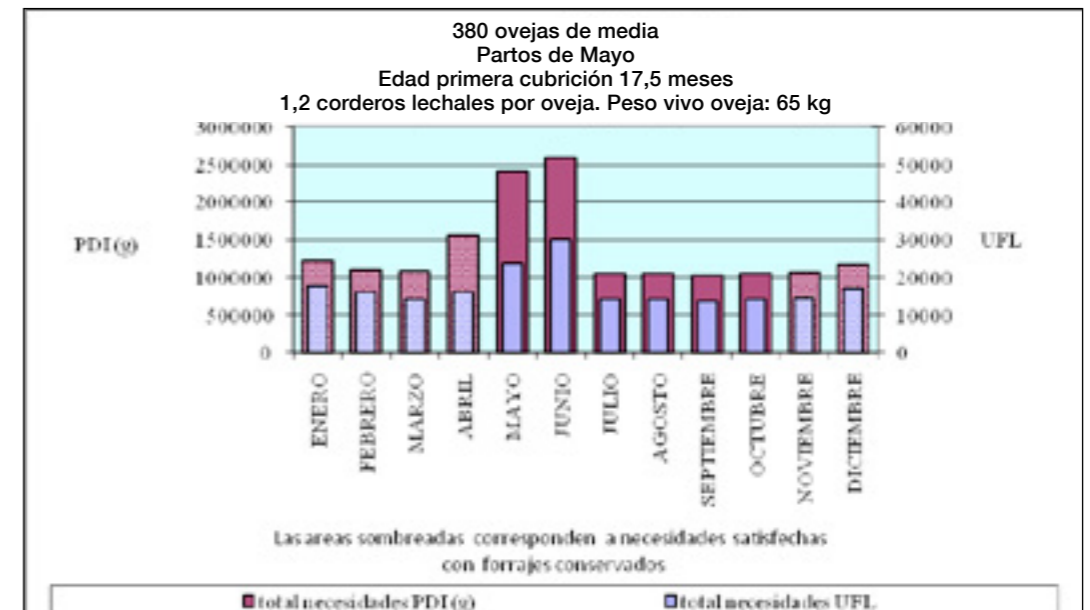


Figura 1. Necesidades nutricionales del rebaño a lo largo del año. Remendía, ovino de carne. Calculadas a partir de las necesidades de todos los grupos de animales del rebaño aplicando las bases de cálculo de INRA (2007) PDI: Proteína digestible en Intestino en gramos; UFL: Energía en Unidades Forrajeras Leche.

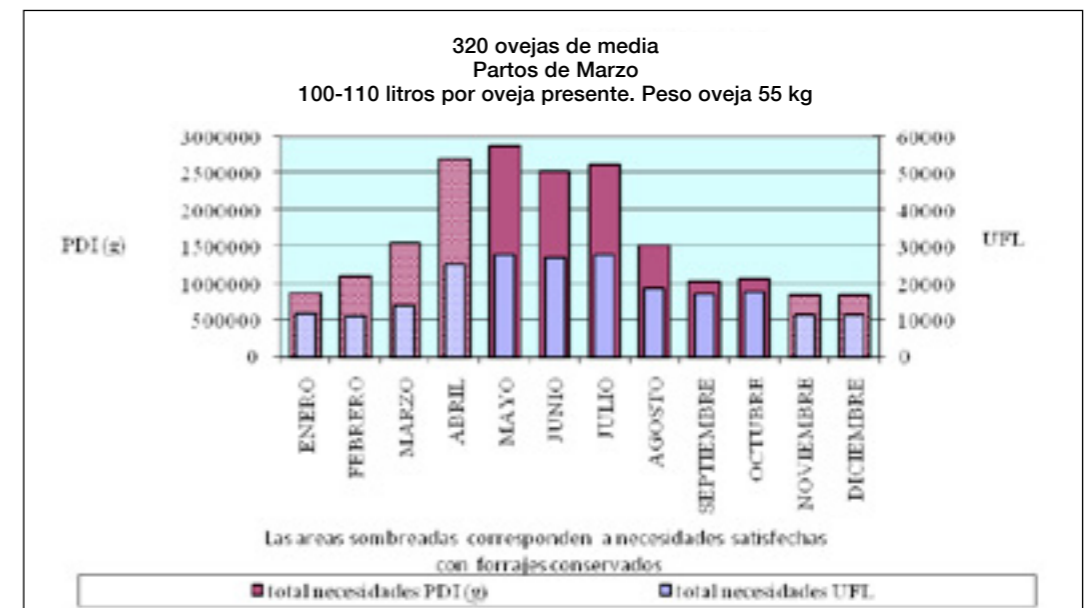


Figura 2. Necesidades nutricionales del rebaño a lo largo del año. Roncesvalles, ovino lechero. Calculadas a partir de las necesidades de todos los grupos de animales del rebaño aplicando las bases de cálculo de INRA (2007) PDI: Proteína digestible en Intestino en gramos; UFL: Energía en Unidades Forrajeras Leche.

DISCUSIÓN

Como índice de funcionamiento del proceso destaca que no se ha producido ninguna infracción ni ha progresado ninguna observación por parte del organismo certificador (CPAEN). A modo de índices de resultados del proceso de alimentación, en la tabla 3 se recogen los valores que reflejan la evolución de la autonomía alimentaria alcanzada. Este es un aspecto muy tratado en la bibliografía derivada de los trabajos de fincas experimentales en torno a la producción de rumiantes (Minost *et al.*, 2003). En ambas localizaciones se ha alcanzado la plena autonomía forrajera, solo se adquieren concentrados y paja para cama. No se dispone de este índice en explotaciones comerciales del entorno, pero, en Roncesvalles (ovino de leche) se ha conseguido cubrir con producción propia entre el 81 y 88% de la energía según los años y entre el 65% y el 78% de la proteína. En Remendía, ovino de carne, ha habido una mayor evolución y se ha pasado del 50 al 80 % de la cobertura de la energía y del 40 al 80% de la proteína. No obstante en el año 2009, en la finca de Roncesvalles, se consumió aproximadamente la mitad de concentrado por litro de leche producido que la media de explotaciones con la misma raza en Navarra, con producciones por cabeza parecidas, de 100 a 120 litros. En 2009, en la finca de Remendía, ovino de carne, se consumió menos de la mitad de concentrado por kilo de carne producido que la media de los ganaderos de Navarra. Si el precio de los concentrados fuese el convencional a igual valor nutritivo, estos resultados de índices técnicos se traducirían en costes de alimentación comprada por animal sensiblemente más bajos. En torno al 20% menos en ovino lechero y hasta 50% menos en ovino de carne (Sáez, 2009; Sáez, 2011).

No habiendo importaciones significativas de fertilizantes, se observa en ambas localizaciones una tendencia a la estabilización en valores de fertilidad considerados medios o ligeramente bajos (M.A.F.F., 1994), con valores extremos de pH entre 5 y 6,3, fósforo (P) entre 24 y 61 mg/kg y potasio (K) entre 115 y 300 en mg/kg.

Tabla 3. Índices de autonomía en alimentación Roncesvalles y Remendía.

		2004	2005	2006	2007	2008	2009
Roncesvalles	Kg anuales de Concentrado por oveja de más de un año	168	176	134	92	68	78
	Kg de concentrado por litro de leche producido	2,094	2,350	1,468	0,893	0,648	0,85
Remendía	Kg anuales de Concentrado por oveja de más de un año	146	139	113	109	89	59
	Kg totales de forraje externo anual consumido por oveja de más de un año	110	188,3	265	117,2	91	18,3
	Kg totales de concentrado por kilo de carne producido	8,8	10	6,4	7,10	6	4,1

CONCLUSIONES

Los aspectos legales condicionan el diseño de los procesos en producción ecológica como se observa en la elección del tipo de canales de cordero a producir.

El mantenimiento de la fertilidad, sin que exista importación significativa de fertilizantes, es una señal de sostenibilidad de la estrategia productiva elegida en el tiempo.

Organizar el proceso de alimentación y dotarlo de índices adecuados ayuda a observar su evolución de forma objetiva. Los valores alcanzados en los principales índices advierten sobre una oportunidad para explotaciones convencionales en un contexto de altos precios de las materias primas. En ambas fincas se alcanzan, en los años 2008 a 2009, porcentajes de autonomía sobre las necesidades energéticas y proteicas del rebaño en torno al 80%. En lo económico a igualdad de precio de concentrado, con los mismos precios de venta de productos, existe un margen de mejora importante en los resultados económicos por cabeza.

En los casos tratados, la reducción de densidades ganaderas podría conducir a resultados por cabeza incluso mejores respecto a los índices obtenidos. No obstante se ha trabajado en el entorno de las máximas densidades ganaderas legales. La buena evolución observada en los índices de alimentación respecto a las densidades ganaderas mantenidas sitúa el proceso en un acercamiento al máximo potencial productivo de la superficie para el conjunto de cada explotación.

AGRADECIMIENTOS

A Ramontxo Echeverría Echavarren, por personificar la palabra ayuda, también en la Finca Experimental de Roncesvalles.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BELTRÁN J., CARMONA M.A., CARRASCO R., RIVAS M.A. Y TEJEDOR F. (2002) *Guía para una gestión basada en procesos*. Sevilla, España: I.A.T.
- EGUINO P., IZCO J., SÁEZ J. L. Y MAEZTU F. (2008) Calidad de los silos en Navarra. Empleo para alimentación de ganado ovino. *Navarra Agraria*, **168**, 39-43.
- ITGG (2003-2010). *Resultados Técnicos y Económicos de las Actividades de Rumiantes*. Villava, España: ITG Ganadero S.A.
- EGUINO P., GRANADA A., SÁEZ J.L. Y ZAMORA C. (2006) Cebo convencional o ecológico puro. Corderos ecológicos. Calidad de la canal y de la carne. *Navarra Agraria*, **159**, 43-47
- INRA (1988) *Alimentación de bovinos, ovinos y caprinos*. Versión española de Javier González Cano. Madrid, España: Editorial Mundi Prensa.
- INRA (2007) *Alimentation des bovins, ovins et caprins. Besoins des animaux-Valeurs des aliments*. Paris, France: Editions QUAE.
- MENDIZABAL F.J., MÚJICA I. Y AMEZTOY J.M., 1992. *Relación entre producción de hierba y parámetros edafoclimáticos en distintos lugares de Navarra*. En: SEEP *et al.* (Eds) XXXII Reunión científica de la S.E.E.P, pp. 229-232. Madrid, España: SEEP
- MINISTRY OF AGRICULTURE, FISHERIES, FERTILISER AND FOOD (1994). *Fertiliser recommendations for Agricultural and Horticultural Crops (Reference Book 209)*. London, U.K.: MAFF.
- MINOST C. Y FONTAINE L. (2003). A la recherche de l'autonomie alimentaire: Les apports de deux fermes experimentales. *Alter Agri*, **160**, 17-21.
- Consejo de la Unión Europea. Diario Oficial de la Unión Europea, 2007. Reglamento (CE) nº 834/2007 del, 28 de junio.

Consejo de la Unión Europea. Diario oficial de la Unión Europea, 2008. Reglamento (CE) nº 889/2008 del Consejo, 5 de septiembre.

SAEZ J.L. (2009). *Resultados técnico económicos obtenidos en la implantación del Sistema de producción ecológico en la explotación experimental de ovino lechero de I.T.G Ganadero en Roncesvalles*. www.intia.com

SÁEZ J.L. (2011) *Producción de carne de cordero ecológico en explotaciones de montaña. Resultados Técnico económicos obtenidos en la implantación y optimización del sistema de producción ecológico en la explotación experimental de ovino de carne de I.T.G. Ganadero en Remendía. (Raza Navarra)* www.intia.com

Efecto del manejo y del estado fisiológico de ovejas de raza latxa en relación al gasto energético por locomoción

Effect of management and physiological state of latxa sheep in relation to energy cost for locomotion

N. MANDALUNIZ¹ / N.A. LASKURAIN² / A. ALDEZABAL²

¹NEIKER-Tecnalia - Granja Modelo de Arkaute, Apdo. 46, 01080 Vitoria-Gasteiz
²Landareen Biologia eta Ekologia Saila/Zientzia eta Teknologia Fakultatea Euskal Herriko Unibertsitatea (EHU-UPV), Apdo. 644., 48080 Bilbao

Resumen: El ordeño en monte puede afectar tanto al manejo general de las ovejas como a su actividad y balance energético neto. El objetivo principal de este trabajo es analizar el efecto del manejo (ordeño vs. no ordeño en monte) y estado fisiológico (lactante vs. no lactante) de ovejas de raza Latxa en relación al gasto energético por locomoción en monte. Para ello fueron seleccionados 2 rebaños, uno de ellos en ordeño. En estos rebaños se realizó un seguimiento individual de la conducta de pastoreo y distribución espacial de un total de 22 ovejas a lo largo de las 24h del día, durante 5 días seguidos y 4 semanas, mediante collares-GPS creados *ad hoc*. Para el cálculo del gasto energético derivado de la locomoción se monitorizaron la actividad (pastoreo vs. no pastoreo), la distancia diaria recorrida, los tipos de movimiento y la pendiente. El manejo del rebaño afectó al gasto energético de las ovejas y las ovejas lactantes gastaron menos energía por locomoción que las secas del mismo rebaño, lo cual indicaría que las ovejas son capaces de regular el gasto energético modificando el tipo de locomoción.

Palabras clave: *Ovis aries*, ordeño en monte, oveja lactante, distancia diaria recorrida, pendiente.

Abstract: Mountain milking period can affect the general management of sheep, their activity and so, their net energetic balance. The main objective of the current work is to analyze the effect of management (milking vs. no milking) and the physiological state (milking vs. dry sheep) on the energetic cost due to locomotion of dairy sheep during mountain period. For that, 2 flocks were selected, milking vs. dry. Twenty two sheep were monitored by GPS-collars during 24h periods, in terms of grazing patterns and spatial distribution. For calculating the energetic cost due to locomotion, we recorded the state of sheep 'active' vs. 'inactive', the daily walks, the type of movement and the slope. The management of the flocks affected the energetic cost of sheep. Milking sheep spent less energy due to locomotion than dry ones of the same flock, which means that sheep are capable to regulate and compensate the energetic cost by modifying the type of locomotion. The implications of these results to sheep management have been discussed.

Key words: *Ovis aries*, mountain milking, milking sheep, daily walks, slope.

INTRODUCCIÓN

Algunos autores han sugerido que las ovejas seleccionan con mayor intensidad unas unidades vegetales frente a otras (Mendizabal, 2009) concluyendo que el animal se mueve en busca del alimento de forma selectiva para cubrir sus requerimientos energéticos. Otros factores que determinan el movimiento del animal en el espacio son las barreras físicas, el conocimiento que tienen sobre su entorno y la fragmentación o limitación del hábitat inducida por la actividad humana (Baley *et al.*, 1996; Dickson *et al.*, 2005).

Desde el punto de vista del balance energético, una parte del requerimiento energético total del animal se debe a la locomoción, la cual depende de la eficiencia en el movimiento-desplazamiento y de la distancia recorrida (Lachica y Aguilera, 2005). En los estudios relacionados con este aspecto (Ganskopp *et al.*, 2000; Dickson *et al.*, 2005) se refleja la importancia del análisis a pequeña escala de movimientos y patrones de selección de individuos para llegar a modelar el comportamiento del movimiento.

El pastoreo en las zonas de montaña es el sistema de producción más tradicional que se lleva a cabo con la oveja Latxa en el País Vasco. En dicho sistema algunos pastores finalizan la campaña de ordeño y la elaboración de quesos en el monte, mientras que otros suben el rebaño después del secado de las ovejas. Además, algunos rebaños pasan la noche en un cercado junto a la chabola y otros no. Estos distintos manejos afectan a la actividad diaria de las ovejas y por lo tanto, a su balance energético neto. Por ello, el objetivo principal de este trabajo es analizar el efecto del manejo (ordeño *vs.* no ordeño, recogida *vs.* no recogida) y estado fisiológico (en ordeño *vs.* secas) de ovejas de raza Latxa en relación al gasto energético por locomoción.

MATERIAL Y MÉTODOS

El ensayo se llevó a cabo en el Parque Natural de Aralar en Junio de 2006 y el seguimiento se llevó a cabo durante periodos de 24 horas durante 5 días seguidos y 4 semanas consecutivas. Para ello se seleccionaron dos rebaños, uno de ellos en ordeño y el otro seco. Posteriormente, y en base al estado fisiológico se formaron 3 grupos de animales: oveja adulta lactante del rebaño en ordeño (LL), oveja adulta seca del rebaño en ordeño (NL), y oveja adulta seca del rebaño seco (NN). Además, simulando el manejo de los rebaños¹ en monte se clasificaron entre el pastor que recoge el rebaño (manejo tipo '1') y el que no recoge (manejo tipo '2'). Dentro del manejo tipo '1' se diferenciaron a su vez si las ovejas pasan la noche dentro del cercado (1A) o si las ovejas se sueltan al cabo de 10 minutos (1B). Así, de la combinación del estado fisiológico y el manejo se obtuvieron 7 categorías de animales: LL₁, LL₂, NL₁, NL₂, NN_{1A}, NN_{1B} y NN₂.

El seguimiento se realizó con dispositivos-GPS creados *ad hoc* (Mendizabal, 2009). En total se marcaron 22 ovejas de todas las categorías citadas anteriormente. Los collares recogieron las localizaciones y la actividad de las ovejas cada 10 minutos durante las 24h del día. Con esta información se calcularon los recorridos diarios y el ritmo de actividad de cada oveja. Para el cálculo del gasto derivado de la locomoción se tuvieron en cuenta la actividad, la distancia diaria recorrida, los tipos de movimiento y la pendiente. (i) Los datos de actividad² se agruparon en dos categorías, asumiendo que cuando el animal está 'activo' está pastando y que el resto de actividades se recogen

dentro de la categoría 'inactivo'. (ii) El cálculo del trayecto diario se realizó considerando los desplazamientos horizontales y verticales. La distancia horizontal se obtuvo a partir de la conversión a una línea de dos localizaciones continuas en el tiempo, asumiendo que las ovejas se movían en línea recta. Además, el cálculo de la distancia se realizó de forma tridimensional (distancia 3D) considerando la variación del valor de Z mediante un Modelo Digital de Elevaciones generado previamente. (iii) En el movimiento vertical se consideraron las subcategorías de 'subida' y 'bajada' y cada línea se clasificó en función de la diferencia de altitud entre la localización inicial y la final. Finalmente se midió el tiempo transcurrido durante las 24 horas en cada tipo de movimiento definido.

Con toda esta información, el gasto energético derivado de la locomoción se calculó según Robbins (1993):

- Cuando la oveja está inactiva:

$$CI = \underbrace{[2,57X^{0,69+1}]}_{\text{Coste energético locomoción}} + \underbrace{[(1,2(70)X^{0,75} + 1440)]}_{\text{Sobrecoste derivado de la TMB y de la posición animal levantada}} \cdot \underbrace{(60 \cdot V)}_{\text{Movimiento vertical subida}} + 6,36 \cdot \underbrace{D}_{\text{Distancia}} - \underbrace{[(132 + 4,8P - 0,3X) \cdot 0,0234]}_{\text{Movimiento vertical bajada}} \cdot D$$

- Cuando la oveja está activa:

$$CA = CI + \underbrace{0,36}_{\text{Coste actividad pastoreo en ruminantes}} \cdot CI$$

donde X corresponde al peso vivo del animal (kg), V es la velocidad (km/h), P es la pendiente (grados), D es la distancia (km) y CA y CI son el coste energético diario kcal/(kg·km) de ovejas en estado activo e inactivo, respectivamente.

El efecto del estado fisiológico y manejo sobre las distancias recorridas horizontales, verticales de bajada y verticales de subida, el tiempo de tránsito invertido en cada tipo de desplazamiento, y el gasto energético derivado de la locomoción, fueron analizados mediante las pruebas no-paramétricas de Mann-Whitney.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los días en los que el rebaño en ordeño se recogió en el cercado, las ovejas secas se desplazaron más verticalmente que los días que no se recogieron (3,33 *vs.* 2,13 Km/d para NL₁ *vs.* NL₂ respectivamente) (tabla 1) lo que pone en evidencia el efecto del manejo del rebaño sobre la locomoción. Al combinar el manejo con el estado fisiológico dentro del rebaño en ordeño, se observa un menor desplazamiento vertical de subida para las ovejas en ordeño que se recogen con respecto a las ovejas secas con el mismo

1. El rebaño en ordeño se recogía una vez al día para dicha actividad y posteriormente se soltaban hasta la mañana siguiente. Al final del estudio el rebaño se dejó de ordeñar por lo que se deja de recoger (manejo tipo 2). En el caso del rebaño que no se ordeña, o bien no se recogían (manejo tipo 2), o se recogían por la tarde (19:00 aprox.) para 'controlar' a los animales y posteriormente: el rebaño permanecía en el cercado durante toda la noche (manejo 1A) o se soltaba después de 10-15 minutos de 'control' (manejo 1B). En ninguno de los rebaños y manejos se administraba ningún alimento (pienso) a los animales.

2. El registro de actividad se recogía en los dispositivo-GPS. Estos contaban con un péndulo de mercurio colocado con una inclinación de 14° sobre la horizontal (posición definida como actividad de pastoreo, Pérez-Barbería *et al.*, 2007). Cuando el animal agacha la cabeza la bola de mercurio cae en el tubo y el dispositivo GPS lo registra como 'activo' o en pastoreo. Para contrastar los datos del GPS se realizaron comprobaciones por observación directa (Mendizabal, 2009).

manejo (3,53 vs. 4,33 Km/d para LL₁ vs. NL₁ respectivamente). Estas diferencias desaparecen los días en los que el rebaño no se recoge, lo que indica que el estado fisiológico es importante a la hora de 'seleccionar' el recorrido diario, bien para compensar sus mayores necesidades energéticas o bien por el posible bienestar que les pueda causar el propio ordeño. En cualquier caso, se confirmaría que las diferencias en el estado fisiológico de los animales causan diferencias en el comportamiento de pastoreo, al menos en los casos en los que no hay escasez de alimento (Penning *et al.*, 1995) como en el presente estudio ya que las disponibilidad forrajera fue la misma para todos y los animales no fueron alimentados 'extra' con pienso durante el ordeño.

Respecto a las pendientes máximas superadas, las ovejas en ordeño vencen significativamente mayores pendientes los días que se recogen (22,6°±1,9 vs. 19,9°±1,8, LL₁ vs. LL₂ respectivamente) pero menores que las ovejas secas del mismo rebaño (22,6°±1,9 vs. 24,4°±1,7 respectivamente LL₁ vs. NL₁). Tendencias similares se observa en las ovejas secas del mismo rebaño (24,4°±1,7 vs. 19,9°±1,4 NL₁ vs. NL₂, respectivamente).

Tabla 1. Distancias recorridas (Km) horizontales (dist. H), verticales de bajada (dist. VB) y subida (dist. VS) y tiempo diario (%) invertido en cada desplazamiento (horizontal=H, subida=S, bajada=B) por cada tipo de oveja: LL₁= lactante, recogido; LL₂= lactante, no recogido; NL₁= seca del rebaño en ordeño, recogido; NL₂= seca del rebaño en ordeño, no recogido; NN_{1A}= seca del rebaño seco y noche en cercado; NN_{1B}= seca del rebaño seco, recogido y soltado en 10 minutos; NN₂= seca del rebaño seco, no recogido.

Tipo	Dist. H	Dist. VB	Dist. VS	Tiempo H	Tiempo B	Tiempo S
LL ₁	0,11	3,09	3,53 ^A	2,97	31,95	34,10 ^C
LL ₂	0,03	2,59	2,79	4,46	31,15	34,77
NL ₁	0,01	3,33 ^a	4,33 ^{c,B}	0,71	25,96	42,30 ^D
NL ₂	0,06	2,13 ^b	2,47 ^d	4,99	29,47	36,47
NN _{1A}	0,01	2,51	2,86	1,40	32,33	35,89
NN _{1B}	0,00	5,16	3,14	0,00	34,65	35,90
NN ₂	0,00	3,59	2,89	0,00	32,01	35,45

Superíndices en minúscula: diferencias significativas entre tipos de manejos dentro de un mismo tipo de oveja (^{a,b} p < 0,1; ^{cd} p < 0,05). Superíndices en mayúscula: diferencias significativas entre tipos de ovejas dentro de un mismo tipo de manejo (^{A,B} p < 0,1; ^{C,D} p < 0,05).

Con respecto al gasto energético total debido a la locomoción se observan diferencias significativas entre las ovejas secas del rebaño en ordeño en función al manejo diario (tabla 2), siendo mayor el gasto de las ovejas recogidas frente a las que no se recogen (1860 vs. 1693 Kcal/d en NL₁ vs. NL₂ respectivamente). Dentro del manejo de recoger los animales, las ovejas en ordeño (LL₁) gastan menos energía por locomoción que las secas del mismo rebaño (NL₁). Esto indicaría que las ovejas lactantes, los días que se ordeñan regulan el gasto energético, tal y como se ha descrito en otros rumiantes (Ganskopp *et al.*, 2000; Lachica y Aguilera, 2005). Esta regulación puede ser debida tanto a su capacidad para discriminar entre recorridos como por una actitud positiva frente al bienestar que les puede proporcionar el propio ordeño, vaciado de la ubre.

En el presente trabajo se pone en evidencia este hecho ya que las ovejas en ordeño al pastar (activas) presentan un mayor gasto energético por locomoción horizontal (57 vs. 14 Kcal/d, para LL₁ vs. NL₁, respectivamente) mientras que las secas presentan un mayor gasto energético por locomoción de subida para la misma actividad (926 vs. 1152 Kcal/d para LL₁ vs. NL₁, respectivamente). Este resultado es de suma importancia de cara a modelar los patrones de pastoreo en pastos de montaña.

Tabla 2. Promedio del gasto energético (Kcal/día) de cada tipo de oveja (LL, NL) por manejo (1=recogido, 2=no recogido) y tipo de actividad (activo, inactivo y ambos) realizado por locomoción (GASTO TOTAL), horizontal, vertical de bajada y subida.

ESTADO	TIPO	N	GASTO TOTAL	Locomoción horizontal	Locomoción de bajada	Locomoción de subida
ACTIVO	LL ₁	6	1798,19	57,53 ^{aA}	826,33	926,48 ^A
	LL ₂	5	1757,17	94,71 ^b	774,93	887,53
	NL ₁	3	1859,91 ^a	14,33 ^{a,B}	702,62	1152,52 ^{a,B}
	NL ₂	6	1692,69 ^b	109,39 ^b	702,82	880,47 ^b
INACTIVO	LL ₁	6	490,81 ^C	70,35	226,58 ^C	218,17
	LL ₂	5	464,53	70,01	185,19	223,34
	NL ₁	3	566,36 ^{c,D}	34,03 ^a	342,02 ^{a,D}	201,65
	NL ₂	6	471,22 ^d	53,36 ^b	207,28 ^b	210,58
AMBOS	LL ₁	6	2289,00 ^A	127,89 ^c	1052,91	1144,65 ^A
	LL ₂	5	2221,70	164,71 ^d	960,12	1110,87
	NL ₁	3	2426,27 ^{a,B}	48,35 ^a	1044,64 ^c	1354,17 ^{a,B}
	NL ₂	6	2163,91 ^b	162,76 ^b	910,10 ^d	1091,05 ^b

N=número de días analizados. Superíndices en minúscula: diferencias significativas entre tipos de manejos dentro de un mismo tipo de oveja (^{a,b} p < 0,05; ^{cd} p < 0,1). Los superíndices en mayúscula: diferencias significativas entre tipos de ovejas dentro de un mismo tipo de manejo (^{A,B} p < 0,05; ^{C,D} p < 0,1).

CONCLUSIONES

El trabajo pone en evidencia que el manejo del rebaño afecta al gasto energético de las ovejas, siendo mayor el gasto total por locomoción para las ovejas que se recogen frente a las que no se recogen. Pero además, dentro del mismo manejo, las ovejas en ordeño gastan menos energía por locomoción que las secas del mismo rebaño, lo que significa que las ovejas lactantes, los días que se ordeñan son capaces de regular el gasto energético modificando el tipo de locomoción.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado por los proyectos UPV05/135 y UNESCO05/08, concedidos por la Universidad del País Vasco. Nuestro más sincero agradecimiento a las

personas que colaboraron en la toma de datos en campo, en especial a M. Mendizabal y los Guardas del Parque Natural de Aralar (P. Zeberio, J.A. Irastorza, J.A. Roteta).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAILEY D.W., GROSS J.E., LACA E.A., RITTENHOUSE L.R., COUGHENOUR M.B., SWIFT D.M. Y SIMS P.L. (1996) Mechanisms that result in large herbivore grazing distribution patterns. *Journal of Range Management*, **49**, 386-400.
- DICKSON B.G., JENNESS J.S. Y BEIER P. (2005) Influence of vegetation, topography and roads on cougar movement in southern California. *Journal of Wildlife Management*, **69**(1), 264-276.
- GANSKOPP D., CRUZ R. Y JOHNSON D.E. (2000) Least-effort pathways?: a GIS analysis of livestock trails in rugged terrain. *Applied Animal Behaviour Science*, **68**, 179-190.
- LACHICA M. Y AGUILERA J.F. (2005) Energy expenditure of walk in grassland for small ruminants. *Small Ruminant Research*, **59**, 105-121.
- MENDIZABAL M. (2009) *Análisis de los factores determinantes del uso de pastos de montaña por herbívoros domésticos y su aplicación en modelos de gestión sostenible para el País Vasco*. Tesis Doctoral. Universidad del País Vasco, Leioa.
- PENNING P.D., PARSON A.J., ORR R.J., HARVEY A. Y CHAMPION R.A. (1995) Intake and behaviour responses by sheep, in different physiological states, when grazing monocultures of grass or white clover. *Applied Animal Behaviour Science*, **45**, 63-78.
- ROBBINS C.T. (1993) *Wildlife feeding and nutrition*. Academic Press. London.

Factores determinantes del uso del espacio por parte del ganado vacuno y equino en pastos de montaña

Factors determining the spatial use of mountain pastures by bovins and equids

A. ALDEZABAL¹ / N.A. LASKURAIN¹ / N. MANDALUNIZ²

¹Landareen Biologia eta Ekologia Saila/Zientzia eta Teknologia Fakultatea Euskal Herriko Unibertsitatea (EHU-UPV), Apdo. 644, 48080 Bilbao
²NEIKER-Tecnalia - Granja Modelo de Arkaute, Apdo. 46, 01080 Vitoria-Gasteiz

Resumen: El pastoreo extensivo multispecífico parece ser la mejor opción de manejo para garantizar un aprovechamiento óptimo de los recursos vegetales de la montaña. El objetivo principal de este trabajo fue analizar cuáles son los factores determinantes del uso del espacio por parte del vacuno y equino, en situación de simpatria. El estudio se ubicó en el Parque Natural de Aralar (Gipuzkoa) y el seguimiento del ganado mayor se realizó mediante 'scan sampling', durante la época de pastoreo de 2005. Se comparó el uso de unidades vegetales entre vacuno y equino, detectando un nivel muy alto de solapamiento (82,7%). En general, ambas especies hacen un uso similar de los recursos, aunque los brezales-argomales son más utilizados por el vacuno. Los análisis de redundancia (RDA) parciales y la partición de la varianza, revelaron que en el caso del vacuno, los factores más importantes fueron las variables topográficas (exposición, inclinación) y las distancias a puntos de agua e infraestructuras (chabolas, pistas y lugares de sombra), explicando más del 50% de la varianza total. Sin embargo, en el caso del equino la varianza explicada fue menor del 30%.

Palabras clave: pasto denso, brezal-argomal, variables topográficas, distancia a puntos de agua, análisis de redundancia parciales.

Abstract: Multispecific grazing extensive systems could be the best option of management for ensuring an optimal use of mountain forage resources. The main objective of this work was to analyze the factors that determine the spatial use of mountain supraforestal areas by bovins and equids, grazing in sympatry conditions. The study was located in the Natural Park of Aralar (Gipuzkoa) and livestock was monitored by scan sampling along transects with optimal visibility in the grazing period of 2005. We compared the use of vegetation units of cattle and horses and a high overlapping was found (82.7%). In general, both species showed a similar pattern of vegetation use, although cattle used gorse-heathlands more than horses. Partial redundancy analyses (RDA) and variance partitioning revealed that topographic variables (like aspect and slope), as well as the distance to water points and infrastructure, were the most important factors for cattle, explaining more than the 50% of the total variance. However, the model for horses explained less than 30% of the total variance.

Key words: dense pasture, gorse-heathland, topographic variables, distance to water points, partial redundancy analyses.

INTRODUCCIÓN

En los sistemas de puertos de montaña, la segregación espacial de los rebaños es un factor importante que puede ir en beneficio de una explotación más eficiente del puerto (Aldezabal, 1997). Conocer el grado de complementariedad existente entre las diferentes especies animales en cuanto a la utilización de los recursos vegetales y del territorio, es fundamental para una gestión eficiente del medio rural. Los ungulados domésticos difieren en su tamaño corporal, conducta de pastoreo, sistema digestivo y capacidad de selección a distintas escalas debido sobre todo a sus limitaciones morfológicas y fisiológicas particulares. Los équidos y los bóvidos de tamaño similar coexisten en diversos ecosistemas tropicales y templados y los mecanismos ecológicos que permiten dicha coexistencia han sido ampliamente debatidos (Aldezabal, 1997).

Los patrones de distribución y selección del territorio por parte de los grandes herbívoros están afectados tanto por factores bióticos (especie animal, disponibilidad de alimento, etc.) como abióticos (variables orográficas, distancia a puntos de agua, cercados, etc.) (Senft *et al.*, 1985a y 1985b). Los factores abióticos son los que determinan los patrones de distribución a gran escala ya que actúan como limitantes sobre los factores bióticos, tanto animales como vegetales (Bailey *et al.*, 1996).

Los objetivos abordados en este estudio han sido los siguientes: (1) Analizar el patrón de uso de las comunidades vegetales por parte del ganado equino y vacuno *in situ* a escala de Parque Natural y evaluar su nivel de solapamiento o similitud; (2) Identificar los factores abióticos determinantes de dicho patrón.

MATERIAL Y MÉTODOS

El estudio se ubicó en el Parque Natural de Aralar durante el periodo de pastoreo de 2005. El muestreo se realizó mediante por el método del 'muestreo instantáneo por observación directa' (*scan sampling*, Altmann, 1974). La zona supraforestal del Parque se dividió en tres subzonas de muestreo. Se creó una vista 3D del Parque con el programa *ArcScene* de *ArcGis 9.0*, utilizando como base modelo digital del terreno (MDT) y la ortofoto de la zona. Con la realización de varios vuelos en esa vista se consiguió detectar las barreras de visibilidad de cada área. La ubicación de los recorridos de muestreo (trayectos) fue modificada hasta conseguir la máxima visibilidad de los pastos. El cálculo de visibilidad se realizó mediante el análisis de la superficie de *ArcGis 9.0*. Cada día de muestreo, los trayectos se repetían en tres momentos del día (mañana, mediodía y atardecer), asumiendo un patrón bimodal (con dos picos de actividad de pastoreo) en el ritmo de actividades de los animales (Mandaluniz, 2003). Para evitar problemas de autocorrelación espacial y asegurar la independencia de las posiciones registradas, siempre dejamos al menos dos horas de diferencia entre un recorrido y el siguiente. A lo largo de los trayectos recorridos, se apuntaba la ubicación espacial de los animales avistados (vacuno y equino) sobre la ortofoto del terreno. Con este diseño se aseguró la prospección de más del 70% del área de aprovechamiento del ganado mayor (Mendizabal, 2009). En total, de Julio a Octubre, se realizaron 18 días de muestreo (7 días en Julio, 4 en Agosto, 5 en Septiembre y 2 en Octubre), prospectando cada día las 3 subzonas de forma simultánea. Mediante la aplicación *ArcGIS 9.0*, se obtuvo la siguiente cartografía digital con una resolución de 0,25 x 0,25 metros: Modelo Digital del Terreno (MDT), pendiente, exposición, infraestructuras (puntos de agua como los abrevaderos y fuentes, pistas y chabolas), zonas de sombra y vegetación. La ubicación espacial de los grupos de animales fue digitalizada y mediante el geoproceto "intersección", fue cruzada con cada uno de los atributos citados, obteniendo así una cuantificación objetiva de su uso.

Para el análisis del solapamiento de uso de las unidades vegetales (véanse estas unidades en la figura 1), se calculó el índice de similitud de Bray-Curtis. La amplitud de nicho para cada especie animal se estimó mediante el índice de Shannon-Wiener

($H' = -\sum p' \cdot \ln p'$, donde p' es la proporción de uso de cada unidad vegetal). El análisis numérico de los factores que determinan el uso de las comunidades vegetales se realizó mediante Ordenaciones Canónicas (Análisis de Redundancia -RDA-). Realizamos una partición de la varianza por medio de RDAs parciales para evaluar la importancia relativa de cada matriz de restricción después de ajustar la varianza de otras matrices considerándolas como covariables. Todos los modelos parciales se testaron mediante el test de Monte Carlo, basándonos en los modelos de RDA reducidos que incluían solamente las variables significativas. Estos análisis se realizaron con el programa CANOCO para Windows 4.5. La comparación entre el vacuno y el equino de las distancias mínimas a arroyos, abrevaderos, lugares de sombra, pistas y chabolas, se realizó mediante la prueba de la t de Student, habiendo comprobado previamente que todas estas variables se ajustaban a una distribución normal mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov. Para estos últimos análisis se utilizó SPSS 17.0.

RESULTADOS

El número máximo de cabezas de ganado registrados por día de muestreo fueron 234 de vacuno y 549 de equino, por lo que la carga ganadera del equino duplicó la del vacuno. La amplitud de nicho para el equino fue de 0,85 y para el vacuno 1,04. El solapamiento en el uso de comunidades vegetales entre el equino y vacuno fue de 82,7%.

Tal y como se puede observar en la figura 1A, la unidad vegetal más utilizada y seleccionada por ambas especies fue el pasto denso de *Agrostis-Festuca* (E172). Sin embargo, el vacuno seleccionó en segundo lugar el argomal de *Ulex europaeus* (F315), mientras que el equino prefirió utilizar el pasto calcáreo seco (E127). Ambas especies utilizaron en tercer lugar los matorrales de zarzas y espinares, pero de forma proporcional a su disponibilidad.

De la figura 1B podemos concluir que las zonas llanas y poco inclinadas (de 0 a 15°) fueron seleccionadas por ambas especies, aunque hubiera una baja disponibilidad de las mismas. La inclinación 15°-25° ha sido la más utilizada por ambas especies, pero de forma muy proporcional a su disponibilidad. Llamamos la atención las desviaciones estándar tan altas del vacuno. Para el vacuno, las inclinaciones más utilizadas fueron del 15° al 40°, siendo menores para el equino. Ambas especies evitan las inclinaciones superiores a 40°. En cuanto a la exposición (fig. 1C), existe una gran heterogeneidad y mucha variabilidad intraspecífica. Aún así, podemos destacar que el vacuno presentó preferencia por las zonas llanas sin exposición y las expuestas al E, evitando las exposiciones N y S. Las exposiciones más utilizadas fueron NW y W, aunque de forma proporcional a lo disponible, al igual que el equino. Al igual que el vacuno, el equino evitó la exposición S, y prefirió la W. Por último, se encontraron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre ambas especies en relación a las distancias a distintos puntos de agua y sombra (fig. 1D). En todos los casos, las distancias medias del vacuno fueron menores que las del equino.

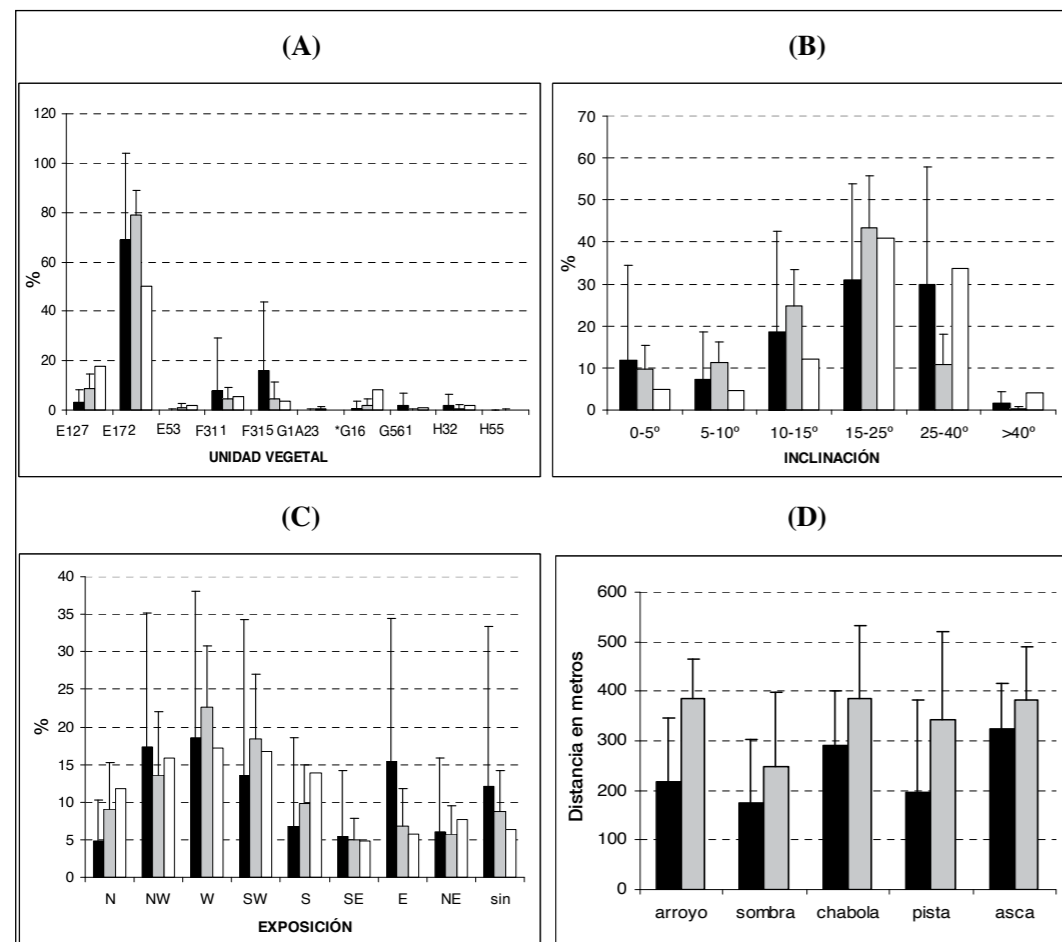


Figura 1. Uso de la vegetación (A), inclinación (B), exposición (C) y distancias a distintos puntos de agua, sombra e infraestructura (D), correspondiente al ganado vacuno (barras en negro) y equino (barras en gris). Las barras en blanco indican la disponibilidad existente en la parte supraforestal del P.N. Aralar. Las barras de error indican la desviación estándar. Unidades de vegetación del gráfico A (código EUNIS): E127= Pastos calcáreos muy secos subatlánticos; E172= Pastos de *Agrostis* y *Festuca*; E53= Helechales de *Pteridium aquilinum*; F311= Matorrales de suelos ricos (zarzales y espinares); F315= Argomales de *Ulex europaeus*; G1A23= Fresnedas pirenaico-cantábricas; *G16= Hayedos neutros pirenaico-cantábricos (basófilos húmedos) y hayedos acidófilos atlánticos (el asterisco indica que es una combinación de dos tipos de hayedos); G561= Matorrales de árboles frondosos; H32= Barrancos y gleras calizas; H55= Zonas quemadas con vegetación abierta o sin vegetación y áreas pisadas.

Los resultados de las RDAs parciales (tabla 1) indicaron que, en el caso del equino, la exposición y el momento del día (mediodía) fueron las variables que explicaron más varianza de forma significativa, aunque la varianza total explicada fue baja (27%) en comparación con el vacuno (53,5% y 60,9%). En el caso del vacuno, la exposición S explicó el 14%, la E el 12%, la W el 12%, la NW el 7% y la SE el 7%. En el caso del equino, la SW explicó el 11,6% las zonas sin exposición el 6%. Las inclinaciones que mejor explicaron el uso del vacuno, fueron las intermedias-altas, pero siempre menos del 10% de la varianza total.

Tabla 1. Análisis de ordenación parciales (RDAs, modelos reducidos), donde intervienen tres matrices: la matriz respuesta (matriz Y), y 2 explicativas (matrices X1 y X2). A: la variación explicada por la matriz de construcción X1, después de ajustar la matriz covariable X2 (en %). B: la variación explicada por la matriz de construcción X2, después de ajustar la matriz covariable X1 (en %). C: la varianza compartida entre ambas matrices (en %). λ_1 : valor propio del primer eje canónico. VTE%: la suma de A+B+C expresada en porcentaje.

Especie	Matriz Y	Matriz X1	Matriz X2	A	B	C	λ_1	F-ratio	p	VTE%	no explicada
Equino	uso vegetación	exposición (SW, sin)	Momento (mediodía)	20,2	9,4	0,0	0,142	6,85	0,003	27,0	73,0
Vacuno	uso vegetación	exposición (S,E,W,NW,SE)	Inclinación 11-25°	41,2	2,3	10,0	0,324	19,32	0,001	53,5	46,5
Vacuno	uso vegetación	exposición (S,E,W,NW,SE)	Inclinación 26-40°	41,6	9,7	9,6	0,318	21,43	0,001	60,9	39,1

DISCUSIÓN

A pesar del alto nivel de solapamiento en el uso de la vegetación entre ambas especies, cuando analizamos el patrón de uso de las comunidades vegetales en mayor detalle, se observan ligeras diferencias principalmente en relación al uso de comunidades de matorrales. Los brezales-argomales fueron más utilizados por el vacuno que por el equino, coincidiendo con lo descrito por otros autores (Menard *et al.*, 2002). El vacuno tiende a utilizar comunidades de brezales-argomales abiertos cuando la altura de la hierba del pasto denso es limitante (al principio y finales del periodo de pastoreo), en busca de hierba alta disponible en los claros herbáceos de dichas comunidades, complementando así su alimentación e ingestión (Mandaluniz, 2003). El equino, sin embargo, es capaz de apurar más la hierba, por lo que insiste más en el uso del pasto denso y el pasto seco (Menard *et al.*, 2002).

La gran variabilidad encontrada en el patrón de uso de las exposiciones e inclinaciones de ambas especies, está directamente relacionada con el ritmo de actividades y la orografía del terreno (Mendizabal, 2009). Resulta difícil interpretar el uso tan alto de pendientes pronunciadas, sobre todo en el caso del vacuno (Cook, 1966). Una posible explicación es que en el P.N. Aralar, al ser el terreno muy abrupto (con mayor disponibilidad de 16°-40° de inclinación que de 0°-15°), los animales irremediamente se ven obligados a desplazarse en altitud y a utilizar laderas inclinadas. En estos casos, los animales pueden recuperar durante los desplazamientos de bajada parte de la energía potencial gastada en la subida. Sin embargo, esta recuperación se vuelve menos eficiente en inclinaciones bajas (Robbins, 1993). Por ello, en el caso del vacuno, las inclinaciones medias (10°-25°) son más utilizadas que las más bajas (0°-5°) o las más altas (<40°) (Mandaluniz, 2003).

En general, se acepta que la actividad de pastoreo del vacuno está más afectada por las características forrajeras de las comunidades vegetales (Senft *et al.*, 1985a), mientras que los factores ambientales afectan sobre el reposo o el desplazamiento (Senft *et al.*, 1985b). El vacuno prefiere comunidades con alto contenido de biomasa herbácea (Menard *et al.*, 2002), pero sus movimientos están condicionados principalmente por la distancia a puntos de agua y la orografía del terreno (Mendizabal, 2009). A diferencia

de los rumiantes, los équidos disponen de incisivos en la mandíbula y la maxila, lo cual les permite pastar a mayor velocidad que los bóvidos en pastos de talla corta, siendo capaces de apurar más a ras de suelo (Menard *et al.*, 2002). Además, parecen estar menos condicionados por la disponibilidad de agua y los factores orográficos. Así mismo, es posible que aunque ambos animales muestren un alto solapamiento en el uso de la vegetación, podrían diferir en el uso de algunas especies vegetales, tal y como sucede en los puertos de montaña pirenaicos (Aldezabal, 1997).

CONCLUSIONES

Aunque el vacuno y el equino hayan mostrado un alto solapamiento en el uso de la vegetación, las variables topográficas y las distancias a puntos de agua, sombra e infraestructuras influyen en mayor medida sobre el vacuno, condicionando su patrón de uso del espacio. Este hecho es muy importante a la hora de predecir las relaciones de competencia entre estas especies domésticas cuando pastan juntas en zonas supraforestales de montaña.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado por los proyectos UPV05/135 y UNESCO05/08, concedidos por la Universidad del País Vasco. Nuestro más sincero agradecimiento a las personas que colaboraron en la toma de datos en campo, en especial a M. Mendizabal y los Guardas del Parque Natural de Aralar (P. Zeberio, J.A. Irastorza, J.A. Roteta).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALDEZABAL A. (1997) *Análisis de la interacción de la vegetación-grandes herbívoros en las comunidades supraforestales del Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido*. Tesis doctoral, Universidad del País Vasco (UPV-EHU), Leioa.
- ALTMANN J. (1974) Observational study of behavior: sampling methods. *Behavior*, **69**, 227-263.
- BAILEY D.W., GROSS J.E., LACA E.A., RITTENHOUSE L.R., COUGHENOUR M.B., SWIFT D.M Y SIMS P.L. (1996) Mechanisms that result in large herbivore grazing distribution patterns. *Journal of Range Management*, **49**, 386-400.
- COOK C. W. (1966) Factors affecting utilization of mountain slopes by cattle. *Journal of Range Management*, **19**, 200-204.
- MANDALUNIZ N. (2003) *Pastoreo del ganado vacuno en zonas de montaña y su integración en los sistemas de producción de la CAPV*. Tesis Doctoral. Universidad de Zaragoza, Zaragoza.
- MENARD K., DUNCAN P., FLEURANCE G., GEORGES J-Y.V. Y LILA M. (2002) Comparative foraging and nutrition of horses and cattle in European wetlands. *Journal of Applied Ecology*, **39**; 120-133.
- MENDIZABAL M. (2009) *Análisis de los factores determinantes del uso de pastos de montaña por herbívoros domésticos y su aplicación en modelos de gestión sostenible para el País Vasco*. Tesis Doctoral. Universidad del País Vasco, Leioa.
- ROBBINS C.T. (1993) *Wildlife feeding and nutrition*. Academic Press. London.
- SENFT R.L., RITTENHOUSE L.R. Y WOODMANSEE R.G. (1985a) Factors influencing patterns of cattle grazing behavior on shortgrass steppe. *Journal of Range Management*, **38(1)**, 82-87.
- SENFT R.L., RITTENHOUSE L.R. Y WOODMANSEE R. G. (1985b). Factors influencing selection of resting sites by cattle on Shortgrass Steppe. *Journal of Range Management*, **38(4)**, 295-299.

Aprovechamiento ganadero de rastrojos de cultivos hortícolas y extensivos en Navarra

The livestock use of extensive and horticultural stubble in Navarra

J.M. MANGADO / P. IRIBARREN

INTIA S.A. Avda. Serapio Huici, 22. Edif. Peritos. 31610 Villava (Navarra). jmangado@intiasa.es

Resumen: En la comarca de la Ribera del Ebro de Navarra coexisten la actividad agrícola de cultivos hortícolas y extensivos en secano y regadío y la actividad ganadera de ovino de carne, en régimen extensivo, que tradicionalmente ha utilizado los rastrojos como fuente alimenticia cubriendo una parte de las necesidades anuales de los rebaños. Ante la diversidad y variabilidad de la oferta y la carencia de datos para estimar su potencial como fuente alimenticia del ganado, se ha optado por estimarla mediante consulta directa a los ganaderos usuarios de estos recursos. Se ha entrevistado a 64 ganaderos y con sus respuestas se ha elaborado el calendario temporal de oferta de recursos con sus posibilidades de complementación y, de forma aproximada, las raciones de mantenimiento que puede ofrecer cada uno de ellos en las condiciones habituales de manejo. Así mismo se aportan datos sobre los problemas asociados al uso de esos recursos y análisis de calidad de los más utilizados.

Palabras clave: régimen extensivo, ración diaria, calendario de pastoreo, calidad, profesionalidad.

Abstract: In the Ebro's riverside region in Navarra coexist several agricultural activities, horticultural and extensive crops in dry and irrigated systems and meat sheep livestock farming in extensive regime. The crops stubbles has traditionally used as a feed source, covering a portion of annual requirements of the flocks. Due to the diversity and variability of supply and the lack of data to estimate its potential as livestock feed source, it was decided to estimate it asking directly to the farmers about these resources. Sixty-four farmers were interviewed and with their answers have been produced a temporal supply resources schedule and complementation possibilities. Moreover, approximately, the maintenance rations that can offer each of them under the usual conditions of use. Likewise, data about the different problems associated to the use of this resources and the quality analysis of the most used are provided.

Key words: extensive regime, daily ration, grazing schedule, quality, professionally.

INTRODUCCIÓN

La Ribera del Ebro de Navarra ha sido una zona de gran tradición de producción agrícola, tanto en secano como en regadío. En las últimas décadas del siglo XX las actuaciones en concentración parcelaria, modernización de regadíos tradicionales y desarrollo de nuevos regadíos han incrementado la superficie irrigada y el tamaño y estructura de las parcelas favoreciendo la mecanización de los cultivos. La situación actual de las superficies agrícolas en esta comarca, por grupos de cultivos y manejo del agua, se presenta en la figura 1 (Gobierno de Navarra, 2011). La sinergia entre las actuaciones anteriores y la presencia en esta comarca de una importante actividad industrial de conservas vegetales y ultracongelados, ha producido el incremento de la superficie hortícola en regadío (fig. 2) potenciando el subsector conservero hasta alcanzar en la actualidad el 13 % de la actividad industrial de toda Navarra y aportando el 3,5 % al PIB de la Comunidad Foral (Cámara Navarra, 2010).

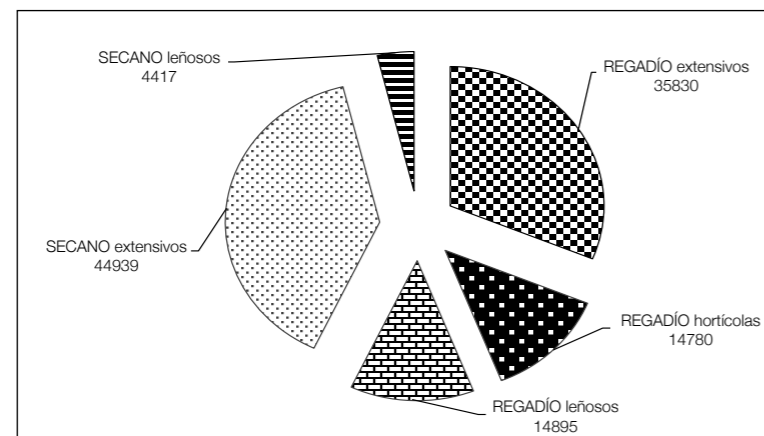


Figura 1. Ríbera del Ebro de Navarra. Superficie agrícola 2010 (ha).

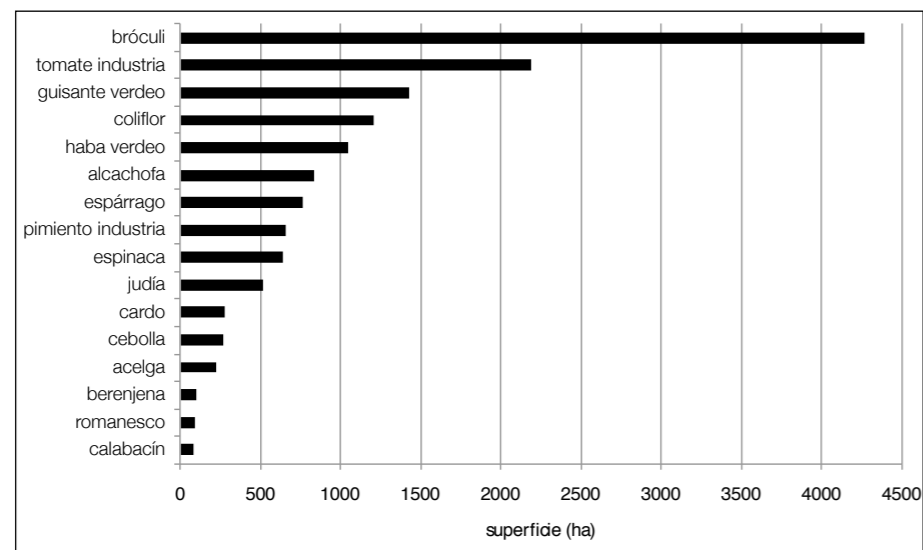


Figura 2. Superficies de cultivos hortícolas en regadío. Ríbera del Ebro de Navarra 2010.

Asociada a la producción agrícola se da una actividad ganadera extensiva basada, en parte, en el aprovechamiento de los rastrojos de los cultivos. Esta actividad ganadera es la de producción de ovino de carne con ovejas de raza “navarra” catalogada como autóctona de fomento, adaptada a las condiciones ambientales del secano semiárido mediterráneo, de gran precocidad sexual, facilidad de parto, prolificidad media, capacidad maternal y sin anestro estacional. Se produce lechal y ternasco, amparados por la IGP “cordero de Navarra” (ITG Ganadero, 2011). La correcta planificación del manejo de las explotaciones ganaderas extensivas precisa cuantificar la oferta pascícola y conocer su estacionalidad. Sobre la cuantificación de la oferta de los rastrojos inciden factores como la mecanización de la cosecha, la apetecibilidad de los diferentes componentes morfológicos que la constituyen y el conocimiento empírico del pastor, siendo cada uno de estos factores de alta variabilidad individual que se incrementa de forma notable con su conjunción.

El objetivo principal de este trabajo es adquirir conocimiento sobre la oferta de recursos pastables de los rastrojos de cultivos hortícolas en regadío y, secundariamente, sobre otros recursos que van asociados indisolublemente a los anteriores para el correcto manejo extensivo de los rebaños de ovino de carne en la Ríbera del Ebro de Navarra.

MATERIAL Y MÉTODOS

Considerando “a priori” la alta variabilidad que presenta la oferta de recursos pastables de los rastrojos se estimó que una forma de aproximación a la cuantificación de su uso ganadero podía ser el preguntarlo a los ganaderos que los utilizan. Para ello se diseñó una encuesta en la que se recogían los datos siguientes: 1.- identificación de la explotación, 2.- características de la persona que responde, 3.- relación de la totalidad de recursos (rastrojos) de los que hace uso a lo largo del año. Para cada uno de los recursos empleados, a) época de aprovechamiento, b) estado fisiológico del ganado (vacío, final gestación, paridas), c) tipo de ración (completa/parcial), d) en el segundo caso, con qué recurso lo complementa (otros rastrojos, forrajes, pienso) y que proporción de la ración estima que cubren, e) número de raciones obtenidas de ese recurso en esas condiciones (n° ovejas * n° días / superficie), f) problemas asociados al uso de ese recurso (afirmativo/negativo sobre seis propuestas), g) descripción de esos problemas, h) comentarios. La encuesta se diseñó para que resultara corta, ágil, y de sencilla mecanización de los datos. Los ganaderos a encuestar fueron los propuestos por los técnicos de asistencia técnica en ovino carne del Instituto Técnico y de Gestión Ganadero (ITG Ganadero). Los criterios de elección de las explotaciones fueron el manejo extensivo, la variedad de recursos que utilizan, grado de confianza en la relación personal, nivel profesional y características humanas, estableciéndose contacto con 68 ganaderos que respondían al perfil buscado. Se evaluaron los rastrojos de 24 cultivos (16 hortícolas, 6 extensivos, 2 otros) que, en función de su manejo, resultan 40 tipos de uso (26 hortícolas, 9 extensivos, 5 otros). Las encuestas se realizaron en los meses de noviembre y diciembre de 2010, procurando hacerlas en campo, durante el aprovechamiento de algún recurso propio de la época. Se tomaron muestras de la oferta pastable, para el análisis de su calidad, simulando lo realmente ingerido por el ganado. Esto es importante dada la heterogeneidad morfológica de la oferta de los rastrojos. La analítica de calidad de la oferta se llevó a cabo en el Laboratorio Agrario de Navarra (NASERSA), siendo los parámetros analizados: materia seca (gravimetría), materia orgánica (gravimetría), proteína bruta (Dumas), fibra bruta (Ankom) y fibra neutro-detergente (Ankom).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De los 68 ganaderos contactados 4 se negaron a ser entrevistados y se descartaron dos de las entrevistas realizadas por baja fiabilidad, quedando una población entrevistada de 62 ganaderos. El total de respuestas válidas de evaluación de recursos pastables es de 331.

Calendario de oferta

En la tabla 1 se presenta el calendario quincenal de la disponibilidad de recursos pastables. La oferta de rastrojos hortícolas se agrupa en otoño-invierno-primavera. En junio solo se encuentra oferta de rastrojos de alcachofa y de guisante de verdeo, ninguno en julio-agosto y, a partir de septiembre, el tomate precoz y las judías. En el grupo de otros cultivos (viña, alfalfa) ocurre algo parecido y la oferta se concentra en invierno. En el grupo de extensivos cabe diferenciar los cereales y leguminosas “de invierno”, que ofertan sus rastrojos en los meses de verano, de los cereales “de verano” que ofertan sus rastrojos en otoño-invierno. A la vista de la tabla se pueden establecer las posibilidades de complementación de recursos, en las diferentes épocas del año, al objeto de conseguir las raciones más equilibradas desde un punto de vista bromatológico.

Tabla 1. Oferta de residuos de cultivos.

		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
hortícolas	acelga												
	alcachofa												
	berenjena												
	brócoli												
	calabacín												
	cardo												
	cebolla												
	coliflor												
	espárrago												
	espinaca												
	guisante verdeo												
	habas verdeo												
	judías												
	pimiento												
romanesco													
tomate													
extensivo	arroz												
	cebada, trigo												
	girasol												
	guisante grano												
	habas grano												
otros	alfalfa												
	viña												

Número y tipo de raciones obtenidas

El estado fisiológico del ganado que utiliza estos recursos es, siempre, vacío y hasta el cuarto mes de gestación, por ello la ración obtenida sobre cada recurso será la necesaria para el mantenimiento de una oveja de 55-60 kg de peso vivo, que es el habitual de ovejas adultas de raza “navarra”, en condiciones de pastoreo.

Tabla 2. Uso ganadero de los recursos pascícolas.

Grupo	Recurso	Ración compl.		Recursos complementarios Tipo	% (1)	n (2)	Raciones/ha	
		SÍ	NO				\bar{x} (3)	CV (4)
hortícolas	acelga		X	lieco, maíz	64±7,5	5	1630	86
	alcachofa	X		---		9	1353	79
	alcachofa		X	lieco, rastrojo, pradera	63±8,8	6	1355	74
	berenjena	X		---		1	1650	
	berenjena		X	maíz, alfalfa	80	1	880	
	brócoli	X		---		7	2076	58
	brócoli		X	maíz, lieco, alfalfa	54±2,4	31	2422	57
	calabacín		X	maíz	80	1	880	
	cardo	X		---		2	1283	99
	cardo		X	maíz, brócoli	50±3,3	8	1842	73
	cebolla		X	lieco	80	1	154	
	coliflor	X		---		3	1690	58
	coliflor		X	maíz, pradera, lieco	56±3,2	17	2624	62
	espárrago	X		---		1	550	
	espinaca	X		---		4	749	71
	espinaca		X	lieco	22±2,5	2	1135	57
	guisante verdeo	X		---		7	776	56
	habas verdeo	X		---		3	642	92
	judías	X		---		5	499	54
judías		X	tomate, maíz	50±0,0	3	931	20	
pimiento	X		---		6	1366	58	
pimiento		X	maíz, alfalfa, lieco	43±4,3	14	1441	74	
romanesco	X		---		1	440		
romanesco		X	maíz, lieco	43±6,7	3	2915	33	
tomate	X		---		10	419	61	
tomate		X	rastrojo, alfalfa, lieco, judía	43±5,3	15	1371	97	
extensivo	arroz		X	alfalfa, pimiento, tomate	67±7,5	2	404	68
	cebada, trigo	X		---		44	200	87
	cebada, trigo		X	tomate, rastrojo legumin.	52±5,1	9	459	103
	girasol	X		---		1	253	
	guisante grano	X		---		1	220	
	guisante grano		X	rastrojo cereal	42±6,0	3	549	84
	habas grano		X	rastrojo cereal	38±6,0	3	533	73
	maíz	X		---		9	594	31
	maíz		X	brócoli, alfalfa, coliflor	49±2,1	40	1019	79
	otros	alfalfa	X		---		6	878
alfalfa			X	maíz, lieco, brócoli, tomate	47±2,8	30	1425	78
viña		X		---		1	220	
viña			X	lieco, rastrojo	48±5,8	14	638	59
viña con uva			X	lieco, rastrojo	45±5,0	2	7000	

(1) porcentaje medio de la ración cubierto por los recursos complementarios ± error estándar

(2) número de casos

(3) raciones medias obtenidas sobre el recurso de referencia en las condiciones de complementación descritas

(4) coeficiente de variación (%)

En la tabla 2 se resume, para cada recurso pascícola, el tipo de raciones obtenidas (completas/parciales), los recursos complementarios en el segundo caso, el porcentaje de ración cubierto por los recursos complementarios, el número de datos recogidos para cada situación, la media de raciones obtenidas sobre el recurso descrito y el coefi-

ciente de variación del dato anterior. Cabe destacar la gran variabilidad de los datos de raciones obtenidas sobre cada recurso (CV>50 en la mayor parte de los casos) consecuencia de la alta heterogeneidad de la oferta y de su manejo, citadas anteriormente. Por ello la información aportada en este trabajo debe tomarse, solamente, como una aproximación a las posibilidades del uso ganadero de estos recursos.

Los rastrojos hortícolas más ampliamente utilizados coinciden con los de los cultivos que ocupan las mayores superficies (brócoli, tomate, coliflor, pimiento). La mayor parte de los rastrojos hortícolas se aprovechan de forma compartida con otros recursos, cubriendo cada uno de ellos el entorno de la mitad de la ración diaria. No obstante, para casi todos ellos se dan casos de uso como ración única. Los recursos complementarios son los que coinciden en el tiempo con el recurso descrito. El recurso más utilizado para el complemento de los rastrojos hortícolas de otoño-invierno es el rastrojo de maíz grano debido a la gran superficie ocupada por el cultivo en la comarca (10 800 ha) y a su larga disponibilidad temporal ya que su recolección abarca desde mediados de septiembre a finales de febrero. Así mismo son ampliamente utilizados los rebrotes de alfalfa (6200 ha en la comarca), tras el corte de otoño, y el rebrote de otoño de los pastizales y “hierbas” existentes en las tierras no agrícolas.

Problemas asociados al pastoreo de rastrojos

- Disponibilidad del recurso. Los agricultores, propietarios de la tierra, la cultivan de forma intensiva, rotando los cultivos con mucha rapidez y presionando para que el aprovechamiento de los rastrojos sea acelerado, lo que puede provocar desequilibrios nutricionales, empachos, enterotoxemias, etc. en el ganado o el despilfarro de los recursos pascícolas. Esto lo han citado como problema el 65 % de los encuestados.
- Patologías, intoxicaciones. Los principales problemas citados son meteorismo sobre alfalfa y otras leguminosas (48%), empacho sobre rastrojo de cereal de invierno-maíz (29%) y timpanismo y enterotoxemia sobre brócoli (24%). El timpanismo en brásicas no resulta lógico por no ser leguminosas. Las brásicas contienen glucosinolatos, compuestos que, tras su hidrólisis en el proceso de rumia, producen isotiocianatos que alteran la absorción de iodo y afectan al desarrollo del tiroides (Cornell University, 2009). También pueden provocar daños en hígado y riñones lo que puede confundir al ganadero, llegándolos a describir como enterotoxemia.
- Alejamiento del lugar habitual de estancia del ganado. Citado como problema en el 21% de los casos.
- Dificultad de acceso (camino estrechos, canales de regadío, poblaciones, etc.). Citado como problema en el 32% de los casos.
- Inundación por crecida de río. Citado como problema en el 32% de los casos.
- Sobreaguas. Es el respeto de 2-3 días sin entrar en las parcelas tras una precipitación. Citado como problema en el 43% de los casos.

Calidad de la oferta pascícola

Como se ha indicado, se aprovecharon los encuentros con los ganaderos para tomar muestras de los recursos pascícolas, simulando lo ingerido por el ganado, y analizar su calidad. En la tabla 3 se presenta la composición química de siete de ellos.

Tabla 3. Composición química de los rastrojos de algunos cultivos.

	materia seca	cenizas	proteína bruta	fibra bruta	fibra neutro detergente
	%	%/ms	%/ms	%/ms	%/ms
Brócoli	14,6	18,4	16,4	12,7	17,3
Coliflor	11,8	21,3	17,1	11,3	17,3
Pimiento	7,8	19,1	18,1	20,5	35,3
Guindilla	22,4	13,7	17,7	24,1	35,2
Espinaca	6,6	17,3	34,6	14,4	28,4
Alfalfa (rebr. otoño)	23,0	11,4	20,1	21,7	34,6
Rastrojo maíz	55,4	4,9	4,6	36,1	69,7

Destacan las diferencias entre los cultivos hortícolas y los dos extensivos (maíz, alfalfa) en materia seca (inferior en las primeras) y cenizas (superior en las primeras). Se puede inferir que estas dos características hacen a las hortícolas más palatables para el ganado y aportando mayor cantidad de minerales. El alto contenido en proteína bruta de la espinaca puede conllevar riesgo de daños hepáticos en su metabolismo, siendo este daño citado por un ganadero. Los bajos contenidos en paredes celulares de las brásicas hacen que sean muy digestibles aunque el tránsito en panza sea muy rápido. Por ello, para normalizar la función de rumia, es muy conveniente la complementación de estos recursos con otros más fibrosos.

CONCLUSIONES

Los rastrojos de cultivos suponen una oferta de recursos alimenticios muy interesante para el ganado manejado en régimen extensivo. La oferta consecutiva de unos y otros cultivos cubre todas las épocas del año, en otoño-invierno-primavera con residuos de cultivos hortícolas, de maíz grano y de alfalfa y en verano con cultivos extensivos (trigo, cebada, guisante, habas). El número de raciones obtenidas en el aprovechamiento ganadero de cada recurso es muy variable y sujeto a factores no controlados por el ganadero. El conocimiento empírico y nivel profesional del ganadero son factores clave para maximizar las raciones obtenidas sobre cada recurso, obteniendo dietas equilibradas y acelerando el proceso de incorporación al suelo de la materia orgánica procedente de los restos de cosecha.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CAMARA NAVARRA (2010). *Navarra en datos. Principales indicadores económicos, demográficos y de empleo*. http://www.camaranavarra.com/userfiles/informacion_economica/A_presentacion
- CORNELL UNIVERSITY (2009). *Plants poisonous to livestock. Glucosinolates*. <http://www.ansci.cornell.edu/plants/toxicagents/glucosin.html#symptoms>
- GOBIERNO DE NAVARRA (2011). Superficies y producciones agrícolas. *Coyuntura agraria*. <http://www.cfnavarra.es/agricultura/COYUNTURA/coyuntura.htm>
- ITG GANADERO S.A. (2011). *La ganadería en Navarra. Pasado y presente*. Pamplona: Ed. Gobierno de Navarra.

Análisis de las variables que influyen en la eutrofización de las explotaciones lecheras en Cantabria

Analysis of the variables influencing eutrophication in Cantabria dairy farms

G. SALCEDO

I.E.S. La Granja, Departamento de Tecnología Agraria. Heras 39792, Cantabria
gregoriosalce@ono.com

Resumen: Este trabajo analiza las variables más relacionadas del impacto ambiental mediante la estimación del potencial de eutrofización (EP, $\text{kg PO}_4^- \text{ ha}^{-1}$) y su predicción en 13 explotaciones lecheras (4 semiintensivas -S- y 9 intensivas -I-) de Cantabria, durante los años 2007 y 2008. Los resultados mostraron mayor EP por hectárea, por tonelada de leche y por UGM en las granjas I ($P < 0,001$), con valores medios para el conjunto de explotaciones de 309, 10,3 y 71 kg respectivamente para los parámetros citados anteriormente. El modelo elegido para estimar el EP considera el *N del purín+fertilizantes* (kg ha^{-1}), la *eficiencia de P_2O_5 de la explotación* (%), el *P_2O_5 comprado en forma de alimentos y fertilizantes* (kg ha^{-1}) y la *leche producida* (kg ha^{-1}). En las granjas I, el *N del purín+fertilizantes*; la *eficiencia*; la *producción de leche* y la *compra de P_2O_5* son las variables más relevantes, mientras que en las granjas S las variables de mayor relevancia son el *N del purín+fertilizante*, la *eficiencia* y la *compra de fertilizantes y alimentos*.

Palabras clave: Impacto ambiental, alimentación, regresión lineal múltiple.

Abstract: This work analyzes the variables related to the environmental impact by estimating the potential for eutrophication potential (EP, PO_4^- , kg ha^{-1}) and its prediction in 13 dairy farms (4 semiintensive -S- and 9 intensive -I-) of Cantabria, in the years 2007 and 2008. The results showed higher EP per hectare, per ton of milk and LSU in the I farms ($P < 0.001$), with mean values for all farms of 309, 10.3 and 71 kg for the parameters above mention, respectively. The model chosen to estimate the EP considers: *N manure + fertilizer* (kg ha^{-1}); *efficiency P_2O_5 of farm*, %; *P_2O_5 as feed and fertilizer purchased*, kg ha^{-1} and *milk* (kg ha^{-1}). In the intensive farm *N manure + fertilizer*, *milk production and purchase of P_2O_5* are the most relevant variables. Meanwhile, in the semiintensive, the *manure + fertilizer*, the *efficiency* and the *purchase of fertilizers and food* are very relevant.

Key words: environmental impact, feeding, multiple linear regression.

INTRODUCCIÓN

La actividad ganadera conlleva un elevado consumo de alimentos por parte de los animales y de fertilizantes, acumulándose parte del N y P en el suelo. Estos compuestos pueden ser arrastrados a los ríos, lagos o emitidos en forma de gases a la atmósfera en un elevado porcentaje. La armonía entre las entradas y salidas de nutrientes en el sistema productivo contribuye a reajustar los desequilibrios nutritivos, ambientales y económicos. A nivel de explotación el surplus es la diferencia entre las entradas de N y P en forma de fertilizantes, alimentos y animales principalmente y las salidas en leche, carne, estiércol y cultivos. La producción animal tiene un importante papel en la eutrofización por N, principalmente NO_x , NH_x , NO_3^- , y sus principales efectos son: a) cambio en la vegetación hacia especies nitrófilas; b) cambios del balance nutritivo en el suelo, poniendo en riesgo la vegetación y c) incrementos de nitrato en aguas profundas por lixiviados (Lekkerkerk *et al.*, 1995). La eutrofización por fósforo

(PO_4^-) causa crecimiento excesivo de algas y plantas superiores. Cuando abundan y tras su muerte, consumen el oxígeno disuelto en el agua, como consecuencia de la degradación microbiana, reduciendo la capacidad de vida de los animales acuáticos. El objetivo de este trabajo es desarrollar modelos de regresión múltiple que estimen el potencial de eutrofización de explotaciones lecheras con diferente sistema de producción en Cantabria

MATERIAL Y MÉTODOS

Trece explotaciones lecheras fueron seleccionadas y clasificadas en función del grado de intensificación: 4 *semiintensivas* (alimentación disociada) y 9 *intensivas* (alimentación unifeed). El número total de animales fue de 1653 UGM; de las cuales, 1040 son vacas lecheras, representado el 1% de la Comunidad Autónoma de Cantabria. Las principales características técnico-productivas de los sistemas estudiados vienen reflejadas en la tabla 1.

Tabla 1. Características técnico-productivas de las explotaciones.

	Intensivas			Semiintensivas		
	Medias	Mín.	Máx	Medias	Mín.	Máx
ST, ha ⁻¹	35,5	15	70	20,7	13	26
SP, ha ⁻¹	20,3	0	34	16,5	4	26
SM, ha ⁻¹	14	0	65	4	5	16
UGM	147	65	300	81	48	123
UGM ha ⁻¹	4,43	1,92	8,04	3,97	2,13	5,95
Nº VL	91	37	172	53	26	90
Leche, L VL ⁻¹ año ⁻¹	11986	7386	16757	9584	6310	15957
Cuota, t ¹	945	365	2050	395	210	566
Forraje, kg MS VL ⁻¹ año ⁻¹	3790	1919	5088	4233	3226	6059
Concentrado, kg MS VL ⁻¹ año ⁻¹	4095	2409	5427	3270	2317	4212
Fertilizante, kg N ha ⁻¹	32	0	133	30	0	92
Fertilizante, kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹	1,26	0	63	2,99	0	96

ST: superficie total; SP: superficie pradera; SM: superficie maíz; UGM: Unidad Ganado Mayor; VL: vacas lecheras

El consumo de alimentos, producción de leche, compra y venta de animales y entrada de fertilizantes fue monitorizada mensualmente durante los años 2007 y 2008. El N y P₂O₅ de alimentos, fertilizantes y compra de animales, N fijado por las leguminosas y el N atmosférico son considerados como entradas y la venta de leche y animales las salidas. La eficiencia como: [(Entradas-Salidas) X 100] / Entradas. Las excretas de N y P fueron estimadas a partir de trabajos previos desarrollados en nave metabólica con vacas lecheras (Salcedo, 2006 y 2007). Las emisiones de NO del estiércol se estimaron según Payraudeau *et al.* (2006). Los coeficientes de caracterización del *potencial de eu-*

trofización son los indicados por Heijungs *et al.* (1992) como: NO_x = 0,13; N = 0,42 y P = 3,06 expresados en kilos de PO₄⁻. El N y P proceden del Surplus en kg ha⁻¹.

Los resultados del balance de N, P₂O₅ y la EP se analizaron mediante un análisis de varianza (ANOVA) de un factor (sistema de producción) con el paquete estadístico SPSS (11,0). Previo al análisis de regresión se realizó una exploración de correlaciones de Pearson entre las variables más influyentes que actúan sobre la variable dependiente a analizar. Más tarde se desarrolló un análisis de regresión paso a paso, diagnosticando el estadístico de colinealidad de las variables independientes utilizando el factor de incremento de la varianza (FIV). Se consideró 10 como factor de corte. Por último, el modelo mejor considerado se analizó para cada uno de los sistemas de producción: “intensivos vs semiintensivos”. Los criterios para seleccionar el modelo fueron: a) que las variables independientes elegidas sean fácilmente medibles, o al menos, se disponga de información en la explotación; b) que las variables independientes elegidas estén señaladas en la literatura como relevantes sobre la “Eficiencia, %”; c) que las variables incluidas en los modelos sean significativas; d) controlar la mayoría de las variables y evitar estimadores sesgados; e) cumplir todas las hipótesis de regresión múltiple; f) que el coeficiente de determinación (R²) sea moderado (<0,2 y >0,5) y el error estándar bajo; g) lograr un bajo grado de multicolinealidad y h) obtener modelos con una máxima capacidad de predicción.

Se estudiaron dos coeficientes diferentes en orden a evaluar el impacto de cada variable independiente en la variable dependiente y la relativa importancia de aquellas variables independientes: a) los coeficientes no estandarizados y b) estandarizados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Balance de N, P y EP

El surplus de N (S_N) para el conjunto de explotaciones es de 435 kg ha⁻¹ año (tabla 2), presentando diferencias entre los sistemas de producción estudiados, aunque en ambos casos el surplus fue superior al observado en explotaciones lecheras de Flandes (238 kg N ha⁻¹, Nevens *et al.*, 2006) y del País Vasco (257 kg N ha⁻¹, del Hierro *et al.*, 2007). También en ambos casos fue inferior a los 502 kg N ha⁻¹ observados en sistemas intensivos del norte de Portugal (Raison *et al.*, 2006). El surplus de P₂O₅ (S_P) para el conjunto de explotaciones es inferior a los 109 kg ha⁻¹ señalados por del Hierro *et al.* (2007) en explotaciones del País Vasco, Galicia y Norte de Portugal y diferentes entre sistemas de producción (tabla 2). La eutrofización potencial por hectárea (EP ha⁻¹); t⁻¹ de leche y UGM⁻¹ estimada es superior en las explotaciones intensivas (tabla 2). La EP estimada en los sistemas lecheros de Cantabria considerados es mayor que los valores publicados por Haas *et al.* (2001) para explotaciones intensivas (54 kg PO₄⁻), extensivas (31 kg PO₄⁻) y ecológicas (14) y 31,4 y 19 en las explotaciones convencionales y ecológicas de Suecia (Caderberg y Mattson, 2000), imputable al mayor grado de intensificación. Los semiintensivos presentan una menor EP por tonelada de leche que los

intensivos (tabla 2), pero superior a 7,5 kg señalado por Basset-Mens *et al.* (2005) en explotaciones convencionales de Suecia y a 6 g señalado por el Boletín de la Federación Internacional Lechera (Bruselas, 2009).

El contenido medio de P en los piensos de las vacas lecheras es de 0,55% y el de la dieta de 0,43% en los intensivos y 0,36% en los semiintensivos. El contenido de N medio de los ensilados de hierba en Cantabria es de 21 g kg⁻¹ MS (Salcedo, 2010), ligeramente superior a 18 g (Sarmiento *et al.*, 1996) también en Cantabria. De la misma forma que puede reducirse el P de los concentrados, se puede incrementar el N de los ensilados (reducirá el surplus de N), porque EP está formada mayoritariamente por el surplus de N y P ha⁻¹.

Tabla 2. Balance de Nitrógeno y Fósforo (kg N y P₂O₅ ha⁻¹ año) y Potencial de Eutrofización (kg PO₄).

	Conjunto		Intensivos		Semiintensivos		P	
	N	P ₂ O ₅	N	P ₂ O ₅	N	P ₂ O ₅	N	P ₂ O ₅
Entradas	587	148	653	162	439	118	***	***
Alimentos	549	147	615	161	400	117	***	***
Salidas	152	80	163	86	125	66	***	***
Surplus	435	68	489	76	314	52	***	***
Eficiencia global, %	27,5	60,7	25,5	55,9	31,8	71	***	***
Potencial de Eutrofización								
NO _x	1,66		1,72		1,5		***	
N	183		205		132		***	
P	92		102		70		***	
EP ha ⁻¹	276		309		203		***	
EP t ⁻¹ leche	9,8		10,3		8,5		***	
EP UGM ⁻¹	64		71		47		***	

P: nivel de significación, *** P<0,001

Tabla 3. Coeficientes de correlación entre el “Potencial de Eutrofización, kg PO₄ ha⁻¹” y las variables independientes ordenadas de mayor a menor.

Variable independiente	kg PO ₄ ha ⁻¹	Variable independiente	kg PO ₄ ha ⁻¹
^a Surplus N, kg ha ⁻¹	0,93**	Leche, kg ha ⁻¹ (4)	0,66**
^a Surplus P, kg ha ⁻¹	0,89**	N ingerido, kg ha ⁻¹ (2)	0,65**
Purín + fertilizante, kg N ha ⁻¹ (1)	0,80**	UGM, ha ⁻¹ (3)	0,65**
P excretado, kg ha ⁻¹ (1)	0,72**	Eficiencia global P, % (5)	-0,65**
N excretado, kg ha ⁻¹ (1)	0,69**	UGM totales (3)	0,64**
Vacas ordeño (3)	0,68**	P ingerido, kg ha ⁻¹ (2)	0,62**
P comprado, kg ha ⁻¹ (2)	0,68**	Eficiencia global N, % (5)	-0,56**
N comprado, kg ha ⁻¹ (2)	0,68**	N explotación, kg ha ⁻¹ (2)	0,42**

(1) Grupo fertilizantes; (2) Grupo alimentos; (3) Grupo carga ganadera; (4) Grupo producción de leche; (5) Grupo eficiencia; **P<0,01; *: no incluida en los modelos por formar parte del método utilizado.

La tabla 3 señala las variables más influyentes sobre la EP, asignándose a diferente grupos: *fertilizantes, alimentos, carga ganadera, producción de leche y eficiencia*. Los modelos desarrollados paso a paso y tomados como candidatos, que incluyen las variables independientes de los diferentes grupos vienen indicados en la tabla 4.

Tabla 4. Desarrollo de diferentes modelos paso a paso con variables de todos los grupos.

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados		Diagnóstico de colinealidad		±	R ²
	B	ET	β	Tolerancia	FIV			
Modelo 1a							56	0,85
Constante	200,8***	13,4						
N Purín + Fertilizante	0,46***	0,01	0,675	-	-			
Eficiencia P	-2,67***	0,13	-0,472	-	-			
Modelo 2a						48	0,89	
Constante	174,5***	11,65						
N Purín + Fertilizante	0,34***	0,018	0,49	0,543	1,84			
Eficiencia P	-2,73***	0,113	-0,48	0,926	1,08			
Leche ha ⁻¹	0,003***	0,00047	0,271	0,574	1,74			
Modelo 3a						43,5	0,91	
Constante	159,5***	10,7						
N Purín + Fertilizante	0,33***	0,016	0,491	0,543	1,84			
Eficiencia P	-2,41***	0,11	-0,426	0,805	1,24			
Leche ha ⁻¹	0,002***	0,00046	0,166	0,435	2,3			
P comprado ha ⁻¹	0,409***	0,050	0,191	0,542	1,84			
Modelo 4a						42,5	0,91	
Constante	157,3***	10,48						
N Purín + Fertilizante	0,34***	0,01	0,50	0,529	1,88			
Eficiencia P	-2,32***	0,11	-0,41	0,763	1,31			
Leche ha ⁻¹	0,002***	0,00045	0,167	0,435	2,3			
P comprado ha ⁻¹	0,78***	0,11	0,367	0,106	9,4			
P ingerido ha ⁻¹	-0,33***	0,089	-0,188	0,115	8,71			

FIV: índice inflación de la varianza; ET: error típico de la estimación; *** P<0,001

El modelo aceptado como candidato para estimar el “Potencial de Eutrofización (kg PO₄ ha⁻¹)” es el [3a] (tabla 4). Las variables utilizadas son fácilmente medibles, los coeficientes de correlación son similares y el error estándar respecto al modelo [4a] son bajos, sin manifestar colinealidad. Las variables “Purín+fertilizante” y “Eficiencia de P, %” aparecen en todos los modelos con un coeficiente β no estandarizado similar al modelo [3a], explicando juntas más del 90% de la variabilidad de la eutrofización potencial por hectárea. El signo negativo del coeficiente no estandarizado de la “Eficiencia de P, %” es debido a la existencia de una relación inversa con la compra de alimentos, principalmente concentrados (tabla 3). De la compra de P y la eficiencia de utilización por parte del animal, dependerá la mayor o menor excreción de P en el

purín, por añadidura PO_4^- . Los coeficientes no estandarizados del modelo [3a] (tabla 4), indican que descensos de 1 kg de N del purín + fertilizantes, puede reducir la EP en 0,33 kg de $\text{PO}_4^- \text{ ha}^{-1}$; aumentos de una unidad porcentual en la eficiencia global del P de la explotación pueden disminuir el EP en 2,41 kg de $\text{PO}_4^- \text{ ha}^{-1}$, incremento de 1 kg de leche producido ha^{-1} y 1 kg de P comprado pueden aumentar el EP en 0,002 y 0,409 kg de $\text{PO}_4^- \text{ ha}^{-1}$ respectivamente.

A partir del modelo [3a] se seleccionó uno para explotaciones intensivas:

$EP = 204,6 (12) + 0,32 (0,018) \text{ kg N purín+fertilizante, ha}^{-1} - 3,41 (0,16) \text{ Eficiencia P} + 0,003 (0,0003) \text{ Leche ha}^{-1} + 0,308 (0,049) \text{ P comprado ha}^{-1}$; $R^2 = 0,94$; $et = 39,8$

y otro para semi-intensivas:

$EP = 37,38 (25,4) + 0,42 (0,24) \text{ kg N purín+fertilizante, ha}^{-1} - 1,23 (0,18) \text{ Eficiencia P} + 1,51 (0,21) \text{ P comprado ha}^{-1}$; $R^2 = 0,93$; $et = 36,7$

Las diferencias en el orden de prioridad para las variables incluidas de cada modelo según el sistema de producción vienen indicadas en la tabla 5. En ambos modelos, la variable que puede descender los kg de PO_4^- , es la “Eficiencia de P” en la explotación, atribuible principalmente a la compra de alimentos. El “N purín+fertilizante” es la primera variable que incrementa la eutrofización potencial por hectárea de la explotación, atribuido al mayor consumo de N alimenticio respecto a las necesidades teóricas de los animales (NRC, 2001) en función de la producción de leche obtenida. El menor coeficiente estandarizado de la variable “Eficiencia de P” en los semi-intensivos es atribuido a la menor dependencia de fósforo alimenticio, como lo corrobora la mayor eficiencia global de la explotación (tabla 2).

Tabla 6. Orden de acción para descender o incrementar la EP, seguido de los coeficientes beta entre paréntesis obtenidos de cada sistema de producción a partir del modelo [3a].

Orden de acción: INTENSIVOS	Incrementa	Decrece
1		Eficiencia P (-0,467)
2	N Purín + fertilizante (0,499)	
3	Leche hectárea (0,268)	
4	Compra de P hectárea (0,17)	
Orden de acción: SEMINTENSIVOS		
1		Eficiencia P (-0,306)
2	N Purín + fertilizante (0,556)	
3	Compra de P hectárea (0,304)	

CONCLUSIONES

La compra de N y P en forma de alimentos representan los mayores *input*. El impacto ambiental estimado a partir del potencial de eutrofización es mayor en las explotaciones lecheras intensivas de Cantabria. Reducir la concentración de P y N en los concentrados y aprovechar la hierba joven para ensilado puede reducir la dependencia

externa, aumentando la eficiencia de la explotación. Se han desarrollado diferentes modelos matemáticos para ser incluidos en los programas de manejo del ganado lechero como una herramienta rápida y rentable.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BASSET-MENS C., LEDGARD S. Y BOYES M. (2009). Eco-efficiency of intensification scenarios for milk production in New Zealand. *Ecol Econ.*, **68**, 1615-1625.
- CEDERBERG C. Y MATTSON B. (2000). Life cycle assessment of milk production - a comparison of conventional and organic farming. *J. of Cleaner Production*, **8**, 49-60.
- DALGAARD T., HEIDMANN T. Y MOGENSEN, L. (2002). Potential N-losses in three scenarios for conversion to organic farming in a local area of Denmark. *European Journal of Agronomy*, **16**, 207-217.
- HAAS G., WETTERICH F. Y KÖPKE U. (2001). Comparing intensive, extensified and organic grassland farming in southern Germany by process life cycle assessment. *Agric. Ecosyst. Environ.*, **83**, 43-53.
- HeijUNGS, R., GUINÉE J. HUPPES G. LANKREIJER R. UDO DE HAES H. WEGENER SLEESWIJK A. ANSEMS A. EGGELS P. VAN DUIN R. Y DE GOEDE H. (1992). *Environmental Life Cycle Assessment of products. Guide and Backgrounds*. Report N° 9266, Centre of Environmental Science (CML), Leiden University, Leiden.
- HIERRO, O., ARTETXE, A. Y PINTO M. 2007. Proyecto Green Dairy: balances de N-P y márgenes económicos a nivel de explotación. En: *Los sistemas forrajeros: entre la producción y el paisaje*, pp 360-366. Vitoria, España: Sociedad Española para el Estudio de los Pastos.
- LEKKERKERK L., HEIJ G. Y HOOTSMANS M. (1995). *Ammonia: the facts*. Report N° 300-06 Dutch priority program on acidification. RIVM, Bilthoven, The Netherlands.
- NEVENS F., VERBRUGGER I. REHEUL K. Y HOFMAN G. (2006). Farm gate nitrogen surpluses and nitrogen use efficiency of specialized dairy farms in Flandes: Evolution and future goals. *Agricultural Systems*, **88**, 142-155.
- PAYRAUDEAU S., VAN DER WERF H. Y VERTES F. (2006). A method for estimating of emissions of nitrogen compounds for a group of farms. *International Journal of Agricultural Resources, Governance and Ecology*, **5** (2-3) 224-246.
- RAISON C., PFLIMLIN A. Y LE GALL A. (2006). Optimisation of environmental practices in a network of dairy farms of the Atlantic Area. Dairy Systems and Environment in the Atlantic Area. *Proceedings of the Final Seminar of the Green Dairy Project*, pp 43-67. Institute of de l'Élevage, Rennes, France.
- SALCEDO DIAZ G. (2006). *Uso sostenible del nitrógeno en la alimentación de vacas lecheras*. Documentos Técnicos de Medio Ambiente. Consejería de Medio Ambiente del Gobierno de Cantabria.
- SALCEDO G. (2007). Efectos del tipo de conservante añadido o no, al ensilado de hierba sobre la excreción de fósforo en novillas de reposición y vacas lecheras. En: *Los sistemas forrajeros: entre la producción y el paisaje*, pp 409-414. Vitoria, España: Sociedad Española para el Estudio de los Pastos.
- SALCEDO DIAZ G. (2010). *Minimización y aprovechamiento del purín en origen de las explotaciones lecheras de Cantabria*. Documentos Técnicos de Medio Ambiente.
- SARMIENTO, M. SALCEDO G. Y GONZÁLEZ L.M. (1997). Calidad de los ensilados de hierba en la Comunidad Autónoma de Cantabria. *Actas de la XXXVI R.C. de la SEEP*. pp. 337-340. La Rioja, España: SEEP.
- SSPS 11 (2002). *Guía para análisis de datos*. Ed. McGraw-Hill.

Efecto de la fecha y del número de parto de las vacas sobre la producción y calidad de la leche en pastoreo

Effect of dairy cows' calving date and parity on milk production and quality at grazing

A. I. ROCA-FERNÁNDEZ^{1*} / A. GONZÁLEZ-RODRÍGUEZ^{1*} / O. P. VÁZQUEZ-YÁÑEZ¹

¹Dpto. de Producción Animal, Centro de Investigaciones Agrarias de Mabegondo (CIAM).
INGACAL. Xunta de Galicia. Apdo. 10 - 15640, A Coruña (España)
^{*}anair@ciam.es, antonio.gonzalez.rodriguez@xunta.es

Resumen: Se ha evaluado durante tres años la producción y calidad de la leche en distintos rebaños de vacas según la fecha, primavera vs. otoño, y el número de parto, primíparas vs. multíparas, en tres períodos de pastoreo en praderas mixtas de gramínea y trébol: (1) primavera-vegetativa; (2) primavera-reproductiva; y (3) verano. Se cuantificó un descenso del 30-35% en la producción de leche en pastoreo en las novillas primíparas de partos de primavera (PN), con un contenido de grasa superior al de las vacas multíparas (PV). Esta diferencia en la producción de leche entre rebaños de partos de otoño, con alimentación similar en pastoreo, fue de un 10-15% menor en las novillas primíparas (OT-N) que en las vacas multíparas (OT-V). En el primer período de pastoreo de primavera, los grupos de partos de otoño produjeron un 22-30% menos de leche que los de partos de primavera. Las diferencias en producción de leche disminuyeron al avanzar la lactación, paralelamente al progreso de la estación de pastoreo, o cuando las vacas recibieron menos concentrado. El control de la composición del rebaño, según la fecha y el número de parto, es un importante punto a tener en cuenta en los sistemas de producción de leche para planificar la alimentación en pastoreo.

Palabras clave: ganado vacuno, primíparas, lactación, parto primavera, pasto.

Abstract: The milk production and quality of different dairy herds according to calving date, spring vs. autumn, and parity, primiparous vs. multiparous, were evaluated during three years in three periods of grass and clover pasture grazing: (1) spring-vegetative; (2) spring-reproductive; and (3) summer. Spring calving primiparous cows (PN) produced 30%-35% less milk, with a higher fat content, than multiparous cows (PV). The difference on milk production of autumn calving cows, with similar feeding conditions at pasture, was 10-15% lower in primiparous cows (OT-N) than in multiparous cows (OT-V). During the first grazing period, autumn calving groups produced 22-30% lower milk than spring calving groups. These differences on milk production were reduced with advancing the lactation, parallel to the progress on the grazing season, or when cows received less concentrate. Controlling the composition of the herd, according to calving date and parity, is an important point to take into account in milk production systems for management of the grassland feeding budget.

Key words: dairy cattle, primiparous, lactation, spring calving, pasture.

INTRODUCCIÓN

Según los resultados de una encuesta realizada en el CIAM (Fernández-Lorenzo *et al.*, 2009), la explotación media de ganado vacuno lechero en Galicia, representativa de más del 85% de su cuota láctea (2,2 M de toneladas anuales), es pequeña (15 ha), está muy dividida (más de 20 parcelas) y presenta un 25% de su superficie arrendada. Posee 20 vacas en ordeño y recría 8 novillas (30% reposición) lo que supone una carga de 2,1 UGM/ha considerando a las vacas secas. El 80% de la SAU se dedica a praderas y un 20% a cultivos, principalmente maíz para forraje. El 66% de los ganaderos afirman dedicar el 60% de sus praderas para el pastoreo de los animales con cifras muy variables, del 90% en las explotaciones pequeñas al 30% en las

más grandes. Aunque la práctica totalidad de las explotaciones lecheras dependen del ensilado y del concentrado para la alimentación de las vacas, esta dependencia se ve incrementada en los últimos años sobre todo en las explotaciones grandes en las que cada vez se dedica más superficie a ensilado de praderas y de maíz. Los valores obtenidos en dicha encuesta son menores que los oficiales, aunque la producción media por explotación de 5300 litros/vaca/año utilizando 1900 kg de concentrado por vaca, lo que supone el uso de 360 gramos de concentrado por litro de leche producido, se aproxima a la media gallega.

Los sistemas de producción de leche predominantes en España muestran una tendencia a la intensificación, incluyendo el Norte húmedo de la Cornisa Cantábrica y Galicia, donde se constata la dificultad de incrementar la base territorial de las explotaciones especializadas en leche. Estas granjas utilizan vacas con una producción media superior a 8200 kg (vaca/año) de leche, a las que se suministra más de 3000 kg de concentrado, y en muchos casos se superan los 400 g de concentrado empleados por litro de leche producido; este tipo de alimentación va en detrimento de la posibilidad que existe de hacer pastoreo en estas regiones (Barbeyto-Nistal y López-Garrido, 2010).

La necesidad de reducir los costes de producción en las explotaciones, dado el bajo precio de la leche y el aumento de costes de los insumos, antes del fin de las cuotas en 2015 nos lleva a considerar la posibilidad, estudiada en el CIAM, de abaratar la recría si se realiza principalmente en pastoreo (González-Rodríguez *et al.*, 2010; Roca-Fernández *et al.*, 2010). La investigación disponible sobre los métodos de manejo para optimizar la productividad del ganado vacuno lechero en pastoreo teniendo en cuenta también la reposición es muy limitada (Hefner, 2000). Con más de 200 días de pastoreo al año disponibles en Galicia, se pueden emplear vacas menos productivas, de 6500 kg (vaca/año) de leche, utilizando dosis moderadas de concentrado, unos 1000 kg (vaca/año), e intervalos de parto próximos al año. Las vacas en pastoreo pueden tener una vida productiva más larga, de 5-6 lactaciones sobre las 2,5 lactaciones de las explotaciones intensivas. Esto supone reducir a la mitad la tasa de reposición anual desde el 40-50% al 20-25%, propia de los sistemas basados en alto consumo de forraje, con un menor coste diario de la ración (Roca-Fernández y González-Rodríguez, 2011). La fecha de parto, entendida como el número de días en leche, y el número de parto, expresado como el porcentaje de vacas primíparas *vs.* multíparas, son importantes factores a considerar en un momento dado según las condiciones de alimentación en pastoreo debido a su repercusión sobre la producción y calidad de leche. En este trabajo se evalúan durante tres años consecutivos la producción y calidad de la leche de distintos rebaños de vacas en pastoreo en función de la fecha de parto, primavera *vs.* otoño, y del número de parto, primíparas *vs.* multíparas.

MATERIAL Y MÉTODOS

Se registró la producción diaria de leche y su calidad, contenido de grasa y proteína, en muestras recogidas semanalmente de distintos grupos de vacas lecheras frisonas

de la cabaña experimental del CIAM en Galicia (NO España) durante las sucesivas lactaciones de tres años consecutivos (2009-2011). Se evaluaron varios rebaños de vacas (tabla 1) según la fecha de parto, primavera *vs.* otoño, y el número de parto, primíparas *vs.* multíparas, durante la estación de pastoreo que dividimos en tres periodos: (1) primavera-vegetativa; (2) primavera-reproductiva; y (3) verano.

Tabla 1. Rebaños de vacas lecheras en pastoreo durante 3 años según fecha y número de parto.

Año (nº rebaños)	Parto (fecha media)	Novillas Primíparas (nº)	Vacas Multíparas (nº)
2009 (5)	Otoño (30-10-2008)	OT-N (n=20)	OT-V4 (n=20) y OT-V0 (n=20)
	Primavera (21-02-2009)	PN (n=15)	PV (n=18)
2010 (4)	Otoño (24-10-2009)	OT-N (n=15)	OT-V (n=15)
	Primavera (11-02-2010)	PN (n=10)	PV (n=14)
2011 (2)	Otoño (23-10-2010)	OT-N (n=12)	OT-V (n=26)

En el año 2009 se estudiaron 5 rebaños independientes en pastoreo rotacional de praderas de raigrás inglés y trébol blanco, con un total de 93 vacas: las 60 de partos de otoño (OT) que pasaron el invierno en establo y se les suministró ensilado de pradera y 5 kg de concentrado (vaca/día) hasta la salida al pastoreo en Marzo. Se distribuyeron entonces en 3 grupos de ensayo: vacas multíparas que recibieron 4 kg de concentrado (vaca/día) (OT-V4), vacas multíparas sin suministro de concentrado (OT-V0) y un grupo de novillas primíparas (OT-N). En este primer año, las 33 vacas de partos de primavera (P) salieron al pasto y se les suministró 6 kg de concentrado (vaca/día) hasta mitad de Mayo, distribuidas en los otros dos grupos: multíparas (PV) y primíparas (PN). Durante el año 2010 se evaluaron 2 grupos de 15 vacas de partos de otoño, multíparas (OT-V) y primíparas (OT-N) en pastoreo conjunto, y otros 2 grupos de partos de primavera, vacas multíparas (PV, n=14) y primíparas (PN, n=10), también pastando juntas para asegurar las mismas condiciones de alimentación. En el año 2011 se distribuyeron en un solo grupo de pastoreo las 38 vacas de partos de otoño, 26 multíparas (OT-V) y 12 primíparas (OT-N). Los datos relativos a calidad del pasto fueron similares en los tres años ensayados. En la tabla 2 se muestran los datos de calidad del pasto de los tres periodos definidos en el segundo año, en el que se establecieron cuatro grupos, con una media de 630 kg de peso para las vacas y de 570 kg las novillas, que recibieron 4 kg de concentrado (vaca/día) durante el primer período de pastoreo hasta mayo. Estos datos se tuvieron en cuenta para modificar el manejo del pasto en consonancia con las condiciones de crecimiento de la hierba.

En los sistemas sostenibles de producción de leche en pastoreo se busca una ración versátil basada en la utilización de los recursos forrajeros existentes en la propia explotación, priorizando el pastoreo como principal fuente de alimentación (Roca-Fernández y González-Rodríguez, 2011). En todos los rebaños ensayados se realizó el mismo manejo de los animales en pastoreo con una altura de entrada de la hierba de

unos 20-25 cm y una salida a unos 4-6 cm. Tras el pico de producción de leche y en el primer tercio de la lactación, si la pradera presenta una buena producción y una calidad de pasto adecuada, se procura reducir o suprimir el concentrado paralelamente a las necesidades de los rebaños en ordeño. Hacia el verano cuando hay restricción de producción y calidad del pasto se recurre a suplementar con ensilado de pradera y/o en menor medida se emplea concentrado.

Tabla 2. Composición química del pasto y del ensilado en los tres períodos de pastoreo en 2010.

Períodos de pastoreo ¹	Pradera de Raigrás-Trébol				Silo de Pradera
	1	2	3	ESM ²	
Materia Seca (MS, %)	16,4 ^a	18,8 ^b	26,2 ^c	1,0	28,0
Proteína Bruta (g/kg MS)	159,5 ^a	141,7 ^b	105,8 ^c	5,6	120
Fibra Ácido Detergente (g/kg MS)	231,4 ^a	312,1 ^b	369,4 ^c	8,1	364
Fibra Neutro Detergente (g/kg MS)	433,3 ^a	543,7 ^b	626,0 ^c	10,6	419
Carbohidratos Solubles en Agua (g/kg MS)	225,6 ^a	140,3 ^b	92,6 ^c	8,2	
Digestibilidad <i>in vitro</i> de la Materia Orgánica (g/kg DM)	802,9 ^a	727,7 ^b	677,5 ^c	7,5	623

¹Períodos de pastoreo: 1) primavera-vegetativa, 2) primavera-reproductiva y 3) verano; ²ESM: Error Standard de la Media; ³Los valores en la misma fila que no comparten la misma letra son significativamente diferentes (p<0,05).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las producciones de leche y las variaciones observadas entre los grupos estudiados para las tres etapas de pastoreo se expresan en la tabla 3. En el año 2009 las diferencias en producción de leche en pastoreo entre vacas multíparas y novillas primíparas de partos de primavera en rebaños independientes alcanzaron el 35%. En ambos casos se suministraron 6 kg de concentrado (vaca/día), manteniendo un peso medio de 650 y 550 kg y una condición corporal media de 3,5 y 3,1, respectivamente. Las novillas primíparas (OT-N) de partos de otoño, con 110 días más en ordeño que los partos de primavera, produjeron hasta un 30% menos que las multíparas (OT-V4), habiendo recibido 4 kg de concentrado (vaca/día), y un 12% menos que las multíparas de otoño (OT-V0), cuando ambos grupos no recibieron concentrado. Ningún grupo mostró pérdidas de peso ni de condición corporal manteniéndose en 610 kg y 3,2 las vacas multíparas y 550 kg y 3,0 las novillas primíparas, respectivamente. En el año 2011, los dos grupos de vacas multíparas y novillas primíparas de partos de otoño mostraron una diferencia de un 7-13% de producción de leche para los tres períodos de pastoreo conjunto sin recibir concentrado.

Tabla 3. Producción y porcentaje de descenso en leche de vacas multíparas (V) y novillas primíparas (N) en rebaños de vacas de partos de primavera (P) y de otoño (OT) durante tres años consecutivos en tres períodos de pastoreo realizados en: 1) vegetativo, marzo a mayo, 2) reproductivo, hasta julio, 3) verano, hasta septiembre.

Año 2009	Producción de Leche kg (vaca/día)					Descenso en Leche (%)				
	Primavera (P)		Otoño (OT)			Primavera (P)		Otoño (OT)		Primavera>Otoño
Época de parto	PV	PN	OT-V4	OT-V0	OT-N	V>N	V4>N	V0>N	Vacas	Novillas
Períodos 1) vegetativo	36,7	25,7	28,2	24,8	21,9	30	22	12	23	15
2) reproductivo	28,7	19,3	22,8	17,1	15,8	33	31	8	20	18
3) verano	23,4	15,2	19,7	15,8	14,0	35	29	11	16	8

Partos de primavera, P (21-02-2009) y de otoño, OT (23-10-2008) en pastoreo independiente de vacas (V) y de novillas (N). Vacas de otoño en dos grupos, sin y con 4 kg/vaca/día de concentrado. Períodos 2009: (1) 70; (2) 70; y (3) 63 días.

Año 2010	Producción de Leche kg (vaca/día)				Descenso en Leche (%)				
	Primavera (P)		Otoño (OT)		Primavera (P)		Otoño (OT)		Primavera>Otoño
Época de parto	PV	PN	OT-V	OT-N	V>N	V>N	V>N	Vacas	Novillas
Períodos 1) vegetativo	36,7	27,2	26,7	21,8	26	18	27	20	
2) reproductivo	29,6	20,5	21,7	17,3	31	20	27	16	
3) verano	25,0	17,9	17,2	15,1	28	12	31	16	

Partos de primavera, P (11-02-2010) y de otoño, OT (24-10-2009) en pastoreo conjunto de vacas (V) y de novillas (N). Períodos 2010: (1) 62; (2) 54; y (3) 72 días.

Año 2011. Partos de otoño	Producción de Leche kg (vaca/día)			Descenso en Leche (%)
	OT-V	OT-N	Media	OTV>OTN
Períodos 1) vegetativo	28,2	26,1	27,3	8
2) reproductivo	22,6	19,7	21,7	13
3) verano	20,2	18,7	19,5	7

Partos de otoño, OT (23-10-2010) en pastoreo conjunto de vacas (V) y de novillas (N). Sin concentrado. Períodos 2011: (1) 65; (2) 57; y (3) 62 días.

En la figura 1 se recoge la producción (a) y calidad (b) de leche en el segundo año del ensayo. Las novillas primíparas de partos de primavera (PN) produjeron un 26% menos de leche que las vacas multíparas (PV) ganando ambos grupos una media de 0,4 kg (vaca/día) de peso, en las mismas condiciones de manejo y alimentación (fig. 1-a). Los grupos de partos de otoño mostraron un 18% de diferencia en producción de leche a favor de las vacas multíparas (OT-V) en comparación con las novillas primíparas (OT-N), ambos grupos con crecimientos similares de 0,9 kg (vaca/día) en pastoreo conjunto. Durante la segunda etapa de pastoreo, a los 4 grupos se les suprimió el concentrado y se aumentó el ensilado de hierba de 2 a 4,5 kg (vaca/día), manteniendo sus pesos iniciales. La producción de leche, siempre más alta en las vacas de partos de primavera, fue cayendo progresivamente hacia el verano en todos los grupos al avanzar la lactación. Los aumentos observados en la producción de leche (fig. 1-a) y en los contenidos de grasa y proteína en leche (fig. 1-b) se deben a la entrada de los animales en parcelas con pasto de alta calidad, con mayor proporción de trébol, siendo las vacas y las novillas muy sensibles a este factor al estar las raciones restringidas en concentrado.

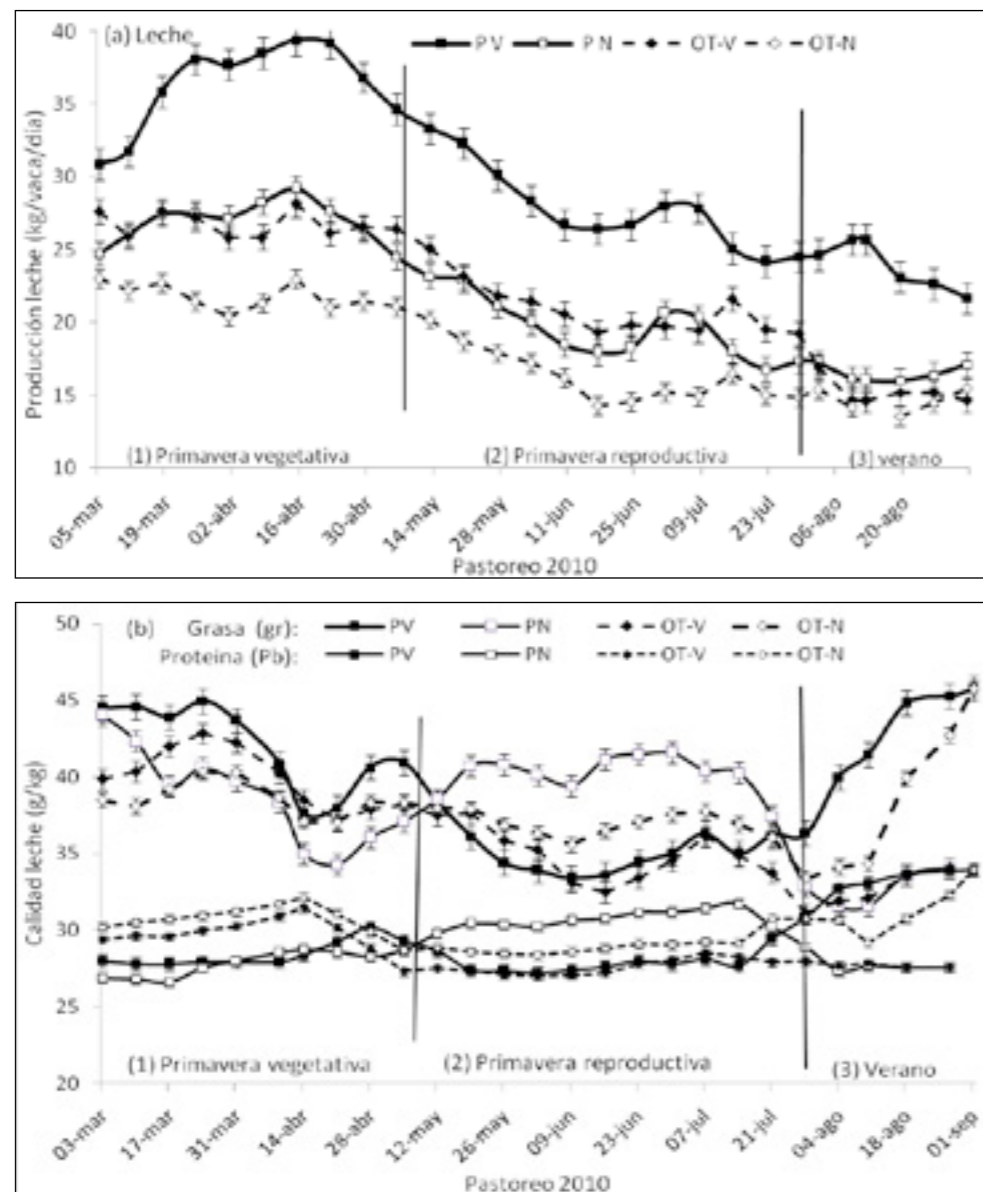


Figura 1. Producción de leche (a), kg (vaca/día), y calidad (b), g/kg, contenido de grasa (gr) y proteína bruta (Pb), en dos rebaños de vacas lecheras de: partos de primavera (P), línea continua, y de otoño (OT), línea discontinua, en pastoreo conjunto de vacas múltiparas (V) y novillas primíparas (N) durante tres períodos de pastoreo de primavera a verano del año 2010.

La calidad de la leche de los grupos en ordeño se vio afectada por la fecha de parto y por el número de parto. Tras los partos de primavera en 2010, los animales salieron al pasto con el máximo de producción de leche coincidiendo con el período (1) de pradera de alta calidad, presentando un alto contenido de grasa en leche (45 g/kg) (fig. 1-b) que fue descendiendo principalmente a partir de Marzo tanto en las vacas (PV) como en las novillas (PN). Estos resultados fueron similares a los obtenidos en el año anterior 2009

partiendo de un nivel de grasa superior (50 g/kg) en las novillas primíparas y con una menor producción de leche que en las vacas múltiparas (tabla 3). En la primera etapa de pastoreo de primavera-vegetativa del año 2010, las vacas múltiparas de partos de otoño produjeron 25 kg de leche (vaca/día) con 36 g de grasa/kg, similar a las novillas primíparas de partos primavera. En el segundo período de pastoreo de primavera-reproductiva al suprimir el concentrado y aumentar la ración de ensilado en todos los grupos, las novillas primíparas presentaron mayor calidad de leche que las vacas múltiparas, 39 y 36 g de grasa/kg y 30 y 28 g de proteína/kg, respectivamente. Al reducirse el crecimiento del pasto en el tercer período de pastoreo en verano, ambos grupos recibieron suplementación con 2 kg de concentrado y 6 kg de ensilado de pradera, presentando las vacas múltiparas de partos de primavera mayor contenido de grasa, 43 vs. 33 g/kg, que las novillas primíparas, al tiempo que en las novillas primíparas de partos de otoño se incrementó el contenido de grasa en leche hasta 45 g/kg al aproximarse su época de secado. En general, los resultados de producción y calidad de leche son un reflejo de la alimentación en pastoreo con concentrado limitado a 1000 kg (vaca/año) para una producción de leche de 7500 kg (vaca/año) en el grupo de partos de primavera.

Los ganaderos que realizan pastoreo en zonas húmedas son conscientes de las diferencias en producción de leche al agrupar los partos, haciendo coincidir la mejor calidad de la pradera con los partos en primavera para tener el primer tercio de la lactación más productivo. En los sistemas de pastoreo es posible tener un intervalo de partos próximo al año y una vida productiva de las vacas más larga que en los sistemas intensivos, 2,5 vs. 5 lactaciones, con un menor índice de reposición, lo que implica un descenso del número de vacas de primer parto, menos productivas, en el rebaño. A pesar de ello los ganaderos no tienen muy en cuenta la formación de grupos de pastoreo, incluso cuando se parte de niveles de reposición elevados, separando las novillas de las vacas para una alimentación diferente, práctica que ahorraría gastos de alimentación. El potencial productivo del animal, considerando el estado de lactación y el número del parto, es un factor que debe condicionar la presión de pastoreo y la suplementación, sobre todo si queremos limitar la dosis de concentrado a emplear. Extrapolando los datos obtenidos, considerando rebaños de vacas de partos de primavera y lactaciones de 7500 litros (vaca/año) con 1000 kg (vaca/año) de concentrado, calculamos que se podrían producir unos 400 kg más de leche por vaca durante la primera mitad de la lactación y unos 250 kg más en la segunda mitad, si se redujera a un 20% la presencia de vacas primíparas en lugar del 40% de reposición habitual de los sistemas más intensivos. Si consideramos un rebaño de partos de otoño con pastoreo de primavera y lactaciones de 6300 kg (vaca/año) con la misma cantidad de concentrado, se podría obtener un incremento de la producción de leche de 260 kg/vaca con solo un 20% sobre un 40% de primíparas en el rebaño. Para los partos de otoño, si las vacas no reciben concentrado y con una lactación de 5600 kg (vaca/año), la diferencia debida a un menor porcentaje de reposición se reduciría a 82 kg/vaca por lactación. La posibilidad de reducir la reposición es un privilegio añadido a los sistemas sostenibles y menos productivos en pastoreo.

CONCLUSIONES

Para planificar la alimentación del ganado vacuno lechero en pastoreo es importante el control de la composición del rebaño en función de la fecha y del número de parto por su repercusión sobre la producción y la calidad de la leche. Las vacas primíparas de partos de primavera mostraron una producción de leche inferior a las multíparas, con niveles de hasta el 30-35% en el primer tercio de la lactación. Las vacas primíparas de partos de otoño, mostraron una producción de leche un 10-15% menor que las multíparas, con alimentación similar en pastoreo. Los grupos de partos de otoño produjeron un 22-30% menos de leche que los de partos de primavera. En los sistemas de producción de leche en pastoreo sería interesante considerar la posibilidad de reducir el número de vacas primíparas existentes en el rebaño, por su menor producción de leche al compararlas con las multíparas, y aumentar la presencia de vacas de partos de primavera, con el fin de ajustar la curva de lactación a la de crecimiento del pasto, para conseguir una mayor producción total de leche por vaca.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARBEYTO-NISTAL F. Y LÓPEZ-GARRIDO C. (2010) *Resultados do Programa de Xestión de Vacún de Leite en Galicia en 2008*. Consellería do Medio Rural. Xunta de Galicia. España. 99 pp.
- FERNÁNDEZ-LORENZO B., DAGNAC T., GONZÁLEZ-ARRÁEZ A., VALLADARES-ALONSO J., PEREIRA-CRESPO S. Y FLORES-CALVETE G. (2009) Sistema de producción de leche en Galicia. Evolución y situación actual. *Pastos*, **39(2)**, 251-299.
- GONZÁLEZ-RODRÍGUEZ A., ROCA-FERNÁNDEZ A.I. Y VÁZQUEZ-YÁÑEZ O.P. (2010) Alimentación de las vacas lecheras en las zonas húmedas españolas. *Ganadería*, **67**, 54-60.
- HEFNER D.L. (2000) Feeding management for cows entering a new herd. *Proceedings Tri-state dairy nutrition conference*. pp. 183-192. Ed. ML Eastridge. FT Wayne USA.
- ROCA-FERNÁNDEZ A.I., GONZÁLEZ-RODRÍGUEZ A. Y, SALVATIERRA-RICO J.A. (2010) Reposición del rebaño lechero: Recría de novillas en pastoreo. En: Calleja A. *et al.* (Eds) *Pastos: Fuente natural de energía*. pp 393-398. Zamora, España - Miranda do Douro, Portugal: Sociedade Española para el Estudio de los Pastos.
- ROCA-FERNÁNDEZ A.I. Y GONZÁLEZ-RODRÍGUEZ A. (2011) O pastoreo mellora o perfil de ácidos graxos do leite e fai as explotacións mais sostibles e competitivas. En: Simón X. y Copena D. (Eds) *Soberanía Alimentaria e Agricultura Ecolóxica. Propostas de acción*. pp 353-371. Vigo, España: Servizo de Publicacións da Universidade de Vigo.

Sistema de apoyo a la toma de decisiones (graze'in) validación externa para ganado vacuno en pastoreo

Decision support system (graze'in) external validation for grazing dairy cattle

A. I. ROCA-FERNÁNDEZ^{1,2*} / R. DELAGARDE^{3*} / L. DELABY³ / M. E. LÓPEZ-MOSQUERA² / A. GONZÁLEZ-RODRÍGUEZ^{1*}

¹Dpto. de Producción Animal. Centro de Investigaciones Agrarias de Mabegondo. INGACAL. Xunta de Galicia. Apdo. 10 - 15640, A Coruña (España)

²IBADER. Universidad de Santiago de Compostela 27002, Lugo (España)

³INRA Agro-Campus Ouest. UMR Production du Lait 1080, 35590 Rennes (Francia)

*anairf@ciam.es, remy.delagarde@rennes.inra.fr, antonio.gonzalez.rodriguez@xunta.es

Resumen: La alimentación del ganado vacuno en pastoreo es la principal vía para reducir los costes de producción en las explotaciones lecheras de regiones húmedas del Arco Atlántico Europeo. Sin embargo, es escasa la aplicación de sistemas productivos basados en el empleo de forrajes frescos en zonas como Galicia debido a la dificultad para una buena estimación de la ingestión de pasto. Determinar esta ingestión y la producción de leche en pastoreo es la base del modelo Graze'In, un sistema de apoyo a la toma de decisiones, surgido a partir del proyecto europeo Grazemore y desarrollado en Francia. En este trabajo se realizó una validación externa del modelo en el CIAM utilizando datos de 4 rebaños (A1, A2, B1 y B2) de vacas (n=72), en pastoreo rotacional de praderas mixtas, con dos estados de lactación (A, inicio o B, final) y dos cargas ganaderas (1, baja o 2, alta). El error de predicción medio fue del 24,2% para la ingesta de pasto y del 12,4% para la producción de leche. Graze'In predijo ambos parámetros de manera realista, lo que ayuda al ganadero a incrementar la confianza en el pastoreo.

Palabras clave: modelización, ingestión de pasto, producción de leche, Grazemore.

Abstract: Grazing dairy cattle is the primary way to reduce production costs on farms of the humid regions from the European Atlantic Arc. However, there is little implementation of milk production systems based on the use of fresh grass in areas such as Galicia due to the difficulty for a good estimate of pasture intake. To determine intake and milk production at grazing is the basis of Graze'In model, a decision support system (DSS) developed in France from the European project Grazemore. In this paper an external validation of the model was performed using CIAM data from 4 herds (A1, A2, B1 and B2) of dairy cows (n=72), under rotational grazing of mixed swards, with two stages of lactation (A, start or B, end) and two stocking densities (1, low or 2, high). The mean prediction error was 24.2% for pasture intake and 12.4% for milk production. Graze'In was able to predict both parameters in a realistic manner, which helps dairy farmer to increase confidence in grazing.

Key words: modeling, pasture intake, milk yield, Grazemore.

INTRODUCCIÓN

Los sistemas de producción de leche con alta dependencia del forraje fresco ofrecen múltiples beneficios socio-económicos y medioambientales. A pesar de ello, la proporción de hierba vs. concentrado en la ración de las explotaciones lecheras del Arco Atlántico Europeo es relativamente baja. Lo que se ve agravado por la baja confianza del ganadero en el pastoreo como la principal fuente de alimentación para reducir los costes de producción (González-Rodríguez *et al.*, 2004). Es esencial el conocimiento del crecimiento del pasto y de la ingestión diaria de hierba por la vaca (interacción pasto-animal), para establecer un adecuado presupuesto forrajero que cubra las necesidades productivas del rebaño a lo largo de toda su curva de lactación.

En anteriores trabajos de investigación se propuso un sistema de apoyo a la toma de decisiones (DSS), financiado por el proyecto europeo Grazemore, en el que participó el Centro de Investigaciones Agrarias de Mabegondo (CIAM) (González-Rodríguez *et al.*, 2005) junto a otros cinco centros de investigación europeos, con el objetivo de fomentar una mayor dependencia de la hierba en la alimentación del ganado vacuno lechero (Mayne *et al.*, 2004). Utilizando este DSS es posible realizar una predicción realista del crecimiento de la hierba, de la ingestión de pasto y de la producción de leche para una amplia gama de condiciones edafo-climáticas y diferentes escenarios de manejo de los rebaños lecheros en pastoreo. Un posterior desarrollo de Grazemore ha sido realizado por el grupo de investigación francés proponiendo el modelo Graze'In (Delagarde *et al.*, 2011a y b; Faverdin *et al.*, 2011). En este ensayo de colaboración nos fijamos el objetivo de realizar una validación externa de Graze'In con datos procedentes de 4 rebaños de vacas de la cabaña lechera del CIAM, en un diseño factorial 2x2, con dos estados de lactación y dos cargas ganaderas. El trabajo presentado forma parte de una recopilación de información, incluida en la tesis doctoral de Roca-Fernández (2011), sobre la capacidad de ingestión de pasto en relación con su calidad nutritiva, la tasa de sustitución (pasto vs. concentrado y/o ensilado), el estado de lactación del animal y diferentes estrategias de manejo del pasto que proporcionen a los productores de leche de zonas húmedas como Galicia una herramienta útil para optimizar la proporción de hierba en la ración.

MATERIAL Y MÉTODOS

Validación Interna de Graze'In. Fue realizada por el grupo de investigación de la Unité Mixte de Recherche en Production du Lait del INRA en Rennes (Francia) para predecir la tasa de crecimiento del pasto, la ingestión de hierba y la producción de leche. Faverdin *et al.* (2011) describieron los modelos de ingestión y de lactación utilizados asumiendo que el potencial productivo del animal, dependiente del genotipo y del estado fisiológico de la vaca, estimula su capacidad de ingestión. Se consideran también los efectos de la edad, el estado de lactación (primíparas vs. multíparas), el peso vivo, la condición corporal y la movilización de las reservas corporales al comienzo de la lactación. Para la predicción de la producción de leche se utiliza una curva teórica de lactación y se tiene en cuenta el balance energético al animal según su estado nutritivo y los requerimientos propios de su estado de lactación. Delagarde *et al.* (2011a) describieron el modelo biológico de ingestión de pasto adaptado a condiciones de pastoreo rotacional/continuo, las características estructurales del pasto, la composición nutritiva de la hierba junto con los niveles de suplementación (silo y/o concentrado).

Validación Externa de Graze'In. Se realizó siguiendo las consideraciones de Delagarde *et al.* (2011b) donde para estimar la ingestión de pasto y la producción de leche se recogieron datos experimentales de las siguientes variables: del pasto (especies dominantes, contenido en proteína, fibras, carbohidratos y digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica, oferta de pasto, disponibilidad diaria de hierba y alturas pre- y post-

pastoreo), del animal (edad, pico de producción de leche, estado de lactación, peso vivo y condición corporal), de la suplementación (cantidad ingerida y valor nutritivo del silo y/o concentrado) y del manejo del pasto (superficie en oferta, carga ganadera, tiempo de permanencia del ganado en cada parcela y número de horas diarias de pastoreo). El tipo de animal usado en todas las simulaciones realizadas por Graze'In poseía las siguientes características: vaca multípara, con un pico potencial de producción de leche de 40 kg, 140 días en ordeño, 52 meses de lactación, 600 kg de peso vivo y 3 de condición corporal (en la escala de 0 a 5). Las praderas estaban constituidas únicamente por raigrás inglés con un contenido en proteína bruta de 180 g/kg de MS y una digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica de 800 g/kg de MS, una oferta de hierba de 2 t MS/ha, una altura pre-pastoreo superior a 5cm y 20 h diarias de acceso del animal al pasto. Los efectos de la suplementación en la ingestión de pasto y en la producción de leche fueron simulados utilizando un concentrado de 1,1 unidades forrajeras de leche (UFL), 110 g de proteínas digeribles en el intestino (PDI) y un contenido en proteína bruta de 180 g/kg de MS y un ensilado de maíz de 0,9 UFL y 68 g de PDI. El rango de valores utilizados para la estima de la ingestión de pasto era de 7 a 22 kg MS (vaca/día) y para la producción de leche de 10 a 40 kg (vaca/día), que resultó amplio según la validación realizada en Francia (Delagarde *et al.*, 2011b). Para las condiciones gallegas, realizamos la validación de Graze'In con datos de un ensayo del CIAM del año 2007 con 4 rebaños de vacas (n=72) Holstein-Friesian en dos estados de lactación (A) inicio (febrero 2007) o (B) final (octubre 2006), y sometidas a dos cargas ganaderas (1) baja (4,0 vacas/ha) o (2) alta (5,2 vacas/ha) en un diseño factorial 2x2. Los grupos pastaron rotacionalmente praderas mixtas (con un 80% de raigrás inglés, 15% de otras especies y 5% de trébol blanco, con una fertilización anual de 136-84-84 kg/ha de N-P₂O₅-K₂O), en parcelas independientes de 0,65 ha, de un área total de 39,3 ha. Los animales fueron suplementados con concentrado (6 y 0 kg MS (vaca/día) al inicio y final de la lactación, respectivamente) y dosis mínimas de silo (60% de hierba y 40% de maíz) (tabla 1).

Procedimiento Estadístico. Para medir la exactitud de la predicción (P) de Graze'In en relación a la ingestión de pasto y la producción de leche observada (O) se utilizó el error de predicción cuadrático medio (MSPE), obtenido a partir de la expresión (Bibby y Toutenburg, 1977): $MSPE = 1/n \sum (O-P)^2 = (O_m - P_m)^2 + S_p^2 (1-b)^2 + S_o^2 (1-R^2)$, donde n es el número de O y P pares de datos comparados; O_m y P_m son las medias de O y P, respectivamente; S_o^2 y S_p^2 son las varianzas de O y P, respectivamente; b es la pendiente de la regresión de O sobre P; R^2 es el coeficiente de determinación de la regresión de O sobre P. Valores positivos o negativos del bias promedio ($O_m - P_m$) nos indican una sobre- o infra-estimación del modelo Graze'In, respectivamente. La línea bias [$S_p^2 (1-b)^2$] representa la desviación de la pendiente de regresión de O sobre P. Una línea bias con valores altos nos indica lo inadecuado que puede resultar el modelo empleado en cuanto a su estructura. El error de predicción medio (MPE) refleja la precisión media de la predicción y se calcula dividiendo la raíz cuadrada del MSPE por el valor actual medio de O_m . Un valor de MPE de 0,10 nos indica que el modelo es capaz de predecir los valores observados con un error del 10%.

Tabla 1. Descripción de la base de datos experimental de ganado vacuno lechero (n=72) recogidos por el CIAM para la validación externa del modelo Graze'In.

	Media	Desviación Típica	Mínimo	Máximo
Ingestión Total (kg MS [vaca/día])	20,3	8,4	7,1	41,0
Hierba (kg MS [vaca/día])	13,9	4,3	7,1	27,3
Silo de Hierba (kg MS [vaca/día])	2,6	4,7	0	16,2
Silo de Maíz (kg MS [vaca/día])	1,7	3,1	0	10,8
Concentrado (kg MS [vaca/día])	2,1	1,9	0	6,0
Producción y Calidad del Pasto				
Oferta Pre-Pastoreo (kg MS/ha)	2.137	1.241	267	6.747
Oferta Post-Pastoreo (kg MS/ha)	726	234	325	1.639
Altura Pre-Pastoreo (cm)	15,3	6,0	5,2	34,2
Altura Post-Pastoreo (cm)	5,9	2,1	4,0	13,5
Materia Seca (%)	19,4	4,1	13,1	35,1
Proteína Bruta (g/kg MS)	139,9	34,4	46,8	220,4
Fibra Ácido Detergente (g/kg MS)	298,6	54,8	200,6	422,0
Fibra Neutro Detergente (g/kg MS)	528,8	78,5	376,6	711,8
Carbohidratos Solubles en Agua (g/kg MS)	156,1	59,4	10,9	282,2
Digestibilidad <i>in vitro</i> Materia Orgánica (g/kg MS)	736,6	5,4	613,4	886,8
Producción de Leche (kg/vaca/día)				
Proteína (g/kg)	22,2	6,2	9,0	33,7
Grasa (g/kg)	30,0	1,4	27,7	33,2
	37,0	2,4	32,5	43,2

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el CIAM, la ingestión media de pasto kg MS (vaca/día) observada para los 4 rebaños de vacas en ordeño fue de 13,9 vs. predicha de 14,0, con un bias promedio de 0,1 (tabla 2). Delagarde *et al.* (2011b) para la validación externa de Graze'In utilizó los datos experimentales procedentes de una recopilación de ensayos independientes realizados con 206 rebaños de vacas en 5 centros de investigación europeos (INRA, n=114; IVVO=44; ARINI, n=30; IGER, n=10; CIAM, n=8) en los que obtuvo una ingestión media de pasto kg MS (vaca/día) observada de 14,4 (con un valor mínimo de 10,0 obtenido en IVVO y máximo de 17,1 en CIAM) vs. predicha de 14,2 (con un valor mínimo de 10,4 obtenido en IVVO y máximo de 15,5 en INRA) para un bias promedio de 0,2 (oscilando desde -3,2 en CIAM a 2,2 en ARINI). Para la relación entre la ingestión de pasto observada y predicha, al aplicar Graze'In a los datos recogidos por el CIAM en 2007 se obtuvo un $R^2=0,40$ inferior al valor promedio de $R^2=0,54$ (mínimo de 0,05 en IGER y máximo de 0,44 en IVVO y CIAM) encontrado por Delagarde *et al.* (2011b). El error de predicción medio (MPE) obtenido por Delagarde *et al.* (2011b) para la ingestión de pasto fue de 0,16 (con un valor mínimo de 0,11 en INRA y máximo de 0,27 en CIAM) inferior éste al obtenido con los datos de 2007 en el CIAM (0,24).

Tabla 2. Ingestión de pasto y producción de leche de 4 rebaños de vacas del CIAM en pastoreo rotacional para la validación externa del modelo Graze'In.

	Observada (O)	Predicha (P)	Bias (O-P)	Regresión de O sobre P (R^2)	MSPE ²	MPE ³
Rebaños¹	... Ingestión de Pasto (kg MS/vaca/día) ...					
A1	14,02	13,63	-0,39	0,31	9,81	0,22
A2	13,96	13,49	-0,47	0,55	21,87	0,33
B1	14,11	14,61	0,50	0,31	3,54	0,13
B2	13,48	14,23	0,75	0,27	11,00	0,25
	... Producción de Leche (kg/vaca/día) ...					
A1	24,03	24,39	0,36	0,61	15,00	0,16
A2	26,41	26,06	-0,35	0,82	4,43	0,08
B1	20,14	19,95	-0,19	0,72	5,93	0,12
B2	17,56	17,88	0,32	0,80	5,82	0,14

¹Rebaños: Estado de lactación (A, inicio o B, final) y Carga ganadera (1, baja o 2, alta); ²MSPE: Error de Predicción Cuadrático Medio; ³MPE: Error de Predicción Medio.

Los valores de producción media de leche kg (vaca/día) de 22,1 vs. predicha de 22,2 observados en el CIAM en 2007 fueron inferiores a los obtenidos por Delagarde *et al.* (2011b) para una producción media de leche kg (vaca/día) de 22,7 (con un valor mínimo de 20,6 obtenido en INRA y máximo de 27,0 en IVVO) vs. predicha de 24,7 (con un valor mínimo de 22,9 en INRA y máximo de 28,2 en IVVO) con un bias promedio de 2,0 (oscilando desde 1,0 en CIAM a 2,4 en ARINI). Para la relación entre la producción de leche observada y predicha, Delagarde *et al.* (2011b) obtuvo un valor promedio de $R^2=0,79$ (mínimo de 0,14 en CIAM y máximo de 0,90 en IGER) similar al obtenido al aplicar Graze'In a los datos del CIAM de 2007 ($R^2=0,80$). El error de predicción medio (MPE) para la producción de leche fue de 0,14 (con un valor mínimo de 0,08 en IGER y máximo de 0,20 en CIAM) similar al del 2007 en el CIAM (0,12).

González-Rodríguez *et al.* (2005) al aplicar el programa Grazemore atribuyeron la mejor predicción para la producción de leche que para la ingestión de pasto a: 1) la medida de la producción de leche está basada en los controles diarios reales realizados a nivel de la explotación; 2) mientras que la determinación de la ingestión de pasto se basa en el empleo de mediciones más esporádicas con diferentes técnicas no muy precisas como el corte de la hierba pre- y post-pastoreo a una determinada altura; 3) el modelo de crecimiento de la hierba está basado en la determinación del forraje inicial, lo que aumentaría los errores cometidos en esta medida previa a cada período de pastoreo. Al comparar los 4 rebaños, se observó que los grupos al inicio de lactación (partos de primavera) presentaron una producción de leche (25,22 vs. 18,85 kg [vaca/día]) y una ingestión total (20,85 vs. 19,71 kg MS [vaca/día]) superior a la de los del final de lactación (partos de otoño). Los grupos de alta carga presentaron una producción de leche (21,94 vs. 22,09 kg/vaca/día) y una ingestión total (20,17 vs. 20,39 kg MS [vaca/día]) ligeramente inferior a la de los de baja carga. Los valores de R^2 (fig. 1) oscilaron

menos para la relación entre producción de leche observada y predicha (0,64 y 0,76) que para la relación entre ingestión total observada y predicha (0,44 y 0,66).

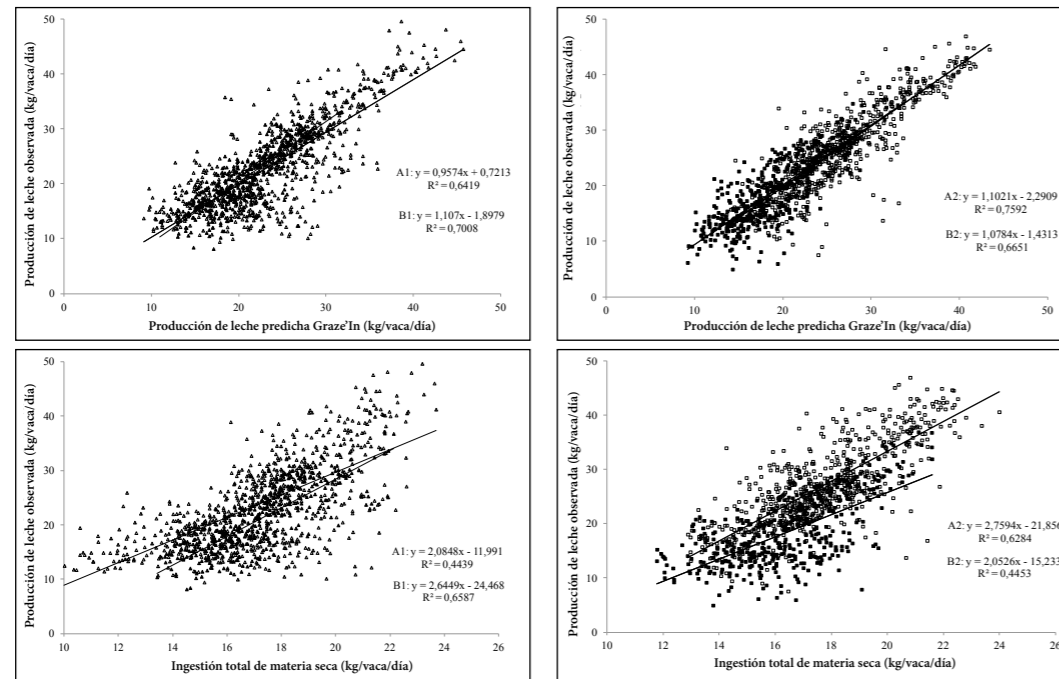


Figura 1. Relación entre la producción de leche observada y predicha (kg/vaca/día) y la ingestión total de materia seca (kg/vaca/día) en vacas de distinto estado de lactación (A, inicio o B, final) y a diferentes cargas ganaderas (1, baja o 2, alta).

Estos datos se contrastaron con un análisis de sensibilidad del programa Grazemore realizado en otro ensayo (Vázquez-Yáñez *et al.*, 2005) donde se compararon tres tipos de manejo del pasto (con una oferta de superficie diaria de pasto de 0,2, 0,3 y 0,5 ha) y tres niveles de suplementación (0, 4 y 8 kg MS [vaca/día] de concentrado), encontrando que el aumento de la superficie en oferta tuvo como consecuencia el incremento en la disponibilidad diaria de hierba y en la ingestión de pasto. Por otra parte, el incremento del nivel de suplementación redujo la ingestión de pasto en un valor dependiente de su disponibilidad. En ambos trabajos encontramos que la utilización del pasto aumentó con su disponibilidad y disminuyó al incrementar el concentrado.

CONCLUSIONES

El modelo Graze'In, surgido como un sistema de apoyo a la toma de decisiones (DSS), predijo de una manera realista la ingestión de pasto y la producción de leche teniendo en cuenta una amplia gama de parámetros de la pradera y del animal y puede servir de ayuda a las explotaciones lecheras europeas para ganar confianza en el pastoreo. La exactitud de la predicción de la ingesta de pasto fue menor que la de la

producción de leche por lo que este modelo debe mejorarse, principalmente en la determinación por procedimientos más adecuados de la interacción entre pasto-animal. Las grandes diferencias en respuesta entre los rebaños sugieren una adaptación del DSS al particular manejo del pastoreo observado (cargas ganaderas y estados de lactación).

AGRADECIMIENTOS

Al INRA por su supervisión durante la aplicación de Graze'In a los datos del CIAM.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BIBBY J. Y TOUTENBURG H. (1977) *Prediction and improved estimation in linear models*. Chapter 1.5.4. London: Wiley.
- DELAGARDE R., FAVERDIN P., BARATTE C. Y PEYRAUD J.L. (2011a) GrazeIn: a model of herbage intake and milk production for grazing dairy cows. 2. Prediction of intake under rotational and continuously-stocked grazing management. *Grass and Forage Science*, **66**(1), 45-60.
- DELAGARDE R., VALK H., MAYNE C.S., ROOK A.J., GONZÁLEZ-RODRÍGUEZ A., BARATTE C., FAVERDIN P. Y PEYRAUD J.L. (2011b) GrazeIn: a model of herbage intake and milk production for grazing dairy cows. 3. Simulations and external validation of the model. *Grass and Forage Science*, **66**(1), 61-77.
- FAVERDIN P., BARATTE C., DELAGARDE R. Y PEYRAUD J.L. (2011) GrazeIn: a model of herbage intake and milk production for grazing dairy cows. 1. Prediction of intake capacity, voluntary intake and milk production during lactation. *Grass and Forage Science*, **66**(1), 29-44.
- GONZÁLEZ-RODRÍGUEZ A., LÓPEZ-DÍAZ J. Y VÁZQUEZ-YÁÑEZ O.P. (2004) Incrementar la confianza en el pastoreo de praderas para la producción de leche. En: García-Criado B. *et al.* (Eds) *Pastos y ganadería extensiva*. pp 237-241. Salamanca, España: Sociedad Española para el Estudio de los Pastos.
- GONZÁLEZ-RODRÍGUEZ A., VÁZQUEZ-YÁÑEZ O.P. Y LÓPEZ-DÍAZ J. (2005) Validación de un sistema de apoyo de decisión en pastoreo (Grazemore) para la producción eficiente de leche en Galicia. En: Osoro-Otadui K. *et al.* (Eds) *Producciones agroganaderas: gestión eficiente y conservación del medio natural*. pp 199-206. Gijón, España: Sociedad Española para el Estudio de los Pastos.
- MAYNE C.S., ROOK A.J., PEYRAUD J.L., CONE J., MARTINSSON K. Y GONZÁLEZ-RODRÍGUEZ A. (2004) Improving sustainability of milk production systems in Europe through increasing reliance on grazed pasture. *Grassland Science in Europe*, **9**, 584-586.
- ROCA-FERNÁNDEZ A.I. (2011) *Sustainable milk production systems in humid areas using farm resources*. Tesis doctoral. Universidad de Santiago de Compostela.
- VÁZQUEZ-YÁÑEZ O.P., GONZÁLEZ-RODRÍGUEZ A. Y LÓPEZ-DÍAZ J. (2005) Determination of optimal grazing management for dairy cows in Galicia (Spain) using a decision support system. *XX International Grassland Congress*. Dublin.

Predicción de la calidad de la dieta del rebeco (*Rupicapra pyrenaica*) mediante NIRS

Suitability of NIRS analysis for estimating diet quality
of pyrenean chamois (*Rupicapra pyrenaica*)

A.L. GÁLVEZ CERÓN^{1*} / E. SERRANO FERRON² / J. BARTOLOMÉ FILELLA¹ /
G. MENTABERRE² / X. FERNÁNDEZ AGUILAR² / L. FERNÁNDEZ SIRERA² /
N. NAVARRO GONZALEZ² / J.R. LÓPEZ OLVERA² / S. LAVÍN² / I. MARCO² / E. ALBANELL¹

¹ Departament de Ciència Animal i dels Aliments, Universitat Autònoma de Barcelona (UAB), E-08193, Bellaterra, Barcelona, Spain.

*ArturoLeonel.Galvez@uab.cat

² Servei d' Ecopatologia de Fauna Salvatge (SEFaS), Departament de Medicina i Cirurgia Animals, Universitat Autònoma de Barcelona (UAB), E-08193, Bellaterra, Barcelona, Spain.

Resumen: Durante más de seis décadas, el nitrógeno fecal (Nf) ha sido un indicador frecuentemente utilizado para estimar la calidad de la dieta de herbívoros salvajes. La gran estabilidad del Nf posibilita el estudio de las variaciones estacionales y espaciales en la calidad de la dieta de ungulados que habitan en ambientes extremos, como el rebeco. Además, el Nf puede predecirse fácilmente mediante ecuaciones NIRS, aunque no existen referencias en las que se aplique dicha técnica. El objetivo del estudio fue desarrollar y evaluar un modelo de regresión NIRS que permita predecir de forma rápida y eficaz la calidad de la dieta del rebeco. Para ello se recolectaron 192 muestras de heces, desde mayo 2009 hasta septiembre 2010, en dos zonas alpinas de la reserva nacional de caza de Freser-Setcases (Pirineo catalán): Costabona y Fontalba. Se analizaron por el método tradicional DUMAS/LECO como método de referencia y se recogió su información espectral en un equipo NIRSystems 5000 (FOSS). Se evaluaron diferentes tratamientos matemáticos para el desarrollo de los modelos de predicción. Puesto que los patrones estacionales de Nf difirieron entre las dos localidades, se comparó la calibración obtenida usando el global de muestras con las calibraciones individuales de cada zona muestreada. Aunque las calibraciones parciales obtenidas mejoran algunos estadísticos, la calibración global obtenida ($R^2=0,97$; $SEC=0,076$; $r^2=0,97$; $SEP=0,109$) es suficientemente robusta, garantizando la predicción adecuada del Nf. Los resultados obtenidos indican que la tecnología NIRS evalúa con exactitud y precisión el contenido en Nf en heces de rebecos.

Palabras clave: calidad nutricional, heces, infrarrojo cercano, ungulados, ecosistema alpino.

Abstract: For more than six decades, Faecal Nitrogen (FN) has been one of the most used proxy for diet quality in wild ungulates. The FN is very stable under environmental conditions, allowing the study of both seasonal and spatial variations of diet quality in extreme seasonal ecosystems. Moreover, FN would be easily predicted by NIRS, but to our current knowledge, no work reports the use of NIRS in the Pyrenean Chamois (*Rupicapra pyrenaica*). The objective of this study was to estimate NF by NIRS by means of 192 faecal samples, collected from May 2009 to September 2010 in two localities (Costabona and Fontalba, both Alpine ecosystems) in the National Hunting Reserve of Freser-Setcases, Catalan Pyrenees (Northwest Spain). NF was first estimated by DUMAS /LECO as reference method and later by NIRSystems 5000 (FOSS). Different mathematical treatments were evaluated for the development of prediction models. Subsequently individual fits were compared to the obtained for the whole sample. Although some statistical parameters were better for the local calibration, the whole fit (i.e., considering both localities at the same time) was accurate enough ($R^2 = 0.97$, $SEC = 0.076$, $r^2 = 0.95$, $SEP = 0.109$) for estimating FN. We can conclude that NIRS is a suitable and accurate tool for predicting FN in Pyrenean Chamois.

Key words: diet quality, faeces, near infrared, ungulates, alpine ecosystem.

INTRODUCCIÓN

Desde mediados de la década de 1930 se ha venido utilizando el nitrógeno fecal (Nf) como uno de los más comunes indicadores de la calidad de la dieta en herbívoros salvajes, especialmente de la concentración de proteína bruta, primero en roedores y luego en otras especies de mamíferos (Schneider, 1935). En la década de

los 40, su uso se extendió a los animales domésticos (Raymond, 1948). Sus principales ventajas radican en que las heces se pueden muestrear en zonas de pastoreo sin tener que extraerlas directamente de los animales, lo cual permite incluir un amplio rango de herbívoros salvajes (Stuth *et al.*, 1999), además el Nf permanece estable en condiciones ambientales durante semanas (Kamler *et al.*, 2003).

Por su parte, la espectroscopía de reflectancia en el infrarrojo cercano (NIRS) se viene usando desde hace años en la determinación de la composición química de heces de herbívoros (Dixon y Coates, 2009), con la ventaja de ser un procedimiento rápido, no destructivo y no contaminante. Este método también se ha utilizado en la determinación de la composición botánica de las dietas de algunos herbívoros domésticos y salvajes (Walker *et al.*, 2002; Glasser *et al.*, 2008; Albanell *et al.*, 2011) e, incluso, en algunos constituyentes de heces humanas (agua, N, grasa y azúcar) en enfermedades relacionadas con alteraciones digestivas (Rivero-Marcotegui *et al.*, 1998). A pesar de que esta técnica se ha utilizado para estimar el Nf en una gran variedad de especies de rumiantes salvajes, p.e. el impala -*Aepyceros melampus*- (Gaidet, 2002), el elefante africano -*Loxodonta africana*- (Greyling, 2004), el ciervo rojo -*Cervus elaphus*- y el corzo -*Capreolus capreolus*- (Kamler *et al.*, 2004), o el ciervo de cola blanca -*Odocoileus virginianus*- (Showers *et al.*, 2006) y domésticos (Alonso *et al.*, 2005), no conocemos aplicaciones de NIRS en ungulados de montaña, como el rebeco (*Rupicapra pyrenaica*).

El objetivo del presente estudio fue desarrollar y evaluar modelos de regresiones NIRS que permitan predecir de forma rápida y eficaz la calidad de la dieta del rebeco.

MATERIAL Y MÉTODOS

En dos zonas alpinas (Costabona y Fontalba) de la reserva nacional de caza de Freser-Setcases (42° 21' N, 2° 09' E., Pirineo catalán) se recolectaron 192 muestras de heces frescas, desde mayo de 2009 hasta septiembre de 2010. El muestreo fue mensual en cada sitio, y se secaron y molieron a 1mm de malla. Se determinó el Nf por el método de combustión DUMAS/LECO, equipo LECO[®] TruSpec N y posteriormente se recogió su información espectral por reflectancia como $\log 1/R$ (R=reflectancia), en un equipo NIRSystems 5000 (FOSS, Hillerød, Dinamarca), que trabaja en el rango de longitudes de onda comprendido entre 1100 y 2500 nm, con un intervalo de 2 mm. Las muestras fueron analizadas por duplicado en cápsulas circulares de 3,5 cm de diámetro, provistas de ventana con cristal de cuarzo. El tratamiento quimiométrico de los datos se realizó usando el programa WinISI III (v. 1.6). Previamente al desarrollo del modelo de calibración, se realizó un pretratamiento matemático de los espectros NIRS, empleando diferentes alternativas: MSC (corrección efecto multiplicativo de dispersión), SNV (variable normal estándar), D (corrección de tendencia) y SNV+D (combinación de los dos anteriores), para corregir los problemas de dispersión múltiple, ópticos y de tendencia respectivamente, y transformados en 1ª, 2ª y 3ª derivada, usando diferentes segmentos de derivación (gap) y de suavizado (smooth).

El método de regresión utilizado para el desarrollo de las calibraciones NIRS fue la regresión por mínimos cuadrados parciales modificados (MPLS). Para la validación de las calibraciones obtenidas, se seleccionaron el 25% de las muestras (las muestras utilizadas para validar no se usaron para calibrar y viceversa). Se utilizaron diferentes estadísticos para la evaluación de la precisión de las ecuaciones obtenidas: coeficiente de determinación de calibración (R^2) y validación (r^2), error estándar de calibración (SEC), de validación cruzada (SECV) y de predicción (SEP). Además, se utilizaron otros estadísticos de gran utilidad para evaluar las ecuaciones de calibración, descritos por Williams y Sobering (1996), como la desviación estándar de los datos de referencia -RPD- (relación entre desviación estándar del grupo de muestras de validación cruzada y el error estándar de predicción), y el rango de error de predicción -RER- (relación entre el rango del método de referencia y el error de predicción).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 1 observamos las características de las muestras de Nf de rebecos, tanto para la zona de Costabona y de Fontalba como para la muestra global (la suma de ambas). Observamos comportamientos de los datos muy parecidos entre las zonas, representando baja variabilidad en el parámetro a predecir.

Tabla 1. Características de las muestras de N fecal de rebecos (*Rupicapra pyrenaica*) utilizadas en el desarrollo de los modelos de predicción NIRS.

Zona geográfica	Calibración				Validación			
	N	Media	Rango	SD	N	Media	Rango	SD
Costabona	59	2,37	1,69 – 3,45	0,40	20	2,44	1,90 – 3,10	0,35
Fontalba	85	2,28	1,53 – 4,10	0,50	28	2,29	1,16 – 3,73	0,62
Global	142	2,34	1,53 – 4,10	0,46	50	2,27	1,62 – 3,49	0,51

N= número de muestras; SD= desviación estándar

Las mejores ecuaciones de calibración obtenidas se seleccionaron sobre la base de maximizar el coeficiente de determinación de la calibración (R^2) y de validación (r^2) y minimizar el SEC y el SEP. En la tabla 2 pueden observarse las mejores calibraciones obtenidas. En el caso de Costabona y Fontalba, se obtuvieron al combinar la 3ª derivada con SNV, y en la calibración general, al combinar la 2ª derivada con el MSC. En las figuras 1 y 2 se representan las mejores regresiones obtenidas para las dos localidades, y en la figura 3 la mejor regresión global, entendidas como la relación entre la predicción NIRS y los datos de nitrógeno fecal de referencia.

Las tres calibraciones propuestas, presentan coeficientes satisfactorios, considerando como buenas calibraciones las que presentan valores de RPD>3 y de RER>10 (Williams y Sobering, 1996). Los estadísticos obtenidos son mejores a los indicados por Alonso *et al.* (2005) en bovinos, ovinos y caprinos en pastoreo extensivo de alta

montaña ($R^2 = 0,96$; $RPD = 1,9$); Gaidet (2002) en impalas ($R^2 = 0,94$; $RPD = 3,2$); Greyling (2004) en elefantes africanos ($R^2 = 0,98$; $SEP = 0,4$); Kamler *et al.* (2004) en ciervos rojos y corzos ($R^2 = 0,97$; $SECV = 1,3$) y Showers *et al.* (2006) en ciervos de cola blanca ($R^2 = 0,97$; $SEP = 1,53$).

Tabla 2. Estadísticos de calibración, validación cruzada y validación externa para la predicción del N fecal de rebecos (*Rupicapra pyrenaica*).

ZONA	Trat. Mat. ^a	Correc. Scatter ^b	Calibración		Validación			Estadísticos	
			R ²	SEC	r ²	SECV	SEP	RPD	RER
Costabona	3,4,4,1	SNV	0,994	0,032	0,979	0,058	0,076	6,90	30,34
Fontalba	3,4,4,1	SNV	0,991	0,049	0,974	0,081	0,105	6,17	31,73
Global	2,4,4,1	MSC	0,974	0,076	0,966	0,084	0,109	5,45	30,60

^aTratamiento matemático: derivada, gap, suavizado 1, suavizado 2; ^bCorrección scatter: SNV= variable normal estándar y MSC= corrección efecto multiplicativo de dispersión; R²= coeficiente de determinación de la calibración; SEC= error estándar de calibración; r² = coeficiente de determinación de validación; SECV= error estándar de la validación cruzada; SEP= error estándar de predicción; RPD= desviación estándar de los datos de referencia; RER= rango error de predicción.

Aunque las calibraciones parciales obtenidas mejoran la mayoría de los estadísticos, la calibración global obtenida ($R^2=0,97$; $SEC=0,076$; $r^2=0,97$; $SEP=0,109$) es suficientemente robusta, garantizando la predicción adecuada del Nf en las heces de rebecos.

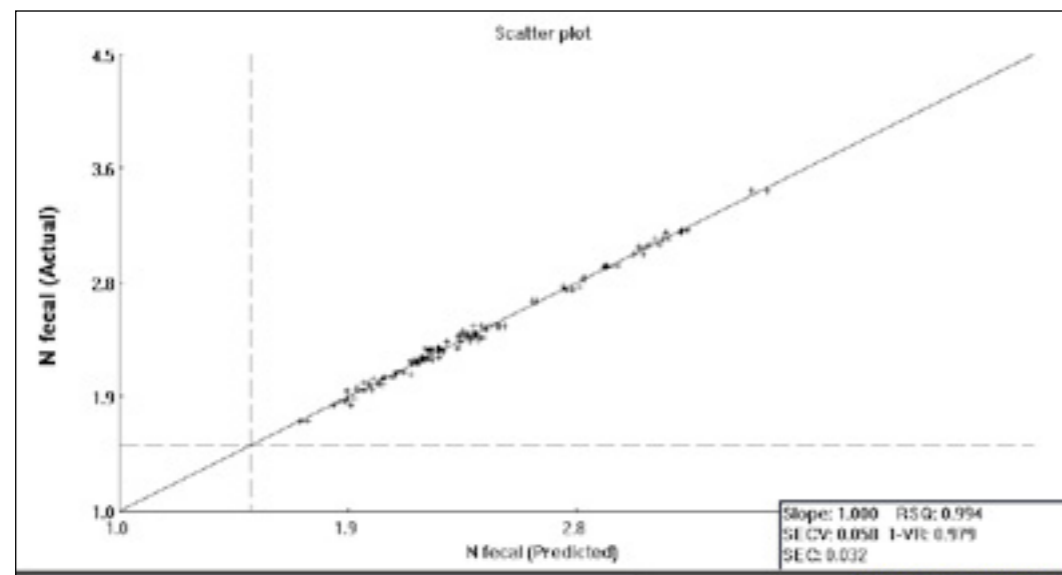


Figura 1. Ajuste de la regresión entre los valores de referencia de Nf y los predichos por NIRS para la calibración desarrollada con las heces procedentes de Costabona.

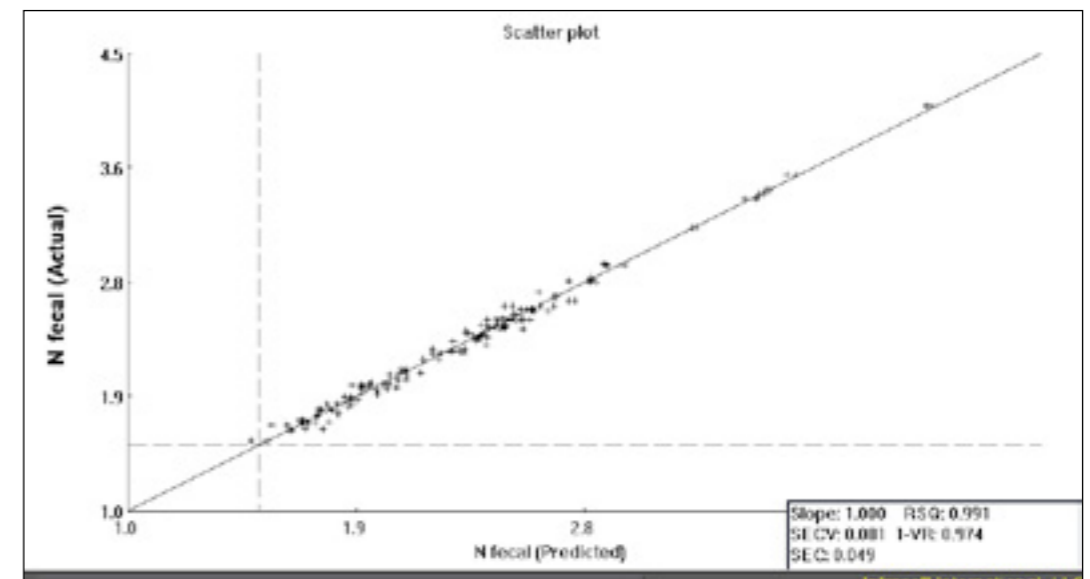


Figura 2. Ajuste de la regresión entre los valores de referencia de Nf y los predichos por NIRS para la calibración desarrollada con las heces procedentes de Fontalba.

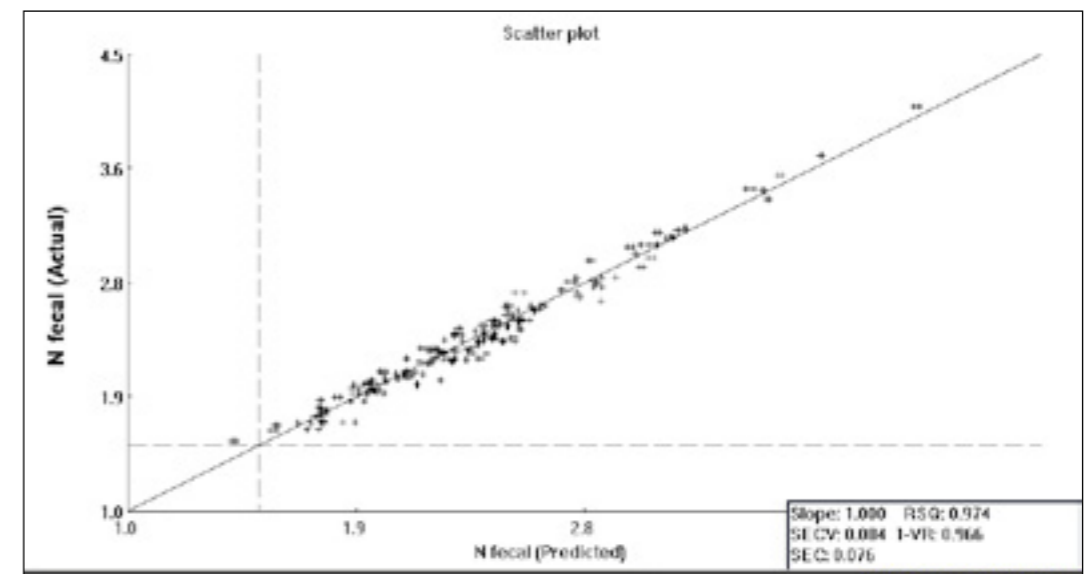


Figura 3. Ajuste de la regresión entre los valores de referencia de Nf y los predichos por NIRS para la calibración global (Costabona + Fontalba).

CONCLUSIÓN

Los modelos de calibración desarrollados mediante espectroscopía de reflectancia en el infrarrojo cercano (NIRS) presentan una exactitud y precisión elevadas, hecho que permite su consideración como aptos para predecir el contenido en N fecal de las heces de rebecos, independiente del lugar de recolección, lo cual facilita la toma de muestras y su posterior procesamiento en el laboratorio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBANELL E., BARTOLOMÉ J., CRISTOBAL I. Y CASSINELLO J. (2011) Predicción de la composición botánica de la dieta de herbívoros silvestres mediante NIRS. En: López-Carrasco C. *et al.* (Eds.) *Pastos, paisajes culturales entre tradición y nuevos paradigmas del siglo XXI*, pp 439-444. Toledo, España: SEEP.
- ALONSO E., IGARZABAL A., OREGUI L.M. Y MANDALUNIZ N. (2005) Estimación del contenido de nitrógeno en heces de rumiantes mediante espectroscopía en el infrarrojo cercano (NIRS). En: De La Roza, B. *et al.* (Eds.) *Producciones agroganaderas: Gestión eficiente y conservación del medio natural*. Vol. II, pp 817-824. Gijón, España: SERIDA.
- DIXON R. Y COATES D. (2009) Review: Near infrared spectroscopy of faeces to evaluate the nutrition and physiology of herbivores. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*, **17**, 1-31.
- GAIDET M.N. (2002) *Etude de la dynamique des populations d'ongulés en zone tropicale: contribution du modèle d'une population exploitée d'impalas (Aepyceros melampus)*. Tesis, Université Claude Bernard, Lyon, Francia.
- GLASSER T., LANDAU S., UNGAR E.D., PEREVOLOTSKY A., DVASH L., MUKLADA H., KABABYA D. Y WALKER J.W. (2008) A fecal near-infrared reflectance spectroscopy-aided methodology to determine goat dietary composition in a Mediterranean shrubland. *Journal of Animal Science*, **86**, 1345-1356.
- GREYLING M.D. (2004) *Sex and age related distinctions in the feeding ecology of the African elephant, Loxodonta Africana*. Tesis, University Witwatersrand, Johannesburg, Sudáfrica.
- KAMLER J., HOMOLKA M. Y KRACMAR S. (2003) Nitrogen characteristics in ungulate faeces: Effect of time of exposure and storage. *Folia Zoologica*, **52**, 31-35.
- KAMLER J., HOMOLKA M. Y CIZMAR D. (2004) Suitability of NIRS analysis for estimating diet quality of free-living red deer, *Cervus elaphus*, and roe deer, *Capreolus capreolus*. *Wildlife Biology*, **10**, 235.
- RAYMOND W.F. (1948) Evaluation of herbage for grazing. *Nature*, **161**, 937-945.
- RIVERO-MARCOTEGUI A., OLIVERA-OLMEDO J.E., VALVERDE-VISUS F.S., PALACIOS-SARRASQUETA M., GRIJALBA-UCHE A. Y GARCÍA-MERLO S. (1998) Water, fat, nitrogen and sugar content in faeces: reference intervals in children. *Clinical Chemistry*, **44**, 1540.
- SCHNEIDER B.H. (1935) The subdivision of the metabolic nitrogen on the faeces of rat, swine and man. *Journal of Biological Chemistry*, **109**, 249-278.
- SHOWERS S.E., TOLLESON D.R., STUTH J.W., KROLL J.C. Y KOERTH B. (2006) Predicting diet quality of white-tailed deer via NIRS fecal profiling. *Rangeland Ecology and Management*, **59**, 300-307.
- STUTH J.W., FREER M., DOVE H. Y LYONS R.K. (1999) Nutritional management of free-ranging livestock. En: Hans-Joachim G. Jung & George C. Fahey Jr. (Eds.) *Proceedings Vth International Symposium on the Nutrition of Herbivores*, pp 696-751. Savoy, USA, American Society of Animal Sciences.
- WALKER J.W., SCOTT D., McCOY K., LAUNCHBAUGH L., FRAKER M.J. Y POWELL J. (2002) Calibrating fecal NIRS equations for predicting botanical composition of diets. *Journal of Range Management*, **55**, 374-382.
- WILLIAMS P.C. Y SOBERING D.C. (1996) How do we do it: a brief summary of the methods we use in developing near infrared calibrations. En: Davis A.M.C. y Williams, P.C. (Eds.) *Near infrared spectroscopy: the future waves*, pp 185-188. Chichester, U.K.: NIR Publications.

Especies toxigénicas del género *Fusarium* presentes en precosecha de maíz forrajero para ensilado en Galicia

Toxicogenic *Fusarium* species in pre-harvest silage maize in Galicia (NW Spain)

M.J. SAINZ¹ / O. AGUÍN² / M.J. BANDE^{1,3} / C. PINTOS² / J.P. MANSILLA²

¹Dpto. Producción Vegetal, Universidad de Santiago de Compostela, Campus Universitario s/n 27002 Lugo. mj.sainz@usc.es

²Estación Fitopatológica do Areiro, Subida a la Robleada s/n, 36153 Pontevedra olga.aguin@depo.es, cristina.pintos@depo.es, pedro.mansilla@depo.es

³Centro de Investigacións Agrarias de Mabegondo, Instituto Galego de Calidade Alimentaria (INGACAL), Apartado 10, 15080 A Coruña. maria.bande@ciam.es

Resumen: En el cultivo de maíz forrajero, todas las partes de la planta pueden verse afectadas por especies de *Fusarium*, que, además de disminuir el rendimiento, pueden producir micotoxinas que persisten en el forraje ensilado y que son perjudiciales para la salud animal. En este trabajo, se identificaron, mediante métodos morfológicos y moleculares, las especies de *Fusarium* presentes en el tallo de híbridos de maíz forrajero cultivados en la provincia de A Coruña. En el momento de corte para ensilado, se detectó una o varias especies de *Fusarium* toxigénicas en todos los híbridos. *F.graminearum*, que produce deoxinivalenol y zearalenona, y un *Fusarium* sp. se encontraron en el 92% y 84% de las muestras, respectivamente.

Palabras clave: *Fusarium graminearum*, híbridos maíz, micotoxinas, tallo maíz, *Zea mays*.

Abstract: In forage maize, all parts of the plant may be affected by *Fusarium* species, which, besides reducing crop yield, can produce mycotoxins that persist in silage and are detrimental to animal health. In this study, we identified, by morphological and molecular methods, the *Fusarium* species present in the stem of forage maize hybrids grown in the province of A Coruña (NW Spain). At time of cutting for silage, one or more toxicogenic *Fusarium* species were detected in all hybrids. *Fusarium graminearum*, which produces deoxynivalenol and zearalenone, and a *Fusarium* sp. were found in 92% and 84% of the samples, respectively.

Key words: *Fusarium graminearum*, maize hybrids, mycotoxins, maize stems, *Zea mays*.

INTRODUCCIÓN

El ensilado de maíz forrajero se ha convertido en un recurso fundamental para la alimentación del ganado vacuno, especialmente el de leche, en Galicia. En 2009, se cultivaron 62 426 ha (37 214 ha en A Coruña y 19 580 ha en Lugo), casi en su totalidad en secano, que produjeron 2 528 334 t en verde (1 618 065 t en A Coruña y 683 342 t en Lugo) (Xunta de Galicia, 2011), lo que representa un 63,7 % de la superficie total cultivada en España y un 57,9% de la producción (MARM, 2010).

Distintas especies del género *Fusarium* son patógenos habituales en el cultivo de maíz, ocasionando menores rendimientos y también pérdidas de calidad del grano debido a que muchos de esos patógenos producen micotoxinas (Wu, 2007). El consumo por el ganado de piensos contaminados por micotoxinas puede tener como consecuencia una menor ingestión del alimento, menores ganancias de peso, mayor incidencia de enfermedades y disminución de la capacidad reproductiva (Binder *et al.*, 2007). Por ello, el conocimiento de las especies de *Fusarium* que pueden afectar al cultivo de maíz

forrajero en cada zona geográfica es importante para predecir los riesgos de contaminación del forraje, fresco o ensilado, por micotoxinas (Dorn *et al.*, 2009). Los grupos de toxinas producidas por diferentes especies de *Fusarium* que se encuentran en maíz son principalmente tricotecenos (T-2 y deoxinivalenol), zearalenona y fumonisinas (Munkvold, 2003). En menor proporción se han detectado moniliformina, beauvericina, enniatinas y fusaproliferina (Jestoi, 2008).

El estudio de la ocurrencia de hongos toxigénicos del género *Fusarium* se ha centrado en los granos del maíz, en los que pueden causar podredumbre *F. verticillioides*, *F. proliferatum*, *F. graminearum*, *F. culmorum*, *F. chlamyosporum*, *F. semitectum*, *F. equiseti*, *F. acuminatum*, y con menos frecuencia *F. heterosporum*, *F. sporotrichioides*, *F. avenaceum* y *F. poae* (Logrieco *et al.*, 2002; Visentin *et al.*, 2010). Todos ellos pueden colonizar también el tallo, causando la muerte prematura de la planta.

En Galicia, Muñoz *et al.* (1990) identificaron a *F. moniliforme* y *F. poae*, seguidas de *F. graminearum* y *F. sambucinum*, como las especies del género más frecuentes en granos producidos en cultivos de maíz de A Coruña y Pontevedra, demostrando además la presencia de zearalenona y deoxinivalenol en un número significativo de muestras. Sin embargo, Butrón *et al.* (2006), en 10 híbridos de maíz cultivados en Pontevedra, encontraron que la especie más frecuente en los granos era *F. verticillioides* y, en menor proporción, *F. proliferatum*, acompañadas de una alta incidencia de fumonisinas, toxinas carcinogénicas que ambas especies producen (Logrieco *et al.*, 2003).

Hojas y tallos del cultivo del maíz han recibido menos atención, a pesar de que algunos estudios indican que están más infectadas por *Fusarium* spp. que los granos (Di Menna *et al.*, 1997). Este hecho es relevante respecto a la posible toxicidad del ensilado de maíz forrajero, ya que, tanto los tricotecenos como la zearalenona y las fumonisinas persisten en el forraje ensilado aunque los propios hongos de *Fusarium* no sobrevivan al proceso de ensilaje (Mansfield y Kuldau, 2007). El objetivo de este trabajo fue determinar cualitativamente las especies de *Fusarium* productoras potenciales de micotoxinas que afectan a plantas (hojas y tallos) de híbridos de maíz forrajero en Galicia.

MATERIAL Y MÉTODOS

Se llevó a cabo un ensayo en una finca de 0,3 ha de una explotación de vacuno de leche situada en Mazaricos (A Coruña, 42°56'42,0"N, 8°57'40,3"W), donde en años anteriores se venía observando que las hojas del cultivo de maíz forrajero para ensilar presentaban manchas que cubrían gran parte de la superficie foliar, sugiriendo la presencia de hongos fitopatógenos. Se diseñó un experimento en bloques al azar con tres repeticiones para evaluar la incidencia de enfermedades fúngicas en 25 variedades de híbridos de maíz forrajero de ciclo corto.

En la primavera de 2011, tras el laboreo, se aplicaron 150 kg N/ha, 175 kg P₂O₅/ha y 250 kg K₂O/ha, que se incorporaron con una labor. Para prevenir gusanos grises y blancos, se hizo un tratamiento con clorpirifos (5 %) y, para el control de vegetación

espontánea, se aplicó un herbicida a base de acetocloro (45 %) y terbutilazina (21,5 %). El 18 de mayo de 2011, en cada bloque, se sembraron tres líneas de 4 m de longitud de cada variedad. La distancia entre dos líneas consecutivas fue de 60 cm y la distancia entre semillas en la línea de 18,5 cm, para obtener una densidad de plantación de 90 000 plantas/ha.

Según los datos climatológicos proporcionados por la estación de Fontecada (A Coruña), perteneciente a la red de estaciones automáticas de la Consellería de Medio Ambiente de la Xunta de Galicia, el verano de cultivo se caracterizó por la falta de precipitaciones, especialmente desde la siembra en mayo hasta julio, con un balance hídrico de -89 L/m², -121 L/m² y -91 L/m² en los meses de mayo, junio y julio, respectivamente. Las temperaturas hasta agosto fueron en general suaves.

Un mes después de la siembra, se inspeccionó todo el ensayo para detectar plantas con algún síntoma de enfermedad en hoja, recogiendo muestras de hojas con decoloración de cinco variedades. Trozos de estas hojas se dispusieron en cámara húmeda, sembrando además fragmentos de hoja en placas Petri con el medio de cultivo Komada, selectivo para especies de *Fusarium* (Komada, 1975), para forzar la esporulación de algunas especies fúngicas. Las placas se incubaron a 24 °C. Las colonias de *Fusarium* obtenidas se repicaron en medio PDA (Patata Dextrosa Agar), selectivo para hongos, para obtener cultivos monospóricos, que sirvieron de base para la identificación morfológica y molecular de especies.

El cinco de octubre de 2011, cuando el grano estaba en estado pastoso, en cada repetición, se cortaron tres plantas de la línea central de 25 de las variedades de maíz, separando hojas y porción de tallo por debajo de la mazorca, que se llevaron al laboratorio para su procesamiento inmediato. Hojas y tallos presentaban manchas amarillentas y pardo-amarillentas, indicando la presencia de patógenos fúngicos. En el laboratorio, trozos de tallo situados a uno-dos cm de los nudos de cada variedad se sembraron en medio Komada. Los aislados obtenidos se sembraron en los medios SNA (Spezieller Nährstoffarmer Agar), recomendado para incrementar la esporulación en el cultivo de *Fusarium*, y PDA.

Las especies de *Fusarium* aisladas en ambos muestreos se identificaron observando características macroscópicas (forma y pigmentación del micelio, velocidad de crecimiento de las colonias) y microscópicas (presencia/ausencia y forma de macroconidios, microconidios y clamidosporas). La identificación morfológica se complementó con la identificación mediante métodos moleculares, realizando un estudio de la región ITS del rDNA y una parte de la secuencia del gen del factor de elongación 1 α (gen EF-1 α) de especies de *Fusarium*. Para ello, se extrajo ADN a partir de micelio en cultivo y se amplificó con los primers ITS1-ITS4 y EF1-EF2, siguiendo los métodos de White *et al.* (1990) y O'Donnell *et al.* (2000), respectivamente. Los productos amplificados se secuenciaron en un equipo ABI PRISM 3130, comparando las secuencias obtenidas con las depositadas en el GenBank (NCBI, 2011) y en la base de datos de *Fusarium* del Broad Institute (2011). La identificación molecular de una especie se aceptó cuando el porcentaje de identidad de secuencia fue superior al 98%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En todas las muestras de hojas sintomáticas tomadas un mes después de la siembra, se detectó la presencia de especies de *Fusarium* (tabla 1). En una variedad se encontraron dos especies de *Fusarium* (*F. cerealis* y *F. oxysporum*) y en las otras cinco sólo una: *F. graminearum*, *F. oxysporum* o *F. sporotrichoides*.

Tabla 1. Especies de *Fusarium* detectadas en híbridos de maíz cultivados en Mazaricos (A Coruña) un mes después de la siembra.

Especies de <i>Fusarium</i>	Variedad de maíz híbrido				
	Mas 23.B	Mamilla	Stern	Gladi	Josquin
	<i>F. cerealis</i>	<i>F. oxysporum</i>	<i>F. sporotrichoides</i>	<i>F. graminearum</i>	<i>F. sporotrichoides</i>
	<i>F. oxysporum</i>				

En el momento de cosecha, el 100% de las variedades de maíz presentaron tallos infectados por una o varias especies de *Fusarium*. Considerando todo el material analizado, se detectaron siete especies. Las de más prevalencia fueron *F. graminearum* y una especie (*Fusarium* sp.) no detectada previamente en España (tabla 2), cuya identificación está pendiente de confirmar. En menor proporción se encontraron *F. oxysporum* y *F. cerealis*, y en solo una ó dos variedades de maíz *F. arthrosporioides*, *F. avenaceum* y *F. sporotrichoides*. La mayoría de estas especies no habían sido detectadas con anterioridad en maíz en Galicia.

Tabla 2. Especies de *Fusarium* detectadas y prevalencia de cada una en 25 híbridos de maíz cultivados en Mazaricos (A Coruña) en el momento de corte para ensilado.

Especies de <i>Fusarium</i>	Prevalencia (%)
<i>F. graminearum</i>	92
<i>Fusarium</i> sp.	84
<i>F. oxysporum</i>	28
<i>F. cerealis</i>	16
<i>F. arthrosporioides</i>	8
<i>F. sporotrichoides</i>	8
<i>F. avenaceum</i>	4

En más de la mitad de los tallos analizados, se encontraron dos o más especies de *Fusarium*. *Fusarium graminearum* se encontró asociado a *Fusarium* sp. en 13 variedades, y en un número menor a *F. arthrosporioides*, *F. avenaceum*, *F. cerealis* y *F. oxysporum*. En los tallos de cuatro variedades se detectaron tres especies: *F. graminearum* y *Fusarium* sp. asociadas a *F. avenaceum* (var. Marcello) ó *F. cerealis* (var. Phileaxx) ó *F.*

oxysporum (var. DK 315 y Jennifer), y en una variedad (Columbia) cuatro: *F. graminearum*, *Fusarium* sp., *F. oxysporum* y *F. sporotrichoides*. Todas las especies identificadas son toxigénicas. *Fusarium graminearum* produce zearalenona y deoxivalenol (Logrieco *et al.*, 2002). Su alta prevalencia indica la posible presencia de estos tricotecenos en el forraje de la mayoría de las variedades estudiadas. Se ha demostrado que el nivel de deoxivalenol está directamente correlacionado con la presencia de *F. graminearum* (Visenti *et al.*, 2010).

Fusarium oxysporum produce beauvericina, enniatinas, fumonisinas, fusaproliferina y moniliformina (Leslie y Summerell, 2006; Dorn *et al.*, 2009), mientras que *F. cerealis* se ha encontrado frecuentemente asociada a la presencia de nivalenol y fusarenona-X, dos tricotecenos de estructura próxima al deoxinivalenol, en granos de maíz (Logrieco *et al.*, 2002). La fusarenona-X es más tóxica que el nivalenol, y éste es más tóxico que el deoxinivalenol. En cuanto a las especies de menor prevalencia, *F. arthrosporioides* y *F. avenaceum* pueden producir moniliformina, beauvericina y enniatinas (Golinski *et al.*, 1996; Logrieco *et al.*, 2002) y *F. sporotrichoides* produce T-2 (Visentin *et al.*, 2010), una de las toxinas más potentes producidas por el género, beauvericina, enniatinas, fusaproliferina y moniliformina (Dorn *et al.*, 2009).

En trabajos recientes, se han encontrado algunas diferencias de severidad entre algunos cultivares para la podredumbre de mazorca causada por *F. graminearum* (Löffler *et al.*, 2010), *F. verticillioides* (Clements *et al.*, 2004; Löffler *et al.*, 2010) y *F. proliferatum* (Robertson-Hoyt *et al.*, 2006). Sin embargo, en ciertas localidades, las condiciones climatológicas (sobre todo de estrés) la afectan enormemente, de manera que genotipos que muestran menor severidad en una localidad en otra están severamente afectados. Esto dificulta la posibilidad de hacer selección de cultivares por su resistencia a especies de *Fusarium* que causan podredumbre de mazorca. No hay estudios de resistencia de híbridos de maíz a la podredumbre del tallo causada por *Fusarium*.

CONCLUSIONES

La presencia de especies toxigénicas de *Fusarium* en tallos de 25 híbridos de maíz forrajero cultivados en la provincia de A Coruña, frecuentemente dos ó más por tallo, indica que los ensilados podrían presentar varias micotoxinas, algunas muy tóxicas, que podrían no solo disminuir la producción de forraje sino tener efectos negativos en la salud animal. La alta incidencia de *Fusarium graminearum* aconseja el análisis de micotoxinas, particularmente dioxinivalenol y zearalenona, en ensilados de maíz forrajero en Galicia para garantizar que no superan los límites impuestos en alimentación animal por la Unión Europea.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Ana García Servia y a Carmela Menduña Santomé su asistencia técnica en el procesado de muestras.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BINDER E.M., TAN L.M., CHIN L.J., HANDL J. Y RICHARD A. (2007) Worldwide occurrence of mycotoxins in commodities, feeds and feed ingredients. *Animal Feed Science and Technology*, **137**, 265-282.
- BROAD INSTITUTE (2011) *Fusarium* comparative database. En: http://www.broadinstitute.org/annotation/genome/fusarium_group/MultiHome.html (último acceso: diciembre 2011).
- BUTRÓN A., SANTIAGO R., MANSILLA P., PINTOS-VARELA C., ORDÁS A. Y MALVAR R.A. (2006) Maize (*Zea mays* L.) genetic factors for preventing fumonisin contamination. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **54**, 6113-6117.
- CLEMENTS M.J., MARAGOS C.M., PATAKY J.K. Y WHITE D.G. (2004). Sources of resistance to fumonisin accumulation in grain and *Fusarium* ear and kernel rot of corn. *Phytopathology*, **94**, 251-260.
- DI MENNA M.E., LAUREN D.R. Y HARDACRE A. (1997) *Fusarium* and *Fusarium* toxins in New Zealand maize plants. *Mycopathologia*, **139**, 165-173.
- DORN B., FORRER H.R., SCHÜRCH S. Y VOGELGSANG S. (2009) *Fusarium* species complex on maize in Switzerland: occurrence, prevalence, impact and mycotoxins in commercial hybrids under natural infection. *European Journal of Plant Pathology*, **125**, 51-61.
- GOLINSKI P., KOSTECKI M., LASOCKA I., WISNIEWSKA H., CHELKOWSKI J. Y KACZMAREK Z. (1996) Moniliformin accumulation and other effects of *Fusarium avenaceum* (Fr.) Sacc. on kernels of winter wheat cultivars. *Journal of Phytopathology*, **144**, 495-499.
- JESTOI M. (2008) Emerging *Fusarium*-mycotoxins fusaproliferin, beauvericin, enniatins, and moniliformin - a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, **48**, 21-49.
- KOMADA H. (1975). Development of a selective medium for quantitative isolation of *Fusarium oxysporum* from natural soil. *Review of Plant Protection Research*, **8**, 114-125.
- LESLIE J.F. Y SUMMERELL B.A. (2006) *The Fusarium Laboratory Manual*. Hoboken, NJ, USA: Blackwell Publishing.
- LÖFFLER M., KESSEL B., OUZUNOVA M., Y MIEDANER T. 2010. Population parameters for resistance to *Fusarium graminearum* and *Fusarium verticillioides* ear rot among large sets of early, mid-late and late maturing European maize (*Zea mays* L.) inbred lines. *Theoretical and Applied Genetics*, **120**, 1053-1062
- LOGRIECO A., RIZZO A., FERRACANE R. Y RITIENI A. (2002) Occurrence of beauvericin and enniatins in wheat affected by *Fusarium avenaceum* head blight. *Applied and Environmental Microbiology*, **68**, 82-85.
- LOGRIECO A., BOTTALICO A., MULE G., MORETTI A. Y PERRONE G. (2003) Epidemiology of toxigenic fungi and their mycotoxins for some Mediterranean crops. *European Journal of Plant Pathology*, **109**, 645-667.
- MANSFIELD M.A. Y KULDAU G.A. (2007) Microbiological and molecular determination of mycobiota in fresh and ensiled maize silage. *Mycologia*, **99**, 269-278.
- MARM (2010) Anuario de Estadística 2010. Madrid (España): Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.
- MUNKVOLD G.P. (2003) Cultural and genetic approaches to managing mycotoxins in maize. *Annual Review of Phytopathology*, **41**, 99-116.
- MUÑOZ L., CARDELLE M., PEREIRO M. Y RIGUERA R. (1990) Occurrence of corn mycotoxins in Galicia (northwest Spain). *J.Agricultural and Food Chemistry*, **38**, 1004-1006.
- NCBI (2011) GenBank database. En: www.ncbi.nih.gov/Genbank (diciembre 2011).
- O'DONNELL K., KISTLER H.C., TACKE B.K. Y CASPER H.H. (2000) Gene genealogies reveal global phylogeographic structure and reproductive isolation among lineages of *Fusarium graminearum*, the fungus causing wheat scab. *Proceedings of the National Academy Science*, **97**, 7905-7910.
- ROBERTSON-HOYT L.A., JINES M.P., BALINT-KURTI P.J., KLEINSCHMIDT C.E., WHITE D.G., PAYNE G.A., MARAGOS C.M., MOLNÁR T.L. Y HOLLAND J.B. (2006). QTL mapping for *Fusarium* ear rot and fumonisin contamination resistance in two maize populations. *Crop Science* **46**, 1734-1743.
- VISENTIN I., VALENTINO D., CARDINALE F. Y TAMIETTI G. (2010) DNA-based tools for the detection of *Fusarium* spp. pathogenic on maize. En: Gherbawy Y. y Voight K. (eds) *Molecular identification of fungi*, pp. 107-129. Berlín, Alemania: Springer-Verlag.
- WHITE T.J., BRUNS T., LEE S. Y TAYLOR J. (1990) Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics. En: Innis M.A., Gelfand D.H., Sninsky J.J. y White T.J. (eds) *PCR protocols: a guide to methods and applications*, pp 315-322. San Diego, CA, USA: Academic Press.
- WU F. (2007) Measuring the economic impacts of *Fusarium* toxins in animal feeds. *Animal Feed Science and Technology*, **137**, 363-374.
- XUNTA DE GALICIA (2011) Anuario de Estadística Agraria. En: http://mediorural.xunta.es/institucional/estadisticas/anuario_de_estadistica_agraria (diciembre 2011).

Evolución en la calidad de los ensilados de maíz: profesionalización de las explotaciones lecheras

Quality evolution of maize silages: professionalization of dairy farms

B. DE LA ROZA DELGADO¹ / A. SOLDADO¹ / M. A. GÓNZÁLEZ¹ /
M. PELÁEZ² / A. MARTÍNEZ FERNÁNDEZ¹

¹Área de Nutrición, Pastos y Forrajes. Servicio Regional de Investigación y Desarrollo Agroalimentario (SERIDA). Crta. Oviedo s/n. 33300 Villaviciosa. Asturias (España). broza@serida.org

²Sociedad Asturiana de Servicios Agropecuarios S. L. (ASA). 33199. Granda. Asturias

Resumen: Para estudiar la evolución de la calidad nutritiva y fermentativa de los ensilados de maíz en las explotaciones lecheras de la Cornisa Cantábrica en los últimos años, se seleccionaron y analizaron 1391 muestras correspondientes a las campañas 2008-2011. Estos resultados fueron comparados con los correspondientes al año 2003, obtenidos en un trabajo previo de estos autores. A pesar de la amplia variabilidad en los diferentes parámetros evaluados, los resultados permiten discriminar claramente entre campañas con intervalos superiores a cinco años, mostrando una evolución positiva a lo largo del tiempo para la calidad nutritiva y fermentativa, con aumento progresivo de la materia seca (MS) y el almidón y disminución de las cenizas, la proteína bruta (PB), la fibra bruta (FB) y las fibras neutro y ácido detergente (FND y FAD). El balance se tradujo en un incremento de las estimaciones de digestibilidad enzimática de la materia orgánica (DEMO) y de la energía metabolizable (EM). Los ensilados mostraron una tendencia hacia la acidificación ($p < 0,001$) y la relación de ácidos láctico/acético mejoró de 2,42 a 2,90 entre 2003 y 2011, lo cual indica que la fermentación fue mayoritariamente homofermentativa.

Palabras clave: maíz ensilado, composición química, metabolitos de fermentación.

Abstract: To study the evolution of the fermentation and nutritive quality of maize silages made in dairy farms allocated on Cantabrian Coastal Area in the last years, we were selected and analyzed 1391 samples corresponding to 2008-2011 maize silage campaigns. These results were compared with those corresponding to the year 2003, included in a previous work of these authors. Despite the wide variability in the different evaluated parameters, the results have allowed to clearly discriminate between campaigns with intervals of more than five years, showing a positive evolution over time in relationship with nutritive and fermentative quality, and improving progressively the DM and starch contents and decreasing the ashes, crude protein (CP), crude fiber (CF) and neutral and acid detergent fibers (NDF and ADF). As a result the work showed an increase in the organic matter enzymatic digestibility (OMED) and metabolizable energy. The silages drawn a trend towards acidification ($p < 0.001$) and the ratio lactic/acetic acids was improved from 2.42 to 2.90 between 2003 and 2011, results that indicate homofermentative fermentation process.

Key words: maize silage, fermentation process, chemical composition.

INTRODUCCIÓN

Los modelos productivos de las explotaciones lecheras en el norte de España se pueden definir a partir del tipo de producción a que dedican la SAU: producir solamente hierba o una combinación, en distintas proporciones, de hierba y cultivos forrajeros (Arango Fernández y Fernández Fano, 2011). Concretamente en Asturias, el cultivo forrajero predominante es el maíz que de forma ordinaria se rota con raigrás italiano y que se incluye en las raciones alimenticias bajo forma de ensilado.

Cada vez con más ahínco, las explotaciones lecheras buscan que su sistema productivo sea capaz de adaptarse a los nuevos retos que se plantean por la desaparición de

las cuotas lácteas en 2015 tratando de optimizar sus recursos para conseguir el mejor resultado económico al menor coste posible, con el fin último de asegurar su supervivencia futura en un entorno más abierto y competitivo (Álvarez Pinilla y Pérez Méndez, 2010).

En este contexto la calidad de los forrajes en las explotaciones lecheras es el factor determinante para la mejora de los resultados económicos de la producción láctea. En lo que respecta al maíz forrajero, gracias a su alto contenido energético y en almidón, su facilidad para ensilar y la posibilidad de integrarlo en los sistemas de alimentación *unifeed*, es el forraje más utilizado en las explotaciones lecheras del norte de España. Estudios anteriores (Martínez *et al.*, 2004) revelan deficiencias de calidad imputables a un aprovechamiento demasiado temprano, consecuencia a su vez de una mala elección del ciclo y/o de la variedad sembrada.

El SERIDA lleva realizando ininterrumpidamente desde 1996 estudios para la evaluación de las variedades de maíz que con más frecuencia son ofertadas por las casas comerciales, con el propósito de conseguir optimizar la rentabilidad del cultivo, dado que las diferencias entre variedades, tanto en producción como en principios nutritivos, son importantes.

Por ello, el objetivo del presente trabajo ha sido estudiar la evolución de la calidad nutritiva y fermentativa de los ensilados de maíz en las explotaciones lecheras asturianas en los últimos años.

MATERIAL Y MÉTODOS

Durante los años 2008 a 2011, se seleccionaron 1391 muestras de ensilados de maíz, que se corresponden con gran parte de las recepcionadas en el Laboratorio de Nutrición del SERIDA para su análisis. Para garantizar la representación del conjunto de las explotaciones asturianas, las muestras fueron recogidas en su totalidad por técnicos de la Sociedad Asturiana de Servicios Agropecuarios, S. L. (ASA), empresa que asesora a los productores de leche principalmente ubicados en el Principado de Asturias y que comercializan sus producciones a través de la Corporación Alimentaria Peñasanta, S. A. (CAPSA). Para el análisis de valor nutritivo de las muestras se utilizaron los modelos de predicción por reflectancia en el infrarrojo cercano (NIRS) desarrolladas en el Laboratorio de Nutrición del SERIDA y acreditadas por ENAC (Acreditación N° LE 430/930), utilizando como métodos de referencia para: materia seca (MS) a 60°C durante 24h; MS final y cenizas (Van der Meer, 1983); proteína bruta (PB) como N Kjeldahl x 6,25 (TECATOR, 1995); fibra bruta (FB, AFNOR, 1981); fibra ácido detergente (FAD, Goering y Van Soest, 1970); fibra neutro detergente (FND, Van Soest *et al.*, 1991); digestibilidad enzimática de la materia orgánica (DEMO, Riveros y Argamentería, 1987); almidón (Soldado *et al.*, 2003). El aporte de energía metabolizable (EM) se estimó según ARC (1980). Además, se llevaron a cabo las determinaciones de pH, medido con electrodo de penetración, y parámetros fermentativos. Para la determinación de estos últimos, se prensó una alícuota de la muestra de ensilado y sobre el jugo

centrifugado y filtrado se determinó el nitrógeno amoniacal (N-NH₃) por destilación con óxido de magnesio; los ácidos grasos volátiles: acético, propiónico y butírico y ácido láctico se determinaron por cromatografía líquida de alta resolución (columna Shodex Ropak KC-811).

Todos los parámetros evaluados fueron contrastados mediante análisis de varianza considerando el año como factor de efecto fijo. Además, se efectuó un análisis discriminante para la clasificación de las muestras/año. Los análisis estadísticos se realizaron utilizando el paquete estadístico SAS (1999).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 1 se muestran los intervalos de variación y la desviación estándar de los principios nutritivos y parámetros fermentativos así como la estimación del contenido energético de los ensilados de maíz en los años 2009 y 2011. Además para hacerse idea de la evolución en estos años se han incorporado al estudio los valores correspondientes al año 2003, incluidos en un trabajo previo de estos autores (Martínez *et al.*, 2004).

Tabla 1. Intervalo de variación y desviación estándar de la calidad nutritiva y parámetros fermentativos en ensilados de maíz en diferentes campañas.

	2003 (n=142)		2009 (n=364)		2011 (n=382)	
	Intervalo	σ	Intervalo	σ	Intervalo	σ
Materia seca (%)	22,38-44,57	4,11	20,53-48,39	3,81	24,06-46,02	3,66
Cenizas [*]	2,25-11,62	1,22	2,24-6,43	0,70	1,62-11,78	0,78
Proteína bruta [*]	5,17-11,09	0,88	5,52-10,61	0,76	4,26-9,50	0,80
FND [*]	32,05-59,39	4,81	34,24-62,44	4,89	33,83-56,64	3,74
FAD [*]	20,20-33,94	2,75	21,12-38,69	3,19	20,38-34,09	2,22
FB [*]	17,88-32,62	2,64	5,65-31,08	2,85	16,29-27,95	1,85
Almidón [*]	14,68-49,42	6,05	8,98-42,17	5,53	15,73-44,56	4,65
DEMO (%)	49,99-75,80	4,13	50,83-76,64	4,16	58,30-77,80	3,13
EM (MJ*kg MS ⁻¹)	8,27-12,84	0,73	8,32-12,47	0,69	9,17-12,60	0,55
pH	3,34-4,73	0,25	3,03-4,27	0,21	3,06-5,20	0,22
Ácido láctico [*]	0,37-7,34	1,29	0,17-27,23	2,88	0,05-14,60	1,44
Ácido acético [*]	0,00-7,69	1,19	0,00-13,22	1,14	0,10-5,07	0,84
Ácido propiónico [*]	0,00-0,70	0,06	0,00-0,94	0,14	0,00-0,84	0,10
Ácido butírico [*]	0,00-1,78	0,16	0,00-3,14	0,32	0,00-0,90	0,07
N-NH ₃ (% sobre N total)	--	--	0,28-14,73	3,08	1,13-12,28	1,73

FND: Fibra neutro detergente; FAD: Fibra ácido detergente; FB: Fibra bruta; DEMO: Digestibilidad enzimática de materia orgánica neutro detergente celulosa; EM: Energía metabolizable; σ : Desviación típica; *: % referidos a MS

En general se mantiene una amplia variabilidad en los diferentes parámetros evaluados. Respecto al contenido en MS se considera que valores inferiores al 25 %, disminuyen el rendimiento del cultivo y ponen en peligro el proceso fermentativo, y valores superiores al 45%, suponen un estado fenológico demasiado avanzado para su

aprovechamiento como ensilado. En cuanto al contenido proteico, singularmente bajo en este cultivo, Mier (2009) considera que el nivel óptimo de PB en un forraje de maíz para ensilar ha de estar comprendido entre 7 y 10 % sobre MS, y si lo superan significa que el corte fue demasiado temprano, hecho observable en este trabajo, excepto para los ensilados correspondientes al año 2011. Con respecto al contenido en almidón y energía, también se observa un amplio rango de valores, relacionado no sólo con las distintas variedades de maíz empleadas, sino de acuerdo con el párrafo anterior, con los diferentes estados de desarrollo del cultivo.

En la calidad fermentativa, los valores de pH en su mayor parte no comprometen el proceso fermentativo, hecho que se pone de manifiesto con contenidos en ácido láctico en general elevados, escasa fermentación secundaria y mínima degradación de la proteína inicial.

El análisis discriminante realizado (ver tabla 2) muestra claras diferencias entre los ensilados en el tiempo. De hecho, un 91,91 % de las muestras correspondientes al año 2003, han sido correctamente clasificadas como correspondientes a ese año, lo que podría ser imputable a la elección de variedades, pero también en gran medida a la evolución de la calidad nutritiva y fermentativa. En 2008, han sido correctamente clasificados en su campaña el 78,65 %. En cuanto a los ensilados del 2009 se diferencian claramente de los del año 2003, pero no con respecto a 2008, 2010 y 2011. Este mismo efecto se observa en 2010 y 2011.

Tabla 2. Porcentaje de aciertos en la clasificación de los ensilados de maíz según años, de acuerdo al análisis discriminante.

Año	2003	2008	2009	2010	2011
2003	91,91	5,88	1,47	0,74	0,00
2008	3,93	78,65	7,30	3,93	6,18
2009	3,07	29,89	27,93	17,32	21,78
2010	0,50	5,79	9,32	54,16	30,23
2011	0,26	4,45	9,16	20,94	65,18

En la tabla 3 se recogen los valores promedio para los años 2003, 2009 y 2010 y las diferencias significativas entre años para los diferentes parámetros.

Se encontró un aumento progresivo de la MS y almidón con la consecuente disminución de cenizas, PB, FB, FND y FAD. Ello se tradujo en un incremento de las estimaciones de digestibilidad enzimática de la MO (DEMO) y energía metabolizable (EM) que superan los valores recomendados por Argamentería *et al.* (1997) para un ensilado de maíz de calidad.

Tabla 3. Valores promedio de la calidad nutritiva y parámetros fermentativos en ensilados de maíz en diferentes campañas.

	2003	2009	2011
Materia seca (%)	30,13 ^b	29,92 ^b	31,84 ^a
Cenizas	4,22 ^a	4,12 ^a	3,51 ^b
Proteína bruta	7,75 ^a	7,53 ^b	7,32 ^c
FND*	45,43 ^a	44,62 ^a	42,92 ^b
FAD*	26,24 ^b	27,73 ^a	26,14 ^b
FB*	23,06 ^a	22,43 ^b	21,52 ^c
Almidón*	30,71 ^b	29,64 ^c	33,65 ^a
DEMO (%)	64,20 ^c	66,63 ^b	68,96 ^a
EM (MJ*kg MS ⁻¹)	10,8 ^c	10,9 ^b	11,3 ^a
pH	3,87 ^a	3,54 ^c	3,62 ^b
Ácido láctico*	4,12 ^b	4,89 ^a	4,98 ^a
Ácido acético*	1,70	1,73	1,72
Ácido propiónico*	0,01	0,03	0,03
Ácido butírico*	0,03 ^b	0,1 ^a	0,01 ^b
N-NH ₃ (% sobre N total)	--	6,94 ^a	5,58 ^b

FND: Fibra neutro detergente; FAD: Fibra ácido detergente; FB: Fibra bruta; DEMO: Digestibilidad enzimática de materia orgánica neutro detergente celulosa; EM: Energía metabolizable; *: % referidos a MS

^{a, b, c}: En la misma fila valores seguidos por letras diferentes indican diferencias significativas (P < 0,05)

La evolución de los parámetros que definen la calidad de la fermentación de los ensilados muestra una tendencia hacia la acidificación (p < 0,001). De acuerdo con los resultados de la comparación de medias para los contenidos en N-NH₃, la proteólisis fue algo más intensa en 2009 (p < 0,001), quizás relacionado con el mayor contenido en PB del forraje en ese año. Sin embargo, teniendo en cuenta el baremo del INRA (1979), las medias para estos parámetros en los ensilados presentan una calidad fermentativa buena, con contenidos en N-NH₃ inferiores al 10% y cercanos a la clasificación de excelentes según Beever (1996), que manifiesta que ensilados con un porcentaje entre 0% y 5% de N-NH₃ son ensilajes de excelente calidad fermentativa. Este hecho también se pone de manifiesto en la relación láctico/acético, que mejoró de 2,42 a 2,90 entre 2003 y 2011. Estos resultados indican que la fermentación fue mayoritariamente homofermentativa, y encaminada a la producción de ácido láctico, con escasa presencia de fermentaciones secundarias, y ausencia casi total de fermentación butírica (Woolford, 1984).

CONCLUSIONES

El estudio de la evolución de la calidad de los ensilados de maíz muestra claras diferencias en el tiempo permitiendo realizar una discriminación entre campañas con intervalos superiores a cinco años.

Se observa una evolución positiva de la calidad de los ensilados en el tiempo lo que representa una mejora en la rentabilidad de las explotaciones agroganaderas, al disminuir significativamente la necesidad de compra de alimentos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean mostrar su agradecimiento al INIA por la financiación del proyecto RTA-2010-00128. Así mismo desean mostrar su agradecimiento al personal del Laboratorio de Nutrición del SERIDA, al personal técnico de ASA y a Alfonso Carballal técnico en informática del Área, sin cuya colaboración habría sido imposible la realización de este trabajo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AFNOR (1981). Cellulose Brute, Méthode CCE 4eme Directive Norme NF V 03-.040. En: *Aliments des Animaux. Méthodes d'analyse*. Ed. AFNOR.
- ÁLVAREZ PINILLA A., PÉREZ MÉNDEZ J. A. (2010). *Acciones de Futuro para el Sector Lechero en la Cornisa Cantábrica*. Oviedo, España: Centro Nacional de Competencia de la Leche. Gobierno del Principado de Asturias.
- ARANGO FERNÁNDEZ J., FERNÁNDEZ FANO B. (2011). *Tablero de Gestión de la explotación Lechera (TAGEL)*. Granda-Siero, España: Central Lechera Asturiana Sociedad Agraria de Transformación.
- ARC (1980). *The nutrient requirements of ruminant livestock*. Reino Unido: Commonwealth Agric. Bureaux.
- ARGAMENTERÍA A., ROZA B. de la, MARTÍNEZ A., SANCHEZ L. Y MARTÍNEZ A. (1997). *El ensilado en Asturias*. Oviedo, España: Ediciones Servicio de Publicaciones del Principado de Asturias. Centro de Investigación Aplicada y Tecnología Agroalimentaria (C.I.A.T.A.).
- BEEVER D. (1996). Characterization of forages: appraisal of current practice and future opportunities. En: Garnsworthy, P. y Cole, D. (Eds) *Recent developments in ruminant nutrition III*, pp 113-127. Nottingham, UK: Nottingham University Press.
- GOERING H. K. Y VAN SOEST P. J. (1970). Forage Fiber Analyses (Apparatus Reagents, Procedures and Some Applications). *Agriculture Handbook N° 379*. Agriculture Research Service. United States Department of Agriculture.
- INRA (Institut National de la Recherche Agronomique). (1979). *Alimentation des ruminants*. Versailles, Francia: INRA publications.
- MARTÍNEZ A., FERNÁNDEZ O., SOLDADO A., PELÁEZ M., CARBALLAL A., MODROÑO S., GALIANO R., ROZA B. de la Y ARGAMENTERÍA A. (2004). Incidencia del análisis físico-químico y metabolitos de fermentación en la calidad nutritiva de ensilados de maíz. En: García Criado B. et al. (Eds) *Pastos y Ganadería Extensiva*, pp 267-271. Salamanca, España: SEEP.
- MIER M. (2009). *Caracterización del valor nutritivo y estabilidad aeróbica de ensilados en forma de microsilos para maíz forrajero*. Tesis de Máster. Universidad de Córdoba, Córdoba, España.
- RIVEROS E. Y ARGAMENTERÍA A. (1987). Métodos enzimáticos de la predicción de la digestibilidad in vivo de la materia orgánica de forrajes. I. Forrajes verdes. II. Henos. III. Ensilados y pajas. *Avances en Producción Animal*, 12, 49-75.
- SAS, 1999. SAS (Statistical Analysis System) Institute, SAS/STATTM. *User's guide.*, SAS North Carolina, USA: Institute, Inc. 10. Carry.
- SOLDADO A., FERNÁNDEZ O., MARTÍNEZ A. Y ROZA B. de la (2003). Estudio comparativo de métodos analíticos para la determinación del contenido en almidón en ensilados de maíz. En: Robles A.B. et al. (Eds) *Pastos, desarrollo y conservación*, pp. 297-303. Granada, España: SEEP.
- TECATOR (1995). *Application Note, AN 300. The determination of nitrogen according to Kjeldahl using block digestion and steam distillation*. Sweden: Perstorp Analytical.
- VAN DER MEER J. M. (1983). C. E. C. *Workshop on methodology of feedingstuffs for ruminants. European in vitro Ringtest Statistical Report*. Concept Report 155. The Netherlands.
- VAN SOEST P. J., ROBERTSON J. B. Y LEWIS B.A. (1991). Methods for dietary, neutral detergent fiber and non starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74, 3583-3597.
- WOOLFORD M. (1984). *The silage fermentation*. New York, USA: M. Dekker, Inc (Ed).

Cuarta parte

Producción vegetal de pastos

CAPÍTULO INTRODUCTORIO

Abandono de tierras y cubiertas vegetales orientadas a la producción de pastos en zonas áridas y semiáridas de la cuenca media del Ebro

I. DELGADO ENGUIA

Evaluación del estado de nutrición nitrogenada de cultivos forrajeros de invierno en la cornisa cantábrica

J. BUSQUÉ MARCOS / A.L. GONZÁLEZ HOYOS

Influencia de la densidad de siembra, el corte y la dosis de nitrógeno en el desarrollo del triticale de doble aptitud

F. LLERA CID / V. CRUZ SOBRADO / A. M. RIVERA MARTÍN

Curvas de dilución de la proteína en un triticale de doble aptitud: influencia de la densidad de siembra, la dosis de nitrógeno y el número de cortes

F. LLERA CID / A. DE SANTIAGO ROLDÁN / A. M. RIVERA MARTÍN / R. A. GALLEGU OLIVENZA / V. CRUZ SOBRADO

Evaluación agronómica de maíz tras aplicación de combinaciones de productos de calcio en terrenos ácidos

A. MARTÍNEZ FERNÁNDEZ / R. PELÁEZ / A. ARGAMENTERÍA / A. SOLDADO / A. GÓNZÁLEZ / B. DE LA ROZA DELGADO

Evolución de las propiedades químicas del suelo y producción de una pradera fertilizada con purín de vacuno mezclado con concha de mejillón

M.D. BÁEZ BERNAL / J.F. CASTRO INSUA / A. LOURO LÓPEZ / J. VALLADARES ALONSO

Influencia de los equipos de aplicación sobre el valor fertilizante de la fracción líquida del purín de vacuno de leche y la compactación de los suelos en cultivos forrajeros monófitos anuales en ambiente atlántico

J.M. MANGADO / G. JAUREGI / E. ZUDAIRE / E. IRUJO

Proyecto piloto para valorar la adaptación de máquinas específicas de producción y recolección de forrajes en zonas de montaña. Resultados de Navarra

J.A. ERBURU / G. JAUREGUI

Producción de pastos herbáceos en el municipio de Tavertet (Barcelona)

C. CASAS ARCARONS / A. MARCÉ PUJOL / A. PLA SANZ

Calidad de prados en el Pirineo de Huesca: valoración mediante análisis botánicos y químicos

R. REINÉ / C. VILCHEZ / A. BROCA / M. MAESTRO / O. BARRANTES / C. CHOCARRO / A. JUÁREZ / C. FERRER

Evolución del valor nutritivo del forraje en dehesa de cuatro cultivos tras la cosecha

S. RODRIGO / M.J. POBLACIONES / N. PINHERO / O. SANTAMARÍA / L. PÉREZ-IZQUIERDO /

T. GARCÍA-WHITE / T.B. CUELLO-HORMIGO / L. OLEA

Influencia de la fertilización con magnesio, calcio, azufre y potasio junto a fósforo, sobre la producción, composición botánica y calidad de pasto de dehesa

F.J. SÁNCHEZ-LLERENA / S. RODRIGO / M.J. POBLACIONES / O. SANTAMARÍA / T. GARCÍA-WHITE / L. OLEA

Efecto del régimen hídrico y del número de cortes en la producción de biomasa y la eficiencia en el uso de agua en un cultivo de zulla (*Hedysarum coronarium* L.) en condiciones mediterráneas

J. CIFRE / V. GARÍ / J. JAUME / J. GULÍAS

Pastoreo versus siega de una pradera de esparceta en regadío

I. DELGADO / F. MUÑOZ / S. DEMDOUM

Potencial agronómico y ambiental de las mezclas forrajeras

R. LLURBA / A. RIBAS / N. ALTIMIR / C. BOUBEKEUR / F. GOURIVEAU / J. PLAIXATS / D. VENTURA / J. CONNOLLY / M.T. SEBASTIÀ

Evaluación de la aptitud combinatoria específica de líneas (EC136 x EC151)F2 para la producción de maíz forrajero

L. CAMPO / A. MONTEAGUDO / J. MORENO-GONZÁLEZ

Evaluación de la aptitud combinatoria específica de líneas (EC136 x EC151)F2 para la producción de maíz grano

L. CAMPO / J. MORENO-GONZÁLEZ

Respuesta de la cebada a la inoculación con micorrizas combinada con la fertilización mineral

A. GARCÍA-CIUDAD / M.A. JIMÉNEZ MATEOS / B.R. VÁZQUEZ-DE-ALDANA / L. GARCÍA-CRIADO / B. GARCÍA-CRIADO

La producción y el valor nutritivo del primer corte de la alfalfa crecida en invernaderos de gradiente térmico en condiciones de cambio climático varían con la cepa de *Sinorhizobium meliloti*

A. SANZ-SÁEZ / G. ERICE / J. AGUIRREOLEA / F. MUÑOZ / M. SÁNCHEZ-DÍAZ / J.J. IRIGOYEN

Producción forrajera del cultivo de especies autóctonas de Canarias

E. CHINEA / C. BATISTA / J.L. MORA / A. GARCÍA-CIUDAD / B. GARCÍA-CRIADO

Producción y calidad de biomasa del switchgrass (*Panicum virgatum* L.) en Candás (Asturias)

J.A. OLIVEIRA-PRENDES / E. AFIF-KHOURI / P. PALENCIA-GARCIA / J.J. GORGOSO-VARELA

Calibración y evaluación de dos métodos no destructivos de estimación de la producción en praderas polifitas con *Lolium* sp.

J.L. SÁEZ ISTILART / I. VERGARA HERNANDEZ / R. M. CANALS TRESSERRAS

Abandono de tierras y cubiertas vegetales orientadas a la producción de pastos en zonas áridas y semiáridas de la cuenca media del Ebro

Land abandonment and forage yield in arid and semi-arid areas of the Ebro middle basin

I. DELGADO ENGUITA

Unidad de Tecnología en la Producción Animal. Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA).
Avda. Montañana 930. 50059 Zaragoza (España).
idelgado@aragon.es

Resumen: La crisis social y económica de la agricultura tradicional está dando lugar al abandono de las tierras cerealistas marginales y fácilmente erosionables, con el riesgo de desertificación del suelo. Ello está propiciando un descenso de la ganadería extensiva, basada en el sistema cereal-ovino. La implantación de cubiertas vegetales, utilizando especies forrajeras, pretende proteger el suelo de la erosión, a la vez que contribuir a proporcionar un pasto barato para el ganado. En este trabajo se indican aquellas especies que mejores resultados han presentado en la cuenca media del Ebro: alfalfa, esparceta, cereales forrajeros, *Lolium rigidum*, medicagos anuales, vezas, guisantes y *Atriplex halimus*, las cuales, sembradas constituyendo alternativas de cultivos, pueden establecer una cubierta vegetal permanente.

Palabras clave: Cubierta vegetal, desertificación, secano, ganadería extensiva.

Abstract: The lost of profit of cultivated cereals in arid and semi-arid areas is increasing the abandonment of less productive arable lands at risk of soil desertification. This fact and the change to direct drilling techniques cause a decrease of the low-input livestock kept in the extensive cereal-sheep farming systems. The establishment of forage plant covers attempts to control soil erosion and improve forage biomass for livestock production. This work shows the forage species selected in trials carried out in the Ebro middle basin: Lucerne, sainfoin, forage cereals, *Lolium rigidum*, annual medics, vetches, peas and *Atriplex halimus*. Those species seeded in culture rotation could maintain a perennial plant cover.

Key words: Plant covers, desertification, dry-land, low-input livestock.

INTRODUCCIÓN

En la Convención de Naciones Unidas para Combatir la Desertificación, que tuvo lugar en Madrid (España) entre el 10 y el 12 de septiembre de 2007 (www.unccd.int), se describió el cambio climático como el cambio a largo plazo de los patrones meteorológicos respecto a un historial climático, y la desertificación, como la pérdida de productividad y complejidad biológica y económica de las tierras agrícolas, los pastizales y los bosques, localizados en tierras secas, debido principalmente a la variabilidad climática y a las acciones no sostenibles del hombre.

En esta Convención se mostraron las interrelaciones entre el cambio climático y la desertificación. El cambio climático puede acentuar los efectos de la desertificación y a su vez ésta puede influir también en la aceleración del cambio climático. Los países con zonas áridas y semiáridas son particularmente sensibles a los efectos del cambio climático. En los localizados en el Mediterráneo Norte, la desertificación suele estar vinculada, además, a unas prácticas agrícolas deficientes como la roturación y el pastoreo excesivo.

Esta situación se agrava en España, en la actualidad, con la crisis social y económica de la agricultura tradicional que está dando lugar al abandono de las tierras marginales y fácilmente erosionables. La tabla 1 refleja la disminución progresiva de la ocupación de tierras de cultivo en España entre 1979 y 2009. La superficie destinada a cultivos herbáceos ha disminuido el 19%, la ocupación de barbechos el 35% y la de cultivos leñosos el 19%. El cultivo más representativo de los secanos áridos y semiáridos, la cebada, lo ha hecho en un 22%. Una de las superficies que menos ha descendido en secano es la destinada a forrajes, siendo del 6% en el periodo estudiado (MARM, 1979-2010).

Si nos remitimos a la cuenca media del Ebro (La Rioja, Navarra, Aragón y Lleida), la cual representó el 15,7% de las tierras de cultivo de España en 2009, la reducción de la superficie cultivada fue menor que en el resto de España; así, la superficie destinada a cultivos herbáceos disminuyó el 12%, la ocupación de barbechos el 9% y la de cultivos leñosos, el 12%. Sin embargo, la reducción del cultivo más representativo de los secanos áridos y semiáridos, la cebada, fue algo mayor, el 23%. Una de las superficies que menos descendió en secano fue la destinada a forrajes, siendo el 4% en el periodo estudiado (MARM, 1979-2010).

Tabla 1. Superficies ocupadas por diferentes cultivos en secano, en España, durante 1979-2009.

Cultivo	España				Cuenca media del Ebro			
	1979	1989	1999	Año (x1000 ha) 2009	1979	1989	1999	2009
A. Herbáceos	8363,7	8924,6	7931,4	6756,0	1209,1	1189,7	1140,0	1065,7
1. Cereales	6387,5	6902,0	5666,2	4953,5	1082,7	1103,1	981,9	943,7
1.1 Cebada	3218,6	3997,9	2848,4	2658,0	724,1	878,4	549,1	555,6
2. Forrajes	766,6	828,9	914,6	719,8	88,1	69,2	70,5	84,5
2.1 Cereales forrajeros	181,5	196,7	330	180,0	1,3	1,1	15,1	3,1
2.2 Praderas	144,8	167,7	257,6	254,4	13,2	11,7	9,5	7,0
2.3 Alfalfa	87,6	72,3	65,7	87,0	14,2	13,8	12,7	28,1
2.4 Esparceta	54,5	36,5	16,4	14,5	35,1	25,1	10,7	6,7
2.5 Veza	87,7	87,3	69,4	55,7	9,8	9,6	6,1	5,4
2.6 Maíz	66,7	80,1	65,3	80,6	1,0	0,7	2,0	1,3
2.7 Raigrás italiano	41,8	41,8	34,0	18,6	0	0	0	0,7
3. Leguminosas-grano	475,1	280,9	477,0	276,8	16,1	5,7	43,9	11,8
3.1 Veza	39,2	41,4	193,2	44,0	5,2	2,4	29,6	2,8
3.2 Guisante	4,2	6,0	29,1	150,4	0,4	1,4	6,7	7,9
4. Industriales	680,9	923,1	856,2	807,0	13,0	16,5	36,2	21,6
4.1 Girasol	595,8	851,6	661,5	765,7	5,1	6,1	20,4	18,4
B. Barbechos y otros	5018,8	4132,0	3113,0	3274,1	692,6	709,2	562,0	628,0
C. Leñosos	4351,1	4098,2	3896,8	3509,0	350,4	314,9	301,2	259,0
1. Olivar	1871,4	1808,7	2079,2	1914,0	96,9	87,9	84,6	78,2
2. Viñedo	1604,5	1381,0	1065,2	831,2	167,1	125,0	93,5	81,9
3. Frutos secos	543,9	588,8	620,0	533,0	83,4	96,5	114,0	96,1
3.1 Almendro	520,6	568,8	608,0	520,9	83,2	96,2	84,6	96,0

El cultivo de los cereales es uno de los más extendidos en secano. Su pérdida de rentabilidad es una de las causas que está propiciando el abandono de tierras de cultivo, como muestran diversos estudios. Tomando como referencia la cebada, el estudio del MARM (2001-2010) llevado a cabo para calcular el umbral de rentabilidad medio del cultivo en Aragón sobre la base de 38 explotaciones cerealistas representativas de la Comunidad Autónoma, muestra que el rendimiento de cosecha necesario para igualar los costes completos de producción (directos e indirectos) es de 3232 kg ha⁻¹, mientras que la producción media en secano en esta comunidad fue de 2675 kg ha⁻¹. El margen neto (sin considerar mano de obra familiar e intereses de capitales propios) fue de 112,42 € ha⁻¹ en dicho periodo, aunque se diferencian dos tramos, el comprendido entre 2001 y 2004 que fue de 223,33 € ha⁻¹ y el comprendido entre 2005-2010 que decreció notablemente a 38,64 € ha⁻¹.

Los márgenes netos de un cultivo como la cebada varían, no solo en función de la cuantía de las lluvias, sino de la superficie cultivada y del régimen de tenencia de las tierras. Un estudio realizado por Cantero-Martínez (comunicación personal) en los diferentes secanos de Lleida, muestra que en secanos frescos (500-600 mm de lluvia anual) el margen neto es positivo a partir de 50 ha cultivadas, siempre que sean en régimen de propiedad, mientras que se eleva a 300 ha en caso de arrendamiento; en secanos semiáridos (400-500 mm), se requieren al menos 100 ha de cultivo en régimen de propiedad para que el margen neto sea positivo; y en secanos áridos (300-400 mm), se precisan al menos 300 ha de tierra cultivada, siempre en régimen de propiedad. Los márgenes netos pueden elevarse practicando la siembra directa. Un resumen de los resultados obtenidos en la cuenca media del Ebro por Arnal (2006), muestran que el margen neto fue 21,5% superior cuando se realizó dicha práctica.

El sistema cereal-ovino, basado fundamentalmente en el aprovechamiento de rastrojos y barbechos, y en la complementariedad del pastoreo de los montes (Correal y Sotomayor, 1998; Caballero, 2001), ha sido el modelo tradicional de la alimentación de la ganadería ovina extensiva, como así lo pusieron de manifiesto Ferrer y Broca (1999) estudiando este sistema; dichos autores mostraron la correlación positiva existente entre la carga de rumiantes y la proporción de superficie ocupada por el cultivo de cereales en las provincias mediterráneas peninsulares. El abandono de las tierras cerealistas o el cambio de las técnicas de cultivo (siembra directa, laboreo de conservación), pueden afectar a la ganadería ovina asociada a dicho sistema.

Actualmente, la alimentación constituye uno de los mayores costes de las explotaciones ovinas, como pone en evidencia el trabajo llevado a cabo por Pardos (Comunicación personal) en 56 explotaciones de OVIARAGÓN, a lo largo de 5 años (2005-2009). En él se puede apreciar que los costes totales por oveja supusieron en dicho periodo, 108,25 € de media, correspondiendo a la alimentación 56,04 € (51,8%); de ésta, el 35,9% fueron alimentos comprados para ovejas, el 27,4% alimentos comprados para corderos y solo el 36,7%, pastos propios y arrendados. El pastoreo directo es hasta tres veces más económico que la alimentación sobre la base de alimentos conservados o concentrados (Semple, 1974). Por ello, cualquier medida que se adoptase, tendente

a reducir los gastos de alimentación, como el incremento en la producción de pastos, puede contribuir a frenar el descenso del censo de la ganadería ovina (15,8% en el periodo 1999-2009; MARM, 1999-2010), mermado por la pérdida de rentabilidad, y a evitar el “desierto verde” pronosticado por Ferrer y Broca (1999).

La búsqueda de soluciones para evitar el abandono de tierras es variada. Unas tienden a mejorar la rentabilidad de los cereales mediante la siembra directa o la concentración de explotaciones para reducir los costes de las labores agrícolas y otras buscan nuevos cultivos (energéticos, aromáticos, etc.). Finalmente, pueden proponerse medidas medioambientales, como promover el establecimiento de cubiertas vegetales que mantengan la fertilidad de los suelos.

En la línea de trabajo que nos ocupa, la mejora de la producción de pastos, pueden aportarse soluciones que contribuyan a frenar el abandono y a restaurar la fertilidad de los suelos, a la vez que se obtiene una fuente de alimentación más económica para la ganadería extensiva y se contribuye al mantenimiento de la biodiversidad. El establecimiento de cubiertas vegetales mediante la siembra de pastos, está en sintonía con las tres normas que caracterizan a la agricultura de conservación, perturbación mínima del suelo de forma continuada, cobertura permanente de la superficie del suelo con materiales orgánicos y rotación diversificada de cultivos en el caso de cultivos anuales o una asociación de plantas en cultivos perennes (FAO, 2011). El traslado de la ganadería extensiva de un sistema cereal-ovino a uno agrícola basado en el cultivo de pastos (Ferrer y Broca, 1999), posibilitaría su permanencia, amenazada por la falta de rentabilidad.

CUBIERTAS VEGETALES

Por cubierta vegetal se entiende, en general, el conjunto plantas establecidas en un determinado territorio geográfico. Su composición está definida por el clima, el relieve, las características edáficas y la acción del hombre que elimina, degrada, introduce nuevas especies o modifica su distribución.

En agricultura se entiende por cubiertas vegetales aquellas que se establecen para proteger el suelo desnudo en los cultivos leñosos o en alternativas de herbáceos. Su finalidad es evitar la erosión, facilitar la infiltración del agua de lluvia y mejorar la fertilidad de los suelos mediante la incorporación de materia orgánica y, en el caso de establecimiento de leguminosas, de nitrógeno.

Desde el punto de vista medioambiental, el establecimiento de cubiertas vegetales persigue, también, la formación de paisajes en mosaico y el aumento de diversidad paisajística y de cultivos.

La restauración de la fertilidad del suelo y la conservación del paisaje se ha convertido en un objetivo de alcance mundial. El establecimiento de cubiertas vegetales para proteger el suelo es el objetivo de numerosos equipos de investigación (Zuazo y Pleguezuelo, 2008; Ouvry *et al.*, 2010; de Castro *et al.*, 2011). Su potenciación es una de las medidas recomendadas para mitigar el cambio climático (Kotschi

y Müller-Säman, 2004). El mantenimiento de una diversidad en el paisaje agrario es, asimismo, la clave para la conservación y, en ocasiones, la recuperación de una flora y fauna amenazada por la intensificación de las actividades antrópicas (Wolf *et al.*, 2001; Sirami *et al.*, 2008).

PRODUCCIÓN DE PASTOS

En línea con la finalidad de esta Sociedad, el estudio de los pastos, entendemos por cubierta vegetal el establecimiento de praderas, cultivos forrajeros monófitos y pastos arbustivos, como alternativa al secano cerealista. Es una posibilidad que viene abordando el Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA) desde 1977, la reconversión de las tierras cerealistas de secano poco productivas en pastos de bajo coste para la ganadería extensiva (Delgado, 2000), la cual recoge las propuestas de Monserrat (1974) y Hycka (1992) de “abandonar sembrando”. Los diversos estudios llevados a cabo a lo largo de 35 años han permitido seleccionar algunas especies que han destacado en las condiciones áridas y semiáridas de la cuenca media del Ebro por su adaptación y productividad.

Praderas

En lo que respecta a la implantación de praderas en terrenos de secano, se han venido efectuando diversos ensayos de comportamiento de especies plurianuales en la cuenca media del Ebro (Monserrat, 1956; Hidalgo, 1973; Orús, 1975; Delgado, 1984; Hycka, 1992; Delgado *et al.*, 2008). En ellos, siempre han destacado dos leguminosas plurianuales, la alfalfa y la esparceta (*Onobrychis viciifolia* Scop.) por sus cualidades de adaptación al medio, productividad y valor forrajero (tabla 2). Ambas son restauradoras de la fertilidad del suelo mediante la fijación de nitrógeno atmosférico, en simbiosis con las bacterias nitrificantes, y el desarrollo de raíces pivotantes que facilitan la recuperación de nutrientes lixiviados por las lluvias y posibilitan el depósito en profundidad de materia orgánica. Su alto contenido en proteína bruta, minerales y vitaminas las convierten en un excelente pasto para los rumiantes (Andueza *et al.*, 2001; Delgado *et al.*, 2010). Son, por otra parte, melíferas; presentan una floración prolongada durante seis meses y contribuyen con ello al mantenimiento de una amplia fauna de insectos, aves y mamíferos (Brookes *et al.*, 1994; De Jaime, 2011).

La esparceta presentó, no obstante, escasa producción y persistencia en las zonas de menor altitud, donde los veranos son más calidos y prolongados. Ello se atribuye a que, durante episodios de temperaturas altas, la respiración supera a la fotosíntesis, lo que conlleva un estrés metabólico y la disminución de las reservas de la planta, pudiéndole ocasionar la muerte (Kallenbach *et al.*, 1996). Por ello, Buendía-Lázaro y García-Salmerón (1965) recomendaron su cultivo en áreas por encima de 600 m de altitud.

Tabla 2. Producción de materia seca (MS) de alfalfa y esparceta en secano, en Aragón.

Localización	Años	Altitud m	Lluvia mm/año	Alfalfa		Mielga*		Esparceta	
				Cortes año ⁻¹ nº	MS ha ⁻¹ Kg	MS ha ⁻¹ Kg	Cortes año ⁻¹ nº	MS ha ⁻¹ Kg	
Peñaflor (Z) ¹	1967-72	250	464	2	2679**	-	-	-	-
Peñaflor (Z) ²	1978-83	250	375	2	1053	-	-	-	-
Marracos (Z) ³	1979-81	450	493	3	6321	-	2	2820	-
Pancrudo (Te) ³	1979-81	1200	426	3	5714	-	3	4649	-
Peñaflor (Z) ⁴	1986-87	250	338	2	1361	522	-	-	-
Marracos (Z) ⁴	1986-87	450	473	3	4483	2707	-	-	-
San Blas (Te) ⁵	1986-90	900	485	4	4528	2479	-	-	-
Zuera (Z) ⁶	1993-02	400	399	3	2697	-	-	-	-

*Alfalfa silvestre, **Estimación a partir de heno, considerando 12% de humedad. ¹Hycka (1974); ²Hycka (1983); ³Delgado (1984); ⁴Delgado (1988); ⁵Delgado (1995); ⁶Delgado et al. (2004).

Como gramíneas acompañantes, sobresalieron *Agropyrum intermedium* L. en secanos áridos, y *Dactylis glomerata* L. y *Lolium multiflorum* L. en secanos semiáridos (Hycka, 1974; Orús, 1975; Hycka y Benítez-Sidón, 1979; Delgado, 1984).

El establecimiento de praderas, comprendiendo una mezcla de dichas especies, ha sido recomendada tanto en los secanos áridos (Hycka, 1992) como semiáridos (Delgado, 2000), aunque la siembra de la alfalfa como cultivo forrajero monofito es actualmente la más recomendada por su mayor productividad (Delgado et al., 2004) y homogeneidad en el reparto de la producción a lo largo del periodo de crecimiento, lo que facilita su aprovechamiento directo por el ganado (Delgado, 1995). Constituye una fuente autóctona y barata de proteínas (Fanlo et al., 2006). Su forma silvestre, la mielga (*Medicago sativa* L.), solo produce el 60% de la materia seca de la alfalfa, pero su carácter rizomatoso y tolerancia al pastoreo, la hacen muy adecuada para el establecimiento de cubiertas vegetales (Delgado, 2007).

Cereales de invierno

Aunque el uso principal de los cereales de invierno es la producción de grano para pienso o consumo humano, los cereales se utilizan frecuentemente como cultivo forrajero debido a que presentan determinadas cualidades, tales como, crecimiento invernal, tolerancia a condiciones adversas, posibilidad de concentrar volúmenes elevados de forraje en un solo aprovechamiento y alto valor nutritivo.

Como tales, han sido el principal cultivo forrajero en secano en España hasta 2002, cuando fueron desplazados al segundo lugar por las praderas de secano. Sin embargo, en la cuenca media del Ebro, el uso forrajero de los cereales de invierno ha tenido

siempre escaso interés; mientras la superficie dedicada a forrajes en secano supuso el 11,7% del total de España, en 2009, solamente fue el 1,7% en la cuenca media del Ebro (MARM, 1979-2010).

En el CITA, se han ensayado diferentes modalidades para su aprovechamiento como forraje, tales como: realizar un despunte invernal en estado vegetativo dejando posteriormente el cultivo para producción de grano (Delgado et al., 1984; Joy y Delgado, 1989); pastoreos sucesivos cada vez que se dispone de una cantidad apreciable de forraje (Joy y Delgado, 1989; Andueza, 2000); segar el forraje para heno o silo cuando la planta se encuentra con el grano en estado lechoso-pastoso (Andueza, comunicación personal); o pastorear la planta entera seca en pie (tallos y espigas) durante el verano y parte del otoño, como una reserva de forraje *in situ* (Delgado et al., 1998; Valiente, 2004; Olmos, 2006).

En el estudio se han utilizado todos los cereales: avena, cebada, centeno, trigo y triticale, estando la elección de cada uno de ellos, en función de su capacidad productiva y adaptación al medio. En el caso de aprovechamiento de las plantas en pie, en verano, se recomiendan aquellas que tengan tendencia a no desgranar, como la cebada y el triticale. No obstante, en el comercio existen diferencias notables entre variedades que conviene evaluar.

Tabla 3. Producción media en Kg de materia seca ha⁻¹ de diferentes cultivos forrajeros en secano, en Aragón.

	Mediana (Z) ¹	Zaragoza ^{2,3}	Farlete (Z) ⁴	Zuera (Z) ^{4,5,8}	Marracos (Hu) ⁶	Montesa (Hu) ⁴	Azlor (Hu) ⁸	Fraga (Hu) ⁸	Pancrudo (Te) ⁷	Albalate (Te) ⁴
Año	1987	1990-3	1995	1995-9	1979	1995	1998-9	1998-9	1979	1995
Lluvia (mm/año)	324	271	312	402	544	453	389	300	344	275
Altitud	250	250	400	400	400	700	-	-	1200	350
Avena	2855	-	2260	2970	-	5910	-	-	3720	1130
Cebada	2486	-	1820	2000	-	5840	-	-	7140	860
Centeno	2056	-	1550	3520	-	5670	-	-	6930	710
Trigo	-	-	-	-	-	-	-	-	6690	-
Triticale	-	-	2280	3300	-	6270	-	-	5020	1870
Veza común	1351	-	-	3960	-	-	7401	353	1520	-
Veza vellosa	1057	-	-	-	-	-	-	-	1120	-
<i>Lolium rigidum</i>	1549	3004	-	1553	-	-	-	-	-	-
Raigrás italiano	-	-	-	2163	3812	-	-	-	4210	-
<i>Medicago rigidula</i>	-	947	-	1988	-	-	-	-	-	-
<i>M. truncatula</i>	575	471	-	626	-	-	-	-	-	-

¹Delgado y Joy (1987), ²Delgado y Andrés (1996), ³Delgado (1992a), ⁴Andueza et al. (1997), ⁵Ansón et al. (1997), ⁶Delgado (1984), ⁷Delgado y Gómez (1982), ⁸Delgado et al. (2000).

Cuando los cereales se aprovechan a diente, la siembra se efectúa tan pronto como lo permitan las primeras lluvias otoñales o, incluso, en seco a la espera de las mismas, con el fin de alcanzar las máximas producciones. La siembra en estas con-

diciones suele ser más económica, ya que puede eludirse la utilización de semillas de primera calidad y de herbicidas, así como recurrir al mínimo laboreo y a la siembra a voleo.

Los cereales pueden asociarse con vezas o guisantes, cuando su destino es el pastoreo en verde, pudiendo efectuarse un despunte a la salida de invierno con las plantas en estado hojoso y un aprovechamiento con las plantas encañadas o iniciando el espigado. Con ello, se pretende aprovechar la diferente composición química de las leguminosas para dar un forraje más equilibrado y aportar nitrógeno al suelo (Mangado y Eguinoa, 2003; Sayés, 2006).

Algunos resultados productivos obtenidos en Aragón, confirman el interés preferente de los cereales en comparación con otras especies forrajeras (tabla 3).

Especies anuales de autorresiembr

Una adaptación muy frecuente en las plantas que crecen en las regiones mediterráneas de clima semiárido, consiste en ajustar su crecimiento al periodo que va de otoño a primavera, coincidiendo con la época de mayores disponibilidades de agua en el suelo. En estas condiciones, una parte importante de la flora forrajera está formada por especies anuales de autorresiembr, las cuales inician su crecimiento en otoño, son capaces de crecer a bajas temperaturas y diseminan la semilla en primavera, la cual no vuelve a germinar hasta que no se dan las condiciones favorables del otoño, mediante la utilización de diferentes mecanismos de letargo.

La producción de forraje que se obtiene en estas condiciones dependerá de la cuantía de las lluvias, pero los costes de la siembra son bastante independientes de aquéllas, por lo que la utilización de especies se autorresiembran es una posibilidad que se tiene para reducir los gastos de siembra al regenerarse el cultivo por sí mismo todos los años.

Atendiendo a las características climatológicas y edafológicas de la cuenca media del Ebro, con heladas frecuentes en invierno y suelos de pH básico, las especies o grupos de especies con capacidad de autorresiembr, que han presentado mayor interés por su productividad y calidad del forraje han sido *Lolium rigidum* y los medicagos anuales.

***Lolium rigidum* Gaud.** (ballico, margallo, luello, lluejo, hierba triguera) es una gramínea anual alógama, considerada una mala hierba, difícil de erradicar de los cultivos de cereales, aunque los ganaderos la consideran una excelente forrajera de los barbechos (Monserrat, 1956). Su aptitud forrajera ha sido puesta de manifiesto en diferentes experimentos de campo realizados en Aragón (Delgado y Joy, 1987; Delgado, 1992; Delgado y Andrés, 1996; Anson *et al.*, 1997). En ellos se evaluó la producción de forraje de las poblaciones espontáneas, recolectando semilla en diferentes puntos de la región y comparándola con los cultivares 'Wimmera' y 'Nurra', procedentes de Australia y de Cerdeña (Italia) respectivamente. Los estudios llevados a cabo en las proximidades de

Zaragoza, entre 1986 y 1997, mostraron la potencialidad productiva de las poblaciones locales que llegaron a igualar a las foráneas. El resumen de las producciones obtenidas se presenta en la tabla 3.

No obstante, como cultivo de autorresiembr para uso ganadero tiene sus limitaciones. Su principal interés reside en disponer de forraje en invierno, entre mediados de diciembre y mediados de febrero, cuando la escasez del mismo es más acuciante. La obtención de forraje durante este periodo en los ensayos, sólo fue posible en las campañas en las que la época de lluvias comenzó tempranamente en los primeros días de octubre. Cuando las lluvias llegaron tardíamente, a partir de la segunda quincena de noviembre, el primer corte para forraje hubo de retrasarse hasta finales de marzo o primeros de abril. En dicha fecha, la mayoría de las poblaciones y variedades de *L. rigidum* iniciaron el espigado. Es el momento en el cual el aprovechamiento del forraje se realiza en condiciones óptimas de producción y calidad, pero también cuando, a partir de esa fecha, es conveniente dejar de pastar para que la planta reespigue y asegurar la resiembra en futuras campañas. De ahí su limitación ganadera. Por ello, Sayés (2006) lo utiliza como un cultivo forrajero más en asociación con vezas, sin considerar su capacidad de autorresiembr. En este caso, el raigrás italiano también puede constituir una posibilidad, como muestran sus resultados productivos en la tabla 3.

Los **medicagos anuales** (carretones, mielguillas) son leguminosas autógamas pertenecientes al género *Medicago*. Aunque son de origen mediterráneo, se encuentran ampliamente distribuidas en el mundo contabilizándose más de 50 especies. En la cuenca media del Ebro, las especies más frecuentes se reducen a cinco: *M. minima*, *M. rigidula*, *M. truncatula*, *M. polymorpha* y *M. orbicularis* (Prosperi *et al.*, 1989).

Su característica principal es que, presentando similares cualidades que la alfalfa en cuanto a calidad del forraje y fijación del nitrógeno atmosférico a través de las raíces, son anuales que se autorresiembran, dejando en el suelo gran cantidad de semillas duras, que no germinan inmediatamente aunque dispongan de condiciones favorables para ello, sino que lo van haciendo escalonadamente en el curso de los años siguientes, asegurando la permanencia indefinida del cultivo. Esta cualidad para mantenerse el cultivo en el campo indefinidamente les confiere un gran interés para la producción de pastos en secano, por su economía.

Los resultados productivos obtenidos en Zaragoza se presentan en la tabla 3. Destacaron *M. rigidula* y *M. truncatula*. Estas especies presentan, al igual que *L. rigidum*, el inconveniente de que, debido a las bajas temperaturas invernales, su óptimo de producción se alcanza entre finales de abril y primeros de mayo, y el pastoreo en este periodo reduce las posibilidades de producción de semilla. Tienen, además, el inconveniente añadido de su escasa capacidad de competencia con las hierbas adventicias, por las cuales son invadidas (Delgado, 1997). No obstante, debido a que presentan alto valor nutritivo y a su capacidad para fijar nitrógeno atmosférico y enriquecer el suelo, pueden ser muy recomendables para introducirlas en cubiertas vegetales como planta acompañante.

Arbustos forrajeros

Las especies herbáceas descritas hasta ahora presentan escasa oferta de forraje durante el periodo invernal, dado que su crecimiento es bajo en dicha época y, además, necesitan desarrollar al máximo su masa foliar para tener un crecimiento vigoroso en primavera. La utilización de arbustos forrajeros puede suplir este vacío de producción dado que son especies perennes, que permanecen verdes todo el año, pudiendo ser ramoneada su biomasa por el ganado ovino en periodos de escasez como el invierno. Se regeneran fácilmente, ya que el animal come sólo las hojas y tallos finos, dejando las partes leñosas del mismo, lo que les protege frente al sobrepastoreo y les permite recuperarse después de su aprovechamiento.

Son especies tolerantes a la sequía, dado que tienen un sistema radicular muy extenso, están adaptadas para reducir la transpiración y ahorrar agua y, muchas de ellas, tienen, además, un metabolismo C_4 , muy eficaz para facilitar la fotosíntesis a temperaturas altas. Su mayor dificultad estriba en la tolerancia al frío. Son escasas las especies que toleran las posibles heladas invernales en la cuenca media del Ebro y así lo han puesto de manifiesto los ensayos llevados a cabo en Aragón durante el periodo 1988-90 (tabla 4; Delgado, 1992b). La mayoría pertenecen al género *Atriplex* y de ellas se ha seleccionado *Atriplex halimus* L. por su adaptación y capacidad productiva. Esta especie es endémica en los saladares de la cuenca media y baja del Ebro en altitudes inferiores a 600-700 m, donde se la conoce como “sosa” o “sose-ra”. Florece en verano y la semilla madura en otoño. Tolerancia heladas de hasta -12°C (Delgado *et al.*, 1996). La variedad que se ha utilizado para los ensayos realizados en Aragón, INRA 70100, fue proporcionada por la Estación de Zonas Áridas de Murcia (España).

Tabla 4. Adaptación de diversos arbustos forrajeros a la cuenca media del Ebro (Delgado, 1992b).

Especie	Zaragoza. 250 m (a.s.n.m.)			Andorra (Teruel). 750 m (a.s.n.m.)		
	Sensibilidad a heladas	Altura/diámetro (m)	Época de floración	Sensibilidad a heladas	Altura/diámetro (m)	Época de floración
<i>Atriplex canescens</i>	No	0,7/1,0	Julio-Sept.	No	0,7/1,0	Julio-Agosto
<i>Atriplex halimus</i>	No	1,2/1,2	Julio-Sept.	No	1,3/1,5	Julio-Septiembre
<i>Atriplex nummularia</i>	Sí	-		Parcial	1,1/1,2	Enero-Abril
<i>Atriplex repanda</i>	Sí	-		Parcial	0,5/0,5	Junio-Julio
<i>Atriplex undulata</i>	No	0,6/0,7	Julio-Agosto	No	0,5/0,6	Julio-Agosto
<i>Medicago arborea</i>	Sí	-		No	0,5/0,7	Diciembre-Mayo
<i>Bituminaria bituminosa</i>	Sí	-		Sí	-	Junio-Agosto
<i>Acacia salycina</i>	Sí	-		Sí	-	-
<i>Acacia cyanophylla</i>	Sí	-		Sí	-	-

Para el establecimiento de una plantación de *Atriplex* se requiere la obtención previa de los plantones. El aprovechamiento de la plantación de *Atriplex* se iniciará a partir del tercer año del establecimiento. La producción esperada de biomasa ramoneable puede oscilar entre 1 y 5 t de materia seca ha^{-1} , variable en función de las condiciones meteorológicas y edafológicas del lugar.

A MODO DE CONCLUSIÓN

Este trabajo pretende establecer las bases forrajeras para el cambio de la actividad cerealista a la ganadera, como una alternativa al cultivo de malos secanos cerealistas, que en un futuro pueden quedar abandonados y sometidos a procesos de erosión y desertificación.

Las praderas, cultivos forrajeros y arbustos ramoneables anteriormente descritos, son los que mejor adaptación han mostrado a las condiciones de secano de la cuenca media del Ebro. Todos ellos pueden formar parte de distintas alternativas forrajeras y, mediante un aprovechamiento rotacional a lo largo del año, mantener permanentemente al ganado con una alimentación en base a pastos, en los secanos cerealistas. La contribución de las diferentes especies puede variar, como consecuencia de las fluctuaciones meteorológicas de cada campaña, pero los cultivos propuestos son flexibles en cuanto a su utilización y pueden adaptarse a un nuevo reparto. Se exceptúan las zonas más altas y frías donde, dada la imposibilidad de establecer arbustos forrajeros en ellas, el pastoreo durante el periodo invernal se sustituirá por henos de praderas o de cereales recolectados en primavera.

Se han ensayado diferentes alternativas forrajeras que se mantienen en fincas experimentales del Gobierno de Navarra en Valtierra (Na), Gobierno de Aragón en Zuera (Zaragoza) y Diputación Provincial de Teruel en las proximidades de la capital. En Valtierra se experimenta con la rotación cereal maduro, avena-guisante y *L. rigidum*-veza (Sayés, 2006); en Zuera se prefiere la rotación alfalfa, cereal verde y maduro y *A. halimus* (Delgado *et al.*, 2004); y en Teruel, debido a su altitud, solamente, cereal verde y seco y alfalfa (datos no publicados).

Cuando es posible agrupar los diferentes recursos forrajeros, el cercado de las parcelas permite obviar la presencia permanente del pastor, el cual puede disponer del tiempo para otras actividades anejas a la explotación.

El cambio del sistema cereal-ovino al agrícola, basado en el cultivo de pastos, conlleva otra novedad que es la restauración del medio degradado por la siembra continuada de cereales. Las técnicas de cultivo de los forrajes descritas que no utilizan o utilizan muy poco, aperos de labranza, abonos y herbicidas, van a contribuir sin duda a la restauración del medio, conteniendo o reduciendo la desaparición del suelo, e incorporando a la tierra materia orgánica y nitrógeno atmosférico a través de las leguminosas. Por otra parte, la presencia permanente en el campo del ganado permite reciclar la mayor parte de la biomasa consumida y activar la acción de los microorganismos del suelo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDUEZA D. (2000) *Producción de materia seca y valor nutritivo de los cereales de invierno en zonas áridas*. Lleida, España: Universitat de Lleida.
- ANDUEZA D., ALBIOL A., FORTEA M., DELGADO I. Y MUÑOZ F. (1997) Rendimiento forrajero de los cereales de invierno en varios estados vegetativos en regiones semiáridas. Resultados preliminares. En: *Actas de la XXXVII Reunión Científica de la Sociedad Española para el Estudio de los Pastos*, pp. 359-365. Sevilla-Huelva, España: Junta de Andalucía.
- ANDUEZA D., MUÑOZ F., MAISTERRA A. Y DELGADO I. (2001) Forage yield and crude protein content of lucerne cultivars established in the Ebro Middle Valley. Preliminary results. *Options Méditerranéennes. Serie A*, **45**, 73-76.
- ANSON S., DELGADO I. Y MUÑOZ F. (1997) Evaluación de la productividad de *Lolium rigidum* Gaud. *Pastos*, **XXVII(2)**, 165-176.
- ARNAL P. (2006) Semis direct dans la vallée moyenne de l'Ebre: Résumé des résultats et analyse économique. *Options Méditerranéennes. Serie A*, **69**, 79-85.
- BROOKES B., SMALL E., LEFKOVITCH L.P., DAMMAN H. Y FAIREY D.T. (1994) Attractiveness of alfalfa (*Medicago-sativa* L.) to wild pollinators in relation to wildflowers. *Canadian Journal of Plant Science*, **74**, 779-783.
- BUENDÍA-LÁZARO F. Y GARCÍA-SALMERÓN S. (1965) Género *Onobrychis*. En: *Estudio botánico, ecológico y pascícola de las principales especies espontáneas de los pastizales de montaña de nuestras regiones semiáridas. II. Monografías*. Madrid, España: M° de Agricultura.
- CABALLERO R. (2001) Typology of cereal-sheep farming Systems in Castile-La Mancha (south-central Spain). *Agricultural Systems*, **68**, 215-232.
- CORREAL E. Y SOTOMAYOR J.A. (1998) Sistemas de ovino-cereal y su repercusión en el medio natural. *Pastos*, **28(2)**, 137-180.
- DE CASTRO N.E.A., SIVA M.L.N., DE FREITAS D.A.F., DE CARVALHO G.J., MARQUES R.M. Y NETO G.F.G. (2011) Cover plants in water erosion control under natural rainfall. *Bioscience Journal*, **27**, 775-785.
- DE JAIME CH. (2011) *Interés ambiental del cultivo de pipirigallo (Onobrychis viciifolia): una investigación en el aula*. Zaragoza, España: Ed. Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón (CPNA).
- DELGADO I. (1984) Productividad de las principales especies forrajeras plurianuales en los secanos semiáridos (450-600 mm de pluviometría anual) de Aragón. *Pastos*, **XIV(1)**, 47-65.
- DELGADO I. (1988) Evaluación productiva de diferentes tipos de alfalfa en secano. En: *Actas de la XXVIII Reunión Científica de la Sociedad Española para el Estudio de los Pastos*, pp. 297-304. Soria, España: Sociedad Española para el Estudio de los Pastos.
- DELGADO I. (1992a) La utilización de leguminosas anuales de autorresiembrada en Aragón. En: *Actas de la XXXII Reunión Científica de la Sociedad Española para el Estudio de los Pastos*, pp. 114-117. Pamplona, España: Gobierno de Navarra.
- DELGADO I. (1992b) Nota técnica sobre la introducción de arbustos forrajeros en el secano aragonés. *ITEA*, **88A**, **2**, 129-132.
- DELGADO I. (1995) Evaluación de diferentes tipos de alfalfa en secano. *ITEA*, **91V(2)**, 120-128.
- DELGADO I. (1997) Evaluación de medicagos anuales y de su asociación con *Lolium rigidum* Gaud. En: *Actas de la XXXVII Reunión Científica de la Sociedad Española para el Estudio de los Pastos*, pp. 205-213. Sevilla-Huelva, España: Junta de Andalucía.
- DELGADO I. (2000) *Base forrajera para el establecimiento de ganaderías de ovino en el secano cerealista*. Zaragoza, España: Institución "Fernando el Católico", Diputación Provincial de Zaragoza.
- DELGADO I. (2007) La mielga (*Medicago sativa* L.): origen, caracterización y valor agronómico. *Pastos*, **XXXV(2)**, 5-25.
- DELGADO I. Y GOMEZ G. (1982) *Posibilidades de producción de forraje invernal en secanos semiáridos*. *Información*, 1/1982. Zaragoza, España: Diputación General de Aragón.
- DELGADO I., VALDERRABANO J. Y GOMEZ G. (1984) Interés forrajero de los cereales de invierno. Efecto de un despunte sobre la producción de grano. *Anales INIA, Serie Agrícola*, **25**, 115-128.
- DELGADO I. Y JOY M. (1987) Forage production in arid cereal growing areas. En: *Additional to the Bulletin n° 5. FAO European Cooperative Network on Pasture and Fodder Crop Production*, pp. 133-136. Montpellier, Francia: FAO.
- DELGADO I. Y HYCKA M. (1991) Características principales de las mielgas frente a los ecotipos cultivados de alfalfa. En: *Actas de la XXXI Reunión Científica de la Sociedad Española para el Estudio de los Pastos*, pp. 37-40. Murcia, España: Sociedad Española para el Estudio de los Pastos.
- DELGADO I., MUÑOZ F., LUNA L., PARDO J. Y LAZREG O. (1996) Aptitud forrajera de las poblaciones autóctonas de *Atriplex halimus* L. de Aragón. *Investigación Agraria: Producción y Sanidad Animales*, **11(1)**, 5-18.
- DELGADO I. Y ANDRES C. (1996) Evaluación de la aptitud forrajera de *Lolium rigidum* Gaud. En: *Actas de la XXXVI Reunión Científica de la Sociedad Española para el Estudio de los Pastos*, pp. 183-187. La Rioja, España: Sociedad Española para el Estudio de los Pastos.
- DELGADO I., ANDUEZA D. Y MUÑOZ F. (1998) Utilización de la planta entera de cereal como reserva de pasto *in situ* para la época estival. En: *Actas de la XXXVIII Reunión Científica de la Sociedad Española para el Estudio de los Pastos*, pp. 145-148. Soria, España: Sociedad Española para el Estudio de los Pastos.
- DELGADO I., CARDESA C., ALBIOL A. Y TANCO I. (2000) Producción de forraje y grano de la veza común en diferentes condiciones agroclimáticas de Aragón. En: *III Reunión Ibérica de Pastos y Forrajes*, pp. 325-330. Bragança, Portugal- A Coruña y Lugo, España: Xunta de Galicia.
- DELGADO I., ANDUEZA D., MUÑOZ F. Y LAHOZ F. (2004) Forage system to replace marginal rainfed cereal areas by sheep production. An experimental study. *Options Méditerranéennes. Serie A*, **60**, 263-266.
- DELGADO I., ANDRÉS C. Y MUÑOZ F. (2008) Effect of the environmental conditions on different morphological and agronomical characteristics of sainfoin. *Options Méditerranéennes. Serie A*, **79**, 199-202.
- DELGADO I., MUÑOZ F. Y DEMDOUM S. (2010) Caracterización y valor nutritivo de diferentes estados fenológicos de la esparceta. *Pastos*, **XI(1)**, 31-45.
- FANLO R., CHOCARRO C., LLOVERAS J., FERRAN X., SERRA J., SALVIA J., MUÑOZ F., ANDUEZA J. Y DELGADO I. (2006) Alfalfa production and quality in Northeast Spain. *Grassland Science in Europe*, **11**, 261-263.
- FAO (2011) www.fao.org/ag/ca/es.
- FERRER C. Y BROCA A. (1999) El binomio agricultura-ganadería en los ecosistemas mediterráneos. Pastoreo frente a "desierto verde". En: *Actas de la XXXIX Reunión Científica de la Sociedad Española para el Estudio de los Pastos*, pp. 310-334. Almería, España: Sociedad Española para el Estudio de los Pastos.
- HIDALGO F. (1973) La alfalfa, un cultivo para el secano. *Anales INIA. Serie Producción Vegetal*, **3**, 145-239.
- HYCKA M. (1974) Praderas artificiales en los secanos de condición extrema. *Anales de Aula Dei*, **12**, 208-233.
- HYCKA M. (1983) Variedades de alfalfa. *Anales de Aula Dei*, **16**, 318-328.
- HYCKA M. (1992) *Praderas artificiales, alternativa para el secano aragonés*. Zaragoza, España: Institución Fernando el Católico.
- HYCKA M. Y BENÍTEZ-SIDÓN J.M. (1979) Estudio de seis mezclas pratenses en el secano aragonés. *Anales de Aula Dei*, **14**, 395-416.

- JOY M. Y DELGADO I. (1989) Posibilidades forrajeras de los cereales de invierno en un secano árido. *ITEA*, **82**, 13-21.
- KALLENBACH R., MATCHES A. Y MAHAN J. (1996) Sainfoin regrowth declines as metabolic rate increases with temperature. *Crop Science*, **36**, 91-97.
- KOTSCHI J. Y MÜLLER-SÄMAN K. (2004) *The Role of Organic Agriculture in Mitigating Climate Change – A Scoping Study*. Bonn, Alemania: International Federation of Organic Agriculture Movements (IFOAM).
- MANGADO J.M. Y EGUINO P. (2003) Asociaciones forrajeras cereal-leguminosa en cultivo ecológico en la Navarra húmeda. En: Robles A. B. *et al.* (Eds) *Pastos, desarrollo y conservación*, pp. 93-98. Granada, España: Junta de Andalucía.
- MARM (1979-2010) *Anuario de estadística agraria*. <http://www.marm.es/es/estadistica/>
- MARM (2001-2010) *Resultados técnico-económicos de explotaciones agrícolas de Aragón*. <http://www.aragon.es/portal/site/GobiernoAragon/menuitem.477320abc768cdc3871e10d354a051ca/>
- MONSERRAT P. (1956) *Los pastizales aragoneses. Avance sobre los pastos aragoneses y su mejora*. Madrid, España: Ministerio de Agricultura.
- MONSERRAT P. (1974) Aprovechamiento óptimo de pastizales en secano. En: *Memoria del Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura*, pp. 35-59. Murcia, España: CSIC.
- OLMOS G. (2006) *Valoración de la cebada en diferentes estados fenológicos como recurso forrajero para el ganado ovino en pastoreo en zonas áridas*. Tesis doctoral, 276 pp. Facultad de Veterinaria, Zaragoza, España.
- ORÚS F. (1975) *Resumen de resultados. Campos de ensayo de praderas en secano. Comarca del Alto Jiloca. Información Técnica nº 6*. Zaragoza, España: Ed. Centro Regional del Servicio de Extensión Agraria.
- OUVRY J.F., LE BISSONNAIS Y., MARTIN P., BRICARD O. Y SOUCHERE V. (2010) Grass covers as tools for reduction of soil losses by water erosion (a synthesis of knowledge and information gained in Upper Normandy). *Fourrages*, **202**, 103-110.
- PROSPERI J.M., DELGADO I. Y ANGEVAIN M. (1989) Prospección du genre *Medicago* en Espagne et au Portugal. *FAO/IBPGR Plant Genetic Resources Newsletter*, **78/79**, 5-9.
- SAYÉS J.J. (2006) Agricultura y ganadería compatibles en los secanos semiáridos.1. *Navarra Agraria*, **154**, 49-64.
- SEMPLE A.T. (1974) *Avances en pasturas conservadas y naturales*. Buenos Aires, Argentina: Ed. Hemisferio Sur.
- SIRAMI C., BROTONS L., BURFIELD I., FONDERFLICK J. Y MARTIN J.L. (2008) Is land abandonment having an impact on biodiversity? A meta-analytical approach to bird distribution changes in the north-western Mediterranean. *Biological Conservation*, **141**, 450-459.
- VALIENTE O.L. (2003) *Valoración de la cebada en pie y de su rastrojera como dietas de verano para el ganado ovino en pastoreo*, 296 pp. Tesis doctoral. Facultad de Veterinaria, Universidad de Zaragoza, España.
- WOLFF A., PAUL J.P., MARTIN J.L. Y BRETAGNOLLE V. (2001) The benefits of extensive agriculture to birds: the case of the little bustard. *Journal of Applied Ecology*, **38**, 963-975.
- ZUAZO V.H.D. Y PLEGUEZUELO C.R.R. (2008) Soil-erosion and runoff prevention by plant covers. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, **28**, 65-86.

Evaluación del estado de nutrición nitrogenada de cultivos forrajeros de invierno en la cornisa cantábrica

Evaluation of the nitrogen nutrition state of winter forage crops in the north of Spain

J. BUSQUÉ MARCOS / A.L. GONZÁLEZ HOYOS

Centro de Investigación y Formación Agrarias. Gobierno de Cantabria. c/ Héroes del 2 de Mayo, 27. E-39600 Muriedas juanbusque@cifacantabria.org

Resumen: La gestión de la fertilización nitrogenada es clave en la productividad forrajera en la cornisa cantábrica, donde el purín es el fertilizante más utilizado en las explotaciones ganaderas. La mayoría de las recomendaciones de fertilización continúan basándose en análisis edáficos o estimaciones de extracción del cultivo que no reflejan la disponibilidad real de nutrientes para las plantas. El objetivo de nuestro trabajo es evaluar en una ganadería de leche dos técnicas de medición del estado nutricional de nitrógeno de cultivos forrajeros invernales mediante análisis de material vegetal. La primera técnica, más laboriosa y considerada de referencia, consistió en el cálculo directo del Índice de Nutrición Nitrogenada (INN). La segunda técnica, de más fácil determinación, consistió en el cálculo de la concentración de nitrógeno en las hojas más altas de la gramínea dominante (Nup), analizando posteriormente su relación con el INN. Los resultados obtenidos indicaron respuestas diferentes en el INN de los cultivos a la aplicación inicial de purín (baja), a la aplicación posterior de fertilizante químico (positiva) y a la participación de leguminosas en el cultivo (positiva). Asimismo se comprobó la existencia de una relación estrecha entre el INN y el Nup, lo que resulta prometedor para la aplicación futura de esta técnica en las explotaciones.

Palabras clave: índice de nutrición nitrogenada, nitrógeno crítico, purín, leguminosas.

Abstract: Nitrogen fertilisation, especially from slurry in dairy farms, is a key factor in forage productivity in northern Spain. Most technical advisory on fertilisation is still done based on soil analyses or estimations of crop extractions, which do not reflect the real availability of nutrients to plants. The aim of our work has been to evaluate under field conditions the usefulness of two analytical techniques to measure the nutritional state of forage crops based on plant material. The first technique, more laborious and considered as reference, consisted on the calculation of the Nitrogen Nutrition Index (NNI). The second technique, easier in its determination, calculated the nitrogen concentration in the upper leaves of the dominant grass species (Nup), analysing afterwards its relation with NNI. The results obtained indicated contrasted responses of the NNI of the crops: low to the initial slurry application, and positive to the posterior application of a chemical fertilizer and to the participation of legumes in the crop. Finally, a narrow relationship was found between NNI and Nup, which is promising for the future application of this technique at the farm level.

Key-words: nitrogen nutrition index, critical nitrogen, slurry, legumes.

INTRODUCCIÓN

Las explotaciones de vacuno de leche de la cornisa cantábrica necesitan producir forrajes propios de forma barata y no contaminante para alcanzar su sostenibilidad. Las condiciones climáticas de esta región son muy adecuadas para desarrollar rotaciones de maíz forrajero en verano y gramíneas o mezclas de gramíneas y leguminosas seleccionadas en invierno. La fertilización nitrogenada de estos cultivos es clave para alcanzar buenos rendimientos, pero dosis excesivas o mal distribuidas pueden dar lugar a problemas de contaminación atmosférica y de acuíferos subterráneos (Salcedo, 2010). El purín producido en la propia explotación es la fuente principal de fertilización en las explotaciones de leche del norte de España, complementándose puntualmente con

abonados químicos. En el caso de cultivos forrajeros de invierno la fertilización con purín se suele realizar en otoño, con un riesgo alto de pérdidas de N como lixiviación de nitratos por coincidir muchos años precipitaciones abundantes y temperaturas relativamente bajas.

Por otra parte, es todavía común evaluar las necesidades nutricionales de los cultivos forrajeros en base únicamente a los resultados de análisis edafológicos o a estimaciones de extracción del cultivo, lo cual no tiene una relación inequívoca con el estado nutricional de las plantas (Gastal y Lemaire, 2002). Como alternativa y en el caso del nitrógeno, se utiliza ya desde hace casi veinte años un índice de nutrición nitrogenada de los cultivos (INN), que computa la relación entre su concentración en nitrógeno (N actual: Na) y el nitrógeno mínimo (N crítico: Nc) que produce los crecimientos máximos para la biomasa forrajera presente (Ba). La relación entre Nc y Ba está bien establecida para cultivos de grandes grupos de plantas (grupos según su ruta fotosintética C3 y C4), siguiendo curvas exponenciales, comúnmente conocidas como de dilución del nitrógeno. Se considera que valores de INN por debajo de 0,8 indican deficiencias de nitrógeno en el cultivo y por encima de 1,2 excesos, generalmente en forma de nitratos y con riesgos asociados de lixiviación.

El objetivo de este trabajo es aplicar el índice INN en cultivos forrajeros de invierno de una explotación ganadera de la comarca litoral de Cantabria, relacionando los resultados obtenidos con la gestión de la fertilización realizada. Asimismo, y con la finalidad de facilitar la aplicación de esta metodología en la práctica, se ha probado también la fiabilidad de una metodología indirecta y más rápida de estimación del INN, a través de mediciones del nitrógeno en las hojas más altas de las plantas forrajeras (Farrugia *et al.*, 2004).

MATERIAL Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en cuatro fincas cultivadas de una explotación lechera del municipio de Santillana del Mar (Cantabria; 43°22'50"N 4°04'20"O; altitud: 30 m.s.n.m.). Todas las fincas seguían una rotación de maíz forrajero y diferentes cultivos forrajeros de invierno, siendo representativas de este tipo de rotación en la cornisa cantábrica. Los suelos de las fincas son en su mayor parte phaeozems calcáreos y están clasificados como de alta o muy alta capacidad de uso agrario (Zonificación Agroecológica de Cantabria; www.cartotecaagraria.com/marc.html; 2005). Las características principales de las fincas y de los cultivos forrajeros se muestran en la tabla 1.

Las fincas se sembraron a principios de octubre de 2009, tras la aplicación de purín a una dosis aproximada de 60 000 L ha⁻¹ mediante un sistema de inyección al suelo, y equivalente a una dosis (kg ha⁻¹) de 120 N, 73 P₂O₅ y 204 K₂O. A principios de marzo se realizó una aplicación de 150 kg ha⁻¹ de fertilizante nitrogenado granulado con una riqueza en nitrógeno del 31% (27% en forma ureica y 4% en forma amoniacal; Rizhovit – TIMAC Agro, S,A). La climatología del periodo de desarrollo de los cultivos se muestra en la figura 1.

Tabla 1. Características agronómicas de las fincas del estudio.

	Finca I	Finca II	Finca III	Finca IV								
Superficie (ha)	6,6	6,3	0,8	5,4								
Pendiente (%)	7,2	8,6	3,3	5,5								
Siembra	Laboreo tradicional	Siembra directa	Siembra directa	Siembra directa								
Dosis (kg ha⁻¹)	45	75	45	45								
Mezcla	<i>L. multiflorum</i> 'westerworld' 80% <i>T. incarnatum</i> 10% <i>T. resupinatum</i> 10%	<i>L. multiflorum</i> 'westerworld' 80% <i>T. repens</i> 10% <i>Vicia villosa</i> 10%	<i>L. multiflorum</i> 'westerworld' 80% <i>T. incarnatum</i> 10% <i>T. resupinatum</i> 10%	<i>L. multiflorum</i> 'westerworld' 80% <i>T. incarnatum</i> 10% <i>T. resupinatum</i> 10%								
Análisis edafológico (horizontes -cm-)												
	0-10		30-40		0-10		30-40					
pH	7,1	5,7	7,2	6,9	7,0	6,2	7,0	5,6				
MO (%)	6,6	1,4	4,2	1,3	5,7	0,7	7,7	1,9				
C/N	8,5	6,3	8,1	6,9	6,0	5,0	8,1	7,6				
Textura (USDA)	Franco-Limoso	Franco-Arcilloso	Franco-Limoso	Franco-Limoso	Franco	Franco-Arcilloso	Franco	Franco				
P (ppm; Olsen)	22,3	1,6	20,1	3,2	21,1	1,8	49,2	5,6				
Ca (ppm)	4539	2055	3507	2425	3892	1735	4919	2179				
Mg (ppm)	557	257	255	132	338	164	414	403				
K (ppm)	345	126	321	91	164	68	417	112				
CIC (cmol_c/kg)	30,3	30,2	22,4	18,8	24,2	17,7	33,6	24,0				
Composición Botánica (Gramíneas - Leguminosas - Otras, % sobre MS)												
	Gra	Leg	Otr	Gra	Leg	Otr	Gra	Leg	Otr	Gra	Leg	Otr
Media	93,6	1,4	5,0	81,1	18,2	0,7	91,6	7,5	0,9	97,3	2,4	0,3
d.t.	3,55	0,67	3,03	2,57	2,29	0,50	7,47	7,15	0,26	0,94	0,93	0,23

El diseño experimental se ajustó a un modelo jerárquico con medidas repetidas. La toma de muestras de forraje se realizó en cuatro fechas distintas, dos antes de la aplicación del fertilizante químico (25 de febrero y 4 de marzo) y dos después (11 de marzo y 9 de abril), y en tres zonas bien definidas dentro de cada una de las cuatro fincas. Se recolectaron en paralelo y mediante una segadora de mano eléctrica y también manualmente muestras de dos tipos: (a) biomasa forrajera total en un m² de superficie de pasto (Ba; expresado en t MS ha⁻¹), y (b) una cantidad suficiente (~30 g MS) de puntas de las hojas verdes superiores de plantas de raigrás italiano localizadas en los alrededores de la muestra recogida del tipo (a). Del muestreo (a) se extrajeron submuestras para determinar su composición botánica en peso (tabla 1). Las muestras (a) y (b) se secaron en estufa a 60°C durante 48 horas, se pesaron y se analizó su concentración de nitrógeno (N_p, expresado en % sobre la MS) por el método Kjeldahl. El muestreo (a) sirvió para el cálculo directo del INN, mientras que el muestreo (b) tuvo el objetivo de probar su utilidad como método indirecto de estimación del INN, basándose en la posible correlación entre la concentración de nitrógeno en las puntas de las hojas más

altas (Nup) y el INN (Farrugia *et al.*, 2004). El INN se calculó utilizando la siguiente ecuación (Gastal y Durand, 2001):

$$INN = \frac{N_p}{4,8 \times B_c} \quad (1)$$

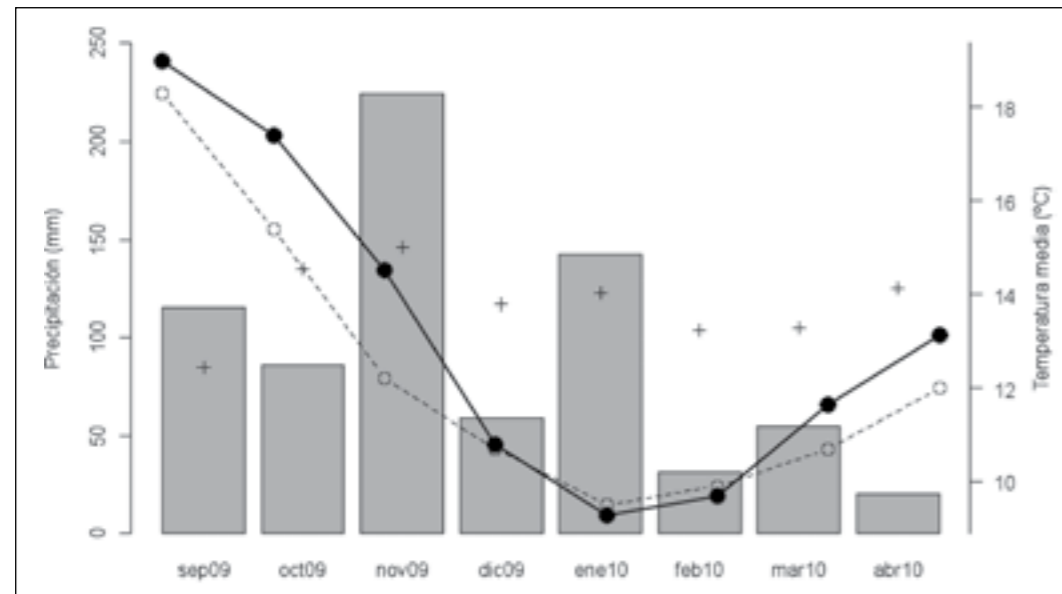


Figura 1. Precipitación y temperaturas medias mensuales en el periodo de estudio (barras y línea continua) y en el periodo 1971-2000 (cruces y línea discontinua) para la estación meteorológica de Santander (fuente: AEMET).

El diseño experimental permitió ajustar los resultados a modelos lineales mixtos, donde la finca y la zona anidada a la finca se consideraron inicialmente como efectos aleatorios. Un primer análisis consideró el INN como variable respuesta, el momento respecto la aplicación del fertilizante (MF) como efecto fijo (2 niveles: antes y después) y el porcentaje de leguminosas en la muestra forrajera (pLeg) como covariable. Se realizó un segundo análisis de covarianza para estudiar la posible relación entre el Nup (variable respuesta) y el INN, probando también los posibles efectos de MF y pLeg. Con el objetivo de buscar los modelos más parsimoniosos, en los dos análisis se escogieron aquéllos que minimizaran de forma significativa el estadístico AIC (Akaike Information Criteria). Los análisis estadísticos se realizaron con el paquete “nml” (Pinheiro y Bates, 2000) del programa R (R Development Core Team, 2009, <http://www.R-project.org>).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los valores de biomasa de las muestras de forraje analizadas fueron bajos (alrededor de las 2 t MS ha⁻¹) hasta la tercera fecha de muestreo (11 de marzo; figura 2), principalmente debido a las bajas temperaturas del invierno (fig. 1). En cuanto a los valores

de INN, casi todas las muestras tuvieron valores inferiores a 0,8 (fig. 2), lo que indica déficits de nitrógeno que se tradujeron en crecimientos del pasto por debajo de los considerados óptimos (Gastal y Durand, 2001). A pesar de la fuerte fertilización con purín previa a la siembra, su escaso efecto sobre los valores de INN del pasto en los dos primeros controles fue posiblemente resultado del lavado del nitrógeno por las fuertes lluvias ocurridas en noviembre y también por las bajas temperaturas invernales (fig. 1).

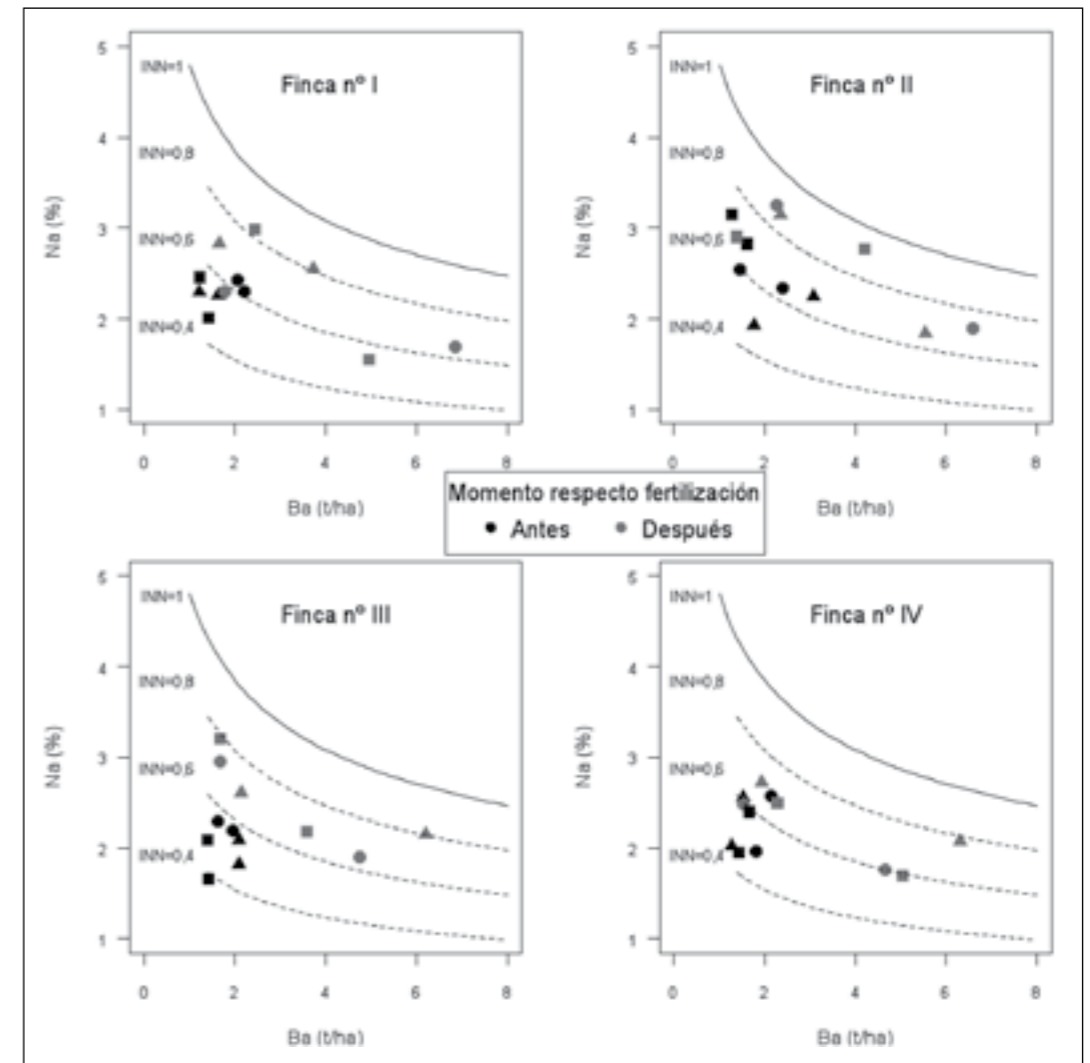


Figura 2. Valor del Índice de Nutrición Nitrogenada (INN) de las muestras de forraje recolectadas según su posición respecto a los valores de biomasa forrajera (Ba) y concentración de nitrógeno (Na). Cada figura representa los valores de una de las fincas, y cada tipo de punto (cuadrado, circular y triangular) una zona diferente dentro de cada finca. Los colores de los puntos diferencian el momento del muestreo respecto a la aplicación de fertilización mineral (5-6 de marzo).

El primer análisis mostró que el INN aumentó significativamente ($p < 0,001$) con el aporte del fertilizante químico ($+0,15 \pm 0,024$ error típico) y linealmente con el por-

centaje de leguminosas en el forraje ($+0,005 \pm 0,0011$ e.t.). No existió una interacción significativa entre estos dos efectos. El INN se estimó con un valor de partida (antes de la aplicación del fertilizante y para una muestra de forraje sin leguminosas) de 0,53 ($\pm 0,019$ e.t.). El fuerte incremento de INN con la aplicación del fertilizante químico evidencia su gran efectividad, con una rápida absorción por las plantas facilitada también por la subida de las temperaturas. El efecto de incorporar leguminosas en la mezcla forrajera también fue notable, con 5 puntos de incremento del INN por cada 10% de biomasa forrajera como leguminosas. En la finca II, con un 18% de media de leguminosas (tabla 1), esto supuso 9 puntos adicionales de INN. La falta de una interacción significativa entre MF y pLeg indica que, dentro de los valores encontrados en este ensayo, ambos efectos se comportaron como aditivos.

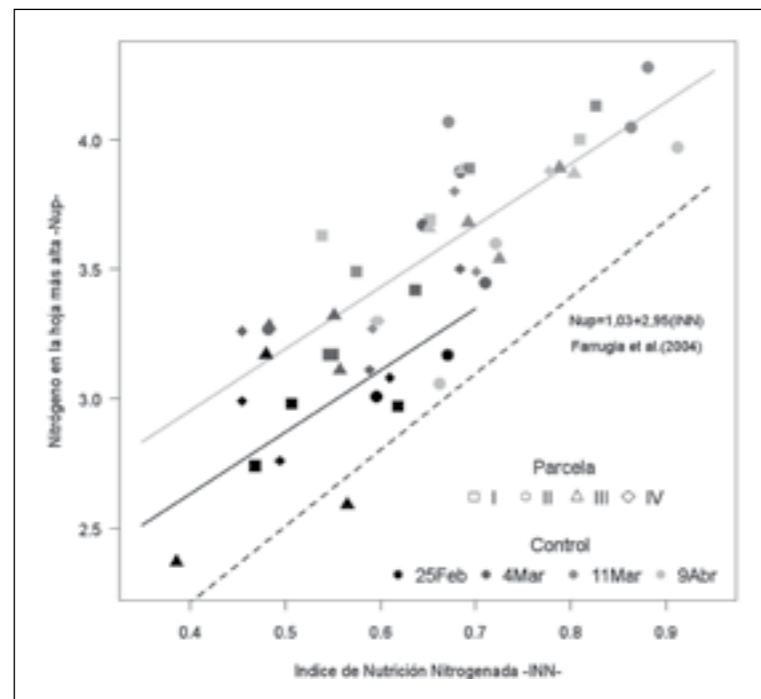


Figura 3. Relación entre el Índice de Nutrición Nitrogenada (INN) y la concentración de nitrógeno (% sobre MS) en las hojas más altas del dosel del pasto (Nup). Las líneas continuas representan las regresiones específicas para el primer control (negra) y para los siguientes (gris). La línea discontinua corresponde a la encontrada por Farrugia *et al* (2004).

El segundo análisis indicó la existencia de una relación lineal estrecha entre el INN y el Nup, aunque se observaron diferencias en el intercepto de la regresión según la fecha de muestreo (fig. 3): $1,68 (\pm 0,173$ e.t.) en el primer muestreo (25 de febrero) y $0,32 (\pm 0,082)$ más en los siguientes muestreos, que no fueron significativamente diferentes entre sí. Esta diferencia podría achacarse a las temperaturas más bajas en el entorno del primer muestreo, lo que hubiera podido afectar en mayor medida a las

hojas en crecimiento más altas, pero también más expuestas al ambiente externo. Por su parte, las pendientes de las regresiones fueron iguales, al no resultar significativa la interacción entre el INN y la fecha de muestreo. Esta pendiente tuvo un valor de $2,39 (\pm 0,296)$, con un intervalo de confianza al 95% de 1,81-2,97, que incluye el valor de la pendiente obtenida en el trabajo de Farrugia *et al.* (2004) (fig. 3). Las diferencias de las condiciones de nuestro estudio con respecto a las de este último trabajo fueron notables, tanto en el tipo de pasto, cultivo vs. pradera, en la época de análisis, otoño-invierno vs. primavera-verano, y en el rango de INN abarcado (0,4-0,9 vs. 0,4-1,3).

CONCLUSIONES

El cálculo directo o indirecto del índice de nutrición nitrogenada (INN) ha permitido evaluar la respuesta productiva de los cultivos forrajeros de invierno de una ganadería a tres fuentes de nitrógeno diferentes: purín aplicado en presiembra, fertilizante de síntesis aplicado al inicio de primavera y leguminosas del cultivo. Los resultados obtenidos sugieren la necesidad de profundizar en el estudio de la interacción y complementariedad de estos aspectos para mejorar la eficiencia de la fertilización en estos tipos de pasto.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos la ayuda prestada por D. Jerónimo Ventisca, de la ganadería S.A.T. Ventisca, así como al personal del laboratorio del CIFA, por los análisis realizados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- FARRUGIA A., GASTAL F. Y SCHOLEFIELD D. (2004) Assessment of the nitrogen status of grassland. *Grass and Forage Science*, **59**, 113-120.
- GASTAL F. Y DURAND J. (2001) Effects of nitrogen and water supply on N and C fluxes and partitioning in defoliated swards. En: Lemaire G. *et al.* (eds) *Grassland ecophysiology and grazing ecology*, pp. 15-39. Wallingford, Reino Unido. CABI Publishing.
- GASTAL F. Y LEMAIRE G. (2002) N uptake and distribution in crops: an agronomical and ecophysiological perspective. *Journal of Experimental Botany*, **53(370)**, 789-799.
- PINHEIRO J.C. Y BATES D.M. (2000) *Mixed-effects models in S and S-PLUS*. Nueva York, E.E.U.U. Springer.
- SALCEDO G. (2010) *Manual de mejora ambiental de las explotaciones lecheras de Cantabria*. Cantabria, España: CIMA, Gobierno de Cantabria.

Influencia de la densidad de siembra, el corte y la dosis de nitrógeno en el desarrollo del triticale de doble aptitud

Influence of sowing density, cut and nitrogen rate in the development of a dual purpose triticale (forage and grain)

F. LLERA CID / V. CRUZ SOBRADO / A. M. RIVERA MARTÍN*

Centro de Investigación "La Orden-Valdealsequera". Consejería de Empleo, Empresa e Innovación. Junta de Extremadura. Finca "La Orden". Ctra. N-V. km 372. E-06187 Guadajira. Badajoz (España)
veronica.cruz@juntaextremadura.net

Resumen: Se ha estudiado el retraso en grados días⁻¹ que se produce en las fases de desarrollo del cultivo del triticale (*X Triticosecale* Wittmack) de doble aptitud (forraje y grano), cv. Verato, cuando es cortado (pastoreo simulado) en dos ocasiones antes del encañado. Para ello se diseñó un ensayo en split split plot con cuatro repeticiones, donde la parcela principal fue la densidad de siembra (400, 500 y 600 plantas m⁻²), la subparcela el número de cortes (sin cortar, un corte y dos cortes) y la sub-subparcela la dosis de nitrógeno (0, 75 y 125 kg N ha⁻¹). Se determinó el tiempo térmico a inicio de encañado, a inicio de espigado, a floración y a inicio de grano pastoso. El número de cortes influyó significativamente en el retraso del ciclo de desarrollo del cultivo. El nitrógeno influyó de forma significativa en las fases de inicio de encañado, floración e inicio de grano pastoso, siendo la dosis de 0 kg N ha⁻¹ la que provocó un mayor retraso. La dosis de siembra no tuvo influencia en el ciclo de desarrollo del cultivo.

Palabras clave: *X Triticosecale*, fertilización, pastoreo, densidad de plantas.

Abstract: The objective of this work was to study the delay in degree days in the development phenological stages of triticale (*X Triticosecale* Wittmack) with dual purpose (forage and grain), cv. Verato, when simulated grazing was performed on two occasions. To this purpose, a trial design in split split plot was performed with four replicates where the main plot was the sowing density (400, 500 and 600 plants m⁻²), the subplot was the number of cuts (no cut, one cut and two cuts) and the sub-subplot was the dosage of nitrogen applied (0, 75 and 125 kg N ha⁻¹). The degree day was determined at start of tillering, at early boot, at flowering and at early dough grain. The number of cuts significantly influenced the delay in the development cycle of the crop. Nitrogen significantly influenced the stages of start of tillering, flowering and early dough grain, with the doses of 0 kg N ha⁻¹ which caused a further delay. The sowing density had no influence on the development of the crop cycle.

Key words: *X Triticosecale*, fertilization, grazing, sowing density.

INTRODUCCIÓN

El Triticale (*X Triticosecale* Wittmack) es el primer híbrido fértil intergenérico obtenido por el hombre en 1888 mediante cruzamientos entre trigo (*Triticum* spp.) y centeno (*Secale* spp.). A finales de 1980 con el fin de ampliar la variabilidad existente en los triticales de la época, se iniciaron en el CIMMYT (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo) nuevos cruzamientos con parentales diferentes a los empleados hasta entonces, observándose que algunas descendencias tenían un elevado ahijamiento y una gran capacidad de rebrote tras la siega. Estas características le confirmaron la posibilidad de ser utilizados como cereal de doble aptitud: forraje y grano. La versatilidad de este cultivo proporciona alternativas de producción de forraje invernal (Amigone *et al.*, 2005). Estos triticales, por su rápido crecimiento durante las primeras fases del desarrollo de la planta en ausencia de

bajas temperaturas, admiten uno o dos aprovechamientos al principio y/o al final del invierno, dependiendo tanto del ciclo como de la fecha de siembra, lo que puede hacerse mediante pastoreo directo con ganado. Para ello resulta fundamental realizar el primer aprovechamiento en el momento óptimo, lo que viene a coincidir con el final de la fase de ahijado y antes del comienzo del encañado, debiendo finalizarse dicho aprovechamiento cuando se detecta en superficie el meristemo terminal (Miller *et al.*, 1993). Es sumamente importante recalcar que un aprovechamiento más tardío podría disminuir la capacidad de rebrote posterior si se corta el meristemo de crecimiento (Royo *et al.*, 1994), pudiendo influir en el posterior desarrollo del triticale. Tras el pastoreo, la planta ha de regenerar de nuevo toda su parte aérea con el consecuente retraso en el desarrollo fenológico del cultivo.

Atendiendo a estas premisas, el triticale de doble aptitud se convierte en un cultivo con un alto potencial agronómico y económico a tener en cuenta por los agricultores españoles (Oettler, 2005).

El desarrollo es el paso de la planta, desde la germinación hasta la madurez, por una serie de fases que, en la mayor parte de los cultivos, están bien definidas (Gregory, 1992). En el caso de los cereales sigue siempre el siguiente proceso: germinación, nascencia, ahijado, encañado, espigado, floración, fecundación, llenado de los granos, madurez fisiológica y senescencia del cultivo. Estas fases cuando están bien definidas, sirven de base para sistemas de descripción precisa del desarrollo morfológico (Llera, 1998). Igual que sucede en cereales como el trigo y la cebada, los principales factores que influyen en la velocidad de desarrollo del triticale son la temperatura y el fotoperíodo (Vince-Prue, 1975; González *et al.*, 2003; Whitechurch *et al.*, 2007). No obstante, los aportes crecientes de nitrógeno provocan que las hojas permanezcan verdes más tiempo y, en general, prolongan la duración de las etapas vegetativas, retrasando el desarrollo de las reproductivas y de la maduración (Wild y Jones, 1992).

Igual que el resto de los cultivos, el triticale extrae los nutrientes del suelo que luego serán ingeridos por los animales, por lo que es necesario aplicar fertilizantes para reemplazar las pérdidas netas de nutrientes (Sinclair, 1991). En el caso del nitrógeno, su aplicación se debe llevar a cabo después de cada aprovechamiento. Si sólo se aprovecha una vez como forraje, la cantidad estaría alrededor de los 40 kg N ha⁻¹ y si se dan dos aprovechamientos, se deberían aplicar 40 kg N ha⁻¹ en cada uno (Llera *et al.*, 1997). En cereales, la fertilización nitrogenada no tiene una gran influencia sobre el número de hojas, ya que el efecto principal es producir mayor superficie foliar por el aumento del tamaño de cada una de ellas (Llera, 1998). En el período de postfloración el LAI (índice de área foliar) y la LAD (duración de área foliar) están influenciados por la fertilización, en especial por la aplicación tardía de nitrógeno, en el encañado (Ferro, 2010), hecho directamente relacionado con el retraso en el desarrollo de las fases reproductivas y de maduración. En este sentido, Bauer *et al.* (1987) constataron que el LAI disminuyó cuando descendió la disponibilidad de nitrógeno y agua. Posteriormente, Llera (1998) comprobó que el LAI máximo y el LAD total aumentan a medida que lo hacen las dosis de nitrógeno aplicadas.

En este trabajo se pretende estudiar el retraso que se produce en las fases de desarrollo del cultivo de triticale de doble aptitud (forraje y grano), cv. Verato, y la influencia que ejerce sobre el mismo la densidad de siembra, el número de cortes y la dosis de nitrógeno.

MATERIAL Y MÉTODOS

El ensayo se llevó a cabo durante la campaña agrícola 2009-2010 en una parcela (Latitud 38° 51' 34" N y Longitud 6° 39' 57" W) del Centro de Investigación "La Orden-Valdesequera" del término municipal de Guadajira (Badajoz), propiedad de la Junta de Extremadura, en condiciones de secano. La precipitación total alcanzó los 731,8 mm, prácticamente el doble de la de un año normal. El suelo, clasificado como Alfisol, presentó una textura franco-arenosa con un bajo porcentaje en materia orgánica (0,61%) y un pH próximo a la neutralidad (6,97).

El material vegetal utilizado fue un triticale de doble aptitud cv. Verato, obtenido por el Departamento de Cultivos Extensivos del Centro de Investigación "La Orden-Valdesequera" de la Junta de Extremadura. Las labores preparatorias consistieron en un pase cruzado de grada de disco sobre un rastrojo de cereal y un pase de rotovator. No se realizó ningún tipo de tratamiento fitosanitario. Para la siembra se utilizó una sembradora de chorrillo con seis botas separadas 20 cm. Los distintos abonados realizados se resumen en la tabla 1.

Tabla 1. Dosis de elementos fertilizantes utilizados en el abonado de fondo y en las dos coberteras (kg N ha⁻¹).

Tratamiento	Abonado de Fondo			1ª Cobertera	2ª Cobertera
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	N
N2 = 125 kg N ha ⁻¹	50	42	90	50	25
N1 = 75 kg N ha ⁻¹	25	42	90	50	0
N0 = 0 kg N ha ⁻¹	0	42	90	0	0

Se realizaron dos pastoreos simulados. El primero se realizó cuando la planta se encontraba en el estadio 30 de la escala Zadocks *et al.* (1974), utilizando una segadora manual de peine frontal, que realizaba el corte de la planta a una altura entre dos y tres centímetros sobre el nivel del suelo. Pasados dos meses se realizó el segundo corte con la misma segadora manual pero a una altura entre seis y siete centímetros.

Para la determinación de las unidades de tiempo térmico en grados días desde nascencia hasta inicio de encañado (UTIEN), inicio de espigado (UTIES), floración (UTF) e inicio de grano pastoso (UTIGP) se tomó la fenología del cultivo y se calculó el sumatorio de las temperaturas medias diarias menos la temperatura base (0 °C) desde la nascencia hasta cada una de las fases de desarrollo del cultivo estudiadas.

El diseño estadístico fue un split split plot con cuatro repeticiones, siendo la parcela principal la densidad de siembra (D1-400 plantas m⁻², D2-500 plantas m⁻² y D3-600

plantas m⁻²), la subparcela el número de cortes (C0-SIN corte, C1-Un corte y C2-Dos cortes) y la sub-subparcela las dosis de nitrógeno aplicadas antes de la siembra, después del primer corte y después del segundo corte (N0-SIN nitrógeno (0-0-0), N1-75 kg ha⁻¹ (25-50-0) y N2-125 kg ha⁻¹ (50-50-25)). La unidad experimental estaba constituida por dos parcelas de 1,5 m de ancho y 10 m de longitud.

El análisis estadístico de los datos se llevó a cabo mediante un análisis de la varianza de modelo factorial (split split plot) con tres factores fijos (densidad de siembra, número de cortes y dosis de nitrógeno) y uno de efecto aleatorio (repeticiones). Mediante este diseño se determinó el efecto de la densidad de siembra, número de cortes y dosis de nitrógeno sobre el retraso en las fases de desarrollo del triticale. Si el análisis mostraba diferencias significativas, se calculaba la mínima diferencia significativa mediante el test de LSD para el nivel de probabilidad del 95%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 2, se muestra el análisis estadístico de los tiempos térmicos obtenidos para el estudio del retraso en las fases de desarrollo del cultivo del triticale, tras ser aprovechado en dos ocasiones.

Tabla 2. Unidades térmicas desde nascencia hasta inicio de encañado (UTIEN), inicio de espigado (UTIES), floración (UTF) e inicio de grano pastoso (UTIGP) en función de la densidad de siembra, el número de cortes y la dosis de abonado nitrogenado. Campaña 2009/2010.

	UTIEN	UTIES	UTF	UTIGP	Significación								
Densidad (D) (plantas m⁻²)													
D1: 400	709,65	a	1698,4	a	1925,0	a	2199,7	a	D	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
D2: 500	705,27	a	1708,5	a	1932,8	a	2188,3	a	C	N.S.	***	***	***
D3: 600	705,77	a	1686,3	a	1933,1	a	2183,8	a	N	***	N.S.	***	*
Corte (C)													
C2: Dos Cortes	707,06	a	1799,8	a	2019,8	a	2274,1	a	DxC	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
C1: Un Corte	707,86	a	1686,2	b	1926,6	b	2183,7	b	DxN	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
C0: Sin cortar	705,77	a	1607,2	c	1844,4	c	2113,9	c	CxN	N.S.	***	***	N.S.
									DxCxN	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
Nitrógeno (N) (kg ha⁻¹)													
N1: 0	714,63	a	1695,4	a	1952,8	a	2230,7	a	Media	706,90	1697,7	1930,3	2190,6
N2: 75	704,76	b	1705,9	a	1922,5	b	2186,5	a	C.V.(%)	1.33	4.8	1.18	5.93
N3: 125	701,30	b	1691,9	a	1915,5	b	2154,5	b	Nota: * (P<10%), *** (P<1%)				
									N.S. (No Significativo; P≥10)				

Influencia de la densidad

El tiempo térmico acumulado en todas las fases de desarrollo del cultivo, no mostró diferencias significativas para las distintas densidades de siembra. Fischer *et al.* (1976) observaron una influencia acentuada de la densidad en la duración del ciclo del cultivo de los cereales. Además, verificaron que una densidad doble redujo el período desde la emergencia al espigado en tres días, y el período desde la emergencia a maduración, en dos días. Dicha influencia estuvo, probablemente, provocada por la competencia entre

plantas por el agua y los nutrientes. En esta campaña, con una pluviometría muy superior a la media, la disponibilidad de agua no ha sido un factor limitante para el desarrollo de las plantas y por tanto, no ha sido motivo de competencia entre ellas.

Interacción número de cortes por dosis de nitrógeno

El número de cortes influye en el tiempo térmico necesario para alcanzar la fase de inicio de espigado, floración e inicio de grano pastoso. A medida que se producen más cortes, el cultivo tarda más en alcanzar estas dos fases de desarrollo. Esto es así, menos en la fase de inicio de espigado y para la combinación de un corte y la dosis sin abonar (fig. 1). Este retraso reduce la probabilidad de daños por posibles heladas en la fase de floración.

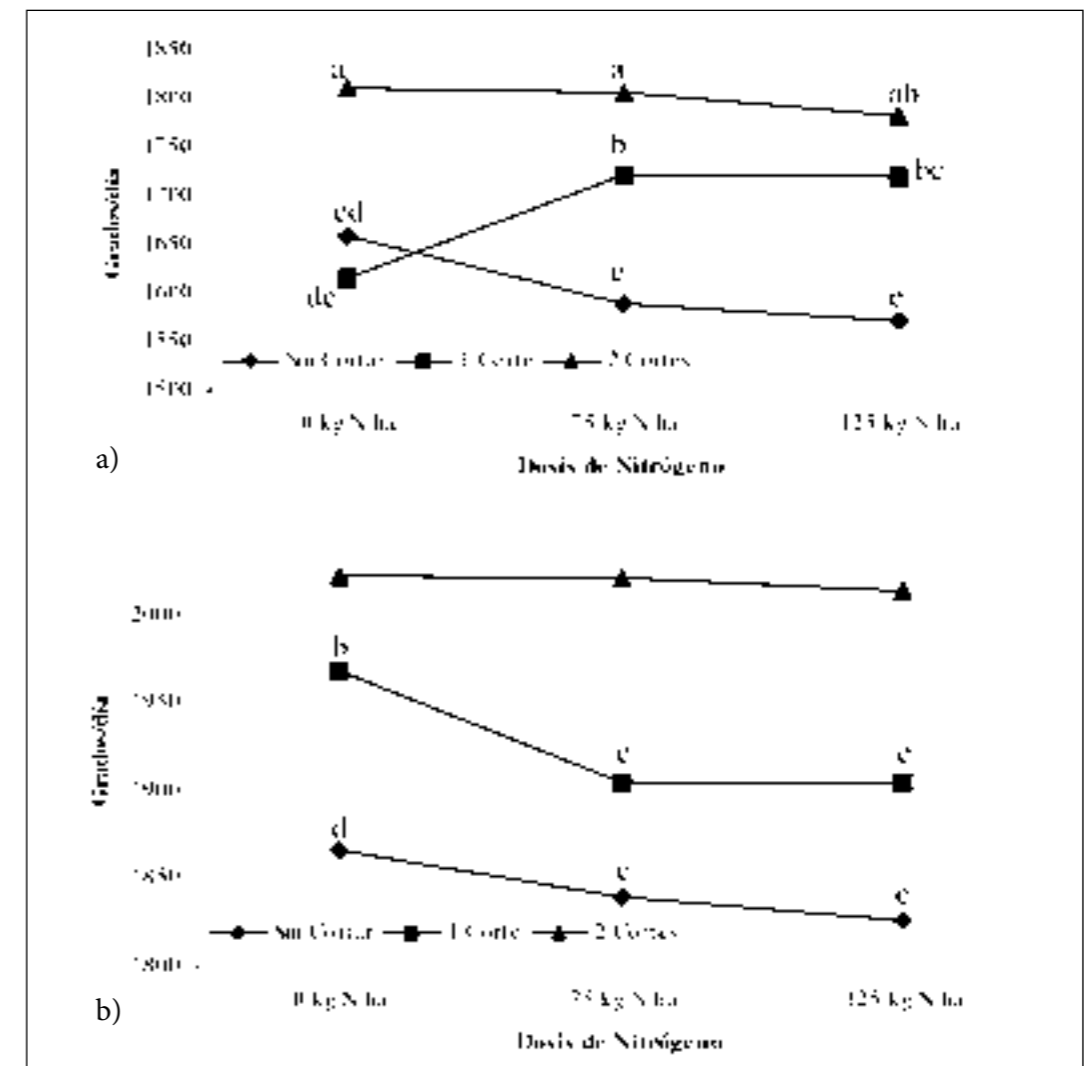


Figura 1. Influencia de la interacción número de cortes por dosis nitrogenado sobre el tiempo térmico acumulado en la fase de desarrollo de inicio de espigado (a) y floración (b).

En la figura 1, se observan diferencias significativas en el tiempo térmico acumulado entre la dosis de 0 kg N ha⁻¹ y las dosis de 75 y 125 kg N ha⁻¹ para los tratamientos de un corte y sin cortar. Para el tratamiento de dos cortes no existen diferencias significativas entre las tres dosis de nitrógeno, probablemente debido a que a partir del segundo corte, la falta de agua y las altas temperaturas influyen sobre la planta, acelerando su desarrollo y provocando que los tres tratamientos de nitrógeno lleguen al final del ciclo a la vez.

El tiempo térmico acumulado a floración es mayor para el tratamiento sin dosis de nitrógeno en los casos en que no se produce corte y en el de un solo corte. Ya en 1998, Llera observó una relación negativa y altamente significativa, entre las dosis de nitrógeno y las unidades térmicas en el estado de inicio de encañado y floración. Estos resultados se contraponen con los obtenidos por otros investigadores (Thompson y Troeh, 1988, Wild, 1992) que observaron que la aplicación de nitrógeno alargó el ciclo de los cereales. No obstante, es probable que el mayor retraso en el tratamiento sin nitrógeno se deba a que las plantas necesitan nitrógeno para su crecimiento, y al faltarle o tenerlo en menor medida, se retrasa su desarrollo.

CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta las condiciones climatológicas del período de estudio, se deduce que la densidad de siembra no influye en el retraso de las fases de desarrollo del triticale de doble aptitud cv. Verato. En todas las fases fenológicas el tiempo térmico acumulado fue mayor cuando aumentó el número de cortes, siendo esta variable la que mayor retraso produjo en el desarrollo del cultivo. Las parcelas sin nitrógeno tardaron más en alcanzar las fases de inicio de espigado y floración, que en las que se aplicó nitrógeno.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMIGONE M. A., KLOSTER A. M., NAVARRO C., Y BERTRAM N. (2005). Elección de cultivares e implantación de verdeos de invierno. En: *Verdeos de alta producción para optimizar la cadena forrajera. Información para Extensión*, **96**, pp.5-14. Córdoba, Argentina: EEA INTA Marcos Juárez.
- BAUER A., FRANK A.B. Y BLACK A.L. (1987) Aerial parts of hard red spring wheat: I Dry matter distribution by plant development stage. *Agronomy Journal*, **79**, 845-852.
- FERRO J.M.A. (2010) *Influencia de la fertilización con abonos verdes de veza (Vicia sativa L.) y triticale (X Triticosecale Wittmack) en la fertilidad del suelo, rendimiento y calidad del trigo blando (Triticum aestivum L.)*. Tesis Doctoral. Universidad de Extremadura.
- FISCHER R.A., AGUILAR I.M., MAURER R. Y RIVAS S.A. (1976) Density and row spacing effects on irrigated short wheats at low latitude. *Journal of Agricultura Science*, **87**, 137-147.
- GONZALEZ F.G., SLAFER G.A. Y MIRALLES D.J. (2003) Floret development and spike growth as affected by photoperiod during stem elongation in wheat. *Field Crop Research*, **81**, 29-38.
- GREGORY P.J. (1992) Crecimiento y funcionamiento de las raíces. En: Wild A. (ed) *Condiciones de suelo y desarrollo de las plantas según Russell*, pp. 121-176. Madrid, España: Mundi-Prensa.

- LLERA F., PÉREZ F. Y AYUSO A. (1997) Fertilización de triticale para forraje y grano. *Vida Rural*, **42**, 42-43.
- LLERA F. (1998) *Influencia del N fertilizante en el NO₃--N del suelo, y en el crecimiento, rendimiento y calidad del trigo duro (Triticum turgidum sbsp. durum) en condiciones de regadío mediterráneas*. Tesis Doctoral. Córdoba, España: Universidad de Córdoba.
- MILLER G.L., JOOST R.E. Y HARRISON S.A. (1993) Forage and grain yields of wheat and triticale as affectedly forage management practices. *Crop Science*, **33**, 1070-1075.
- OETTLER G. (2005) The fortune of a botanical curiosity Triticale: past, present and future. *The Journal of Agricultural Science*, **143**, 329-346.
- ROYO C., INSAA J.A., BOUJENNAB A., RAMOS J.M. Y MONTESINOS E. (1994) Yield and quality of spring triticale used for forage and grains influenced by sowing date and cutting stage. *Field Crops Research*, **37**, 161-168.
- SINCLAIR A. G., RODRIGUEZ M. Y OYANARTE M. (1991) *Modelo de recomendación de abonado en base a los ciclos de nutrientes para las praderas de la Comunidad Autónoma Vasca*. Informe Técnico nº 41. Vitoria-Gasteiz, España: Ediciones Servicio Central de Publicaciones del Departamento de Agricultura y Pesca del Gobierno Vasco.
- THOMPSON L.M. Y TROEH F.R. (1988) *Los suelos y su fertilidad*. 4ª ed. Barcelona, España: Reverté.
- VINCE-PRUE D. (1975) *Photoperiodism in plants*. New York, EEUU: McGraw-Hill.
- WHITECHURCH E.M., SLAFER G.A. Y MIRALLES D.J. (2007) Variability in the duration of stem elongation in wheat and barley. *Journal of Agronomy and Crop Science*, **193**, 138-145.
- WILD A. (1992) Elementos nutritivos en el suelo: Nitrógeno. En: Wild A. (ed) *Condiciones de suelo y desarrollo de las plantas según Russell*, pp. 1045. Madrid, España: Mundi-Prensa.
- WILD A. Y JONES L.H.P. (1992) Nutrición mineral de las plantas cultivadas. En: Wild A. (ed) *Condiciones de suelo y desarrollo de las plantas según Russell*, pp. 73-119. Madrid, España: Mundi-Prensa.
- ZADOKS J.C., CHANG T.T. Y KONZAK C.F. (1974) A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research*, **14**, 415-421.

Curvas de dilución de la proteína en un triticale de doble aptitud: influencia de la densidad de siembra, la dosis de nitrógeno y el número de cortes

Protein dilution curves for triticale of dual purpose triticale (forage and grain): influence of sowing density, nitrogen dose and the number of cuts

F. LLERA CID / A. DE SANTIAGO ROLDÁN / A. M. RIVERA MARTÍN / R. A. GALLEGO OLIVENZA / V. CRUZ SOBRADO*

Centro de Investigación "La Orden-Valdesequera". Consejería de Empleo, Empresa e Innovación. Junta de Extremadura. Finca "La Orden". Ctra. N-V. Km 372. 06187 Guadajira. Badajoz. España
veronica.cruz@juntaextremadura.net

Resumen: El objetivo del presente trabajo fue estudiar la influencia de la densidad de siembra, la dosis de nitrógeno y el número de cortes en las curvas de dilución de proteína en el triticale (*X Triticosecale* Wittmack) de doble aptitud (forraje y grano), cv. 'Verato', cuando es cortado (pastoreo simulado) en dos ocasiones. Para ello se diseñó un ensayo en split split plot donde la parcela principal fue la densidad de siembra (400, 500 y 600 plantas m⁻²), la subparcela el número de cortes (sin cortar, un corte y dos cortes) y la sub-subparcela la dosis de nitrógeno (0, 75 y 125 kg N ha⁻¹). Se realizaron cinco muestreos del forraje a lo largo del ciclo del cultivo (a los 75, 113, 126, 159 y 187 días después de la nascencia del cultivo), obteniéndose la materia seca y el porcentaje de proteína bruta. La densidad de siembra no influyó significativamente sobre la producción de materia seca ni sobre la proteína bruta. El tratamiento sin corte obtuvo la mayor producción de materia seca y el menor contenido de proteína, mostrando diferencias significativas respecto a los otros tratamientos. Al aumentar la dosis de nitrógeno aumentó la producción de materia seca y el contenido de proteína. Las curvas de dilución obtenidas son descritas mediante una función potencial negativa que presentan un coeficiente de determinación (R²) alto.

Palabras clave: *X Triticosecale* Wittmack, dosis de siembra, pastoreo simulado, fertilización nitrogenada.

Abstract: The objective of this work was to study the influence of sowing density, nitrogen dose and number of cuts in the dilution curves of protein in triticale (*X Triticosecale* Wittmack) for dual purpose (forage and grain), cv 'Verato'. The split split plot trial design consisted of a main plot with 3 different planting densities (400, 500 and 600 plants m⁻²). The subplot was the number of cuts (no cut, one cut and two cuts) and the sub-subplot was the nitrogen dose (0, 75 and 125 kg N ha⁻¹). Five samples of forage were collected throughout the growing season (at 75, 113, 126, 159 and 187 days after plant emergence), and analyzed for dry matter and crude protein. Planting density did not significantly influence dry matter and crude protein. The no cut treatment had the highest dry matter production and the lowest protein content, showing significant differences with the rest of treatments. Increasing nitrogen doses favored dry matter production and protein content. The dilution curves were described by a negatives potential functions with a high correlation indices (R²).

Key words: *X Triticosecale* Wittmack, sowing density, simulated grazing, nitrogen fertilization.

INTRODUCCIÓN

El cultivo del triticale (*X Triticosecale* Wittmack) se emplea principalmente para producción de grano destinado a la alimentación animal (Peña, 2004). No obstante, existen variedades de doble aptitud, como es el caso de la cv. 'Verato' (para forraje y grano) cuyo alto valor agronómico radica en las ventajas adaptativas que este cereal de invierno posee sobre los demás cereales (Giunta y Motzo, 2004). Además de

producir mayor cantidad de biomasa que el trigo, la cebada y el arroz (Bilgili *et al.*, 2009), su rusticidad (Llera, 2002), la resistencia a la sequía y al frío (Royo *et al.*, 2000) e incluso la resistencia frente a ciertas enfermedades (Merghoum *et al.*, 2004), pueden suponer una solución al problema planteado por la FAO sobre la disminución de rendimiento de los cereales en las principales zonas productoras previstas para 2012 (FAO, 2011).

Además de las ventajas adaptativas, la composición nutricional del triticale es óptima en cuanto a vitaminas, minerales y aminoácidos esenciales se refiere (Lorenz *et al.*, 1974). Pero, además, posee un alto contenido en almidón, lípidos, fibra y proteína comparado con el trigo (Dyson, 2008).

A medida que aumenta la producción de materia seca, se produce un efecto de dilución de la proteína (disminuye) por un proceso de traslocación desde las partes vegetativas a las reproductivas (Marino *et al.*, 2004). Existen evidencias de que las curvas de dilución de la proteína, permiten evaluar la calidad de los pastos (Juárez y Bolaños, 2007) ya que pueden seleccionarse nuevas líneas que maximicen el contenido en proteína, sin ver comprometida la producción de biomasa. Debido a los múltiples usos de este cereal para alimentación animal (grano, forraje verde, ensilaje, paja, etc.), nuestro objetivo principal fue establecer la curva de dilución de la proteína en función de la producción de biomasa y la influencia de la fertilización nitrogenada, la densidad y los cortes (simulación del pastoreo) sobre el contenido en proteína y materia seca acumulada por el cultivo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se llevó a cabo durante la campaña agrícola 2009/10 en el Centro de Investigación “La Orden-Valdesequera”, en condiciones de secano, sobre un Alfisol de textura franco-arenosa, con un bajo porcentaje en materia orgánica oxidable (0,59 %), pH neutro (6,76), una capacidad de intercambio catiónico muy baja (6,02 meq/100 g) y un contenido normal en fósforo asimilable (12,89 ppm). El clima representativo de la zona es de tipo Mediterráneo, aunque la precipitación total alcanzada ese año fue de 731,8 mm, casi el doble respecto a un año normal.

Tabla 1. Dosis de elementos fertilizantes en el abonado de fondo y en las dos coberteras (kg ha⁻¹).

Tratamiento	Abonado de Fondo			1ª Cobertera	2ª Cobertera
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	N
N2 = 125 kg N ha ⁻¹	50	42	90	50	25
N1 = 75 kg N ha ⁻¹	25	42	90	50	0
N0 = 0 kg N ha ⁻¹	0	42	90	0	0

El material vegetal utilizado fue un triticale de doble aptitud cv. ‘Verato’, obtenido por el Departamento de Cultivos Extensivos del Centro de Investigación “La Orden-

Valdesequera”. Los abonos utilizados fueron sulfato amónico del 21%, superfosfato cálcico del 18 % y cloruro potásico del 60 % en presembrado; nitrato amónico cálcico del 27 % en las coberteras. En la tabla 1 se muestran las unidades fertilizantes aplicadas.

El diseño estadístico fue un split split plot con cuatro repeticiones, siendo la parcela principal la densidad de siembra (D1-400 plantas m⁻², D2-500 plantas m⁻² y D3-600 plantas m⁻²), la subparcela el número de cortes (C0-SIN corte, C1-Un corte y C2-Dos cortes) y la sub-subparcela las dosis de nitrógeno aplicadas antes de la siembra, después del primer corte y después del segundo corte (N0-SIN nitrógeno (0-0-0), N1-75 kg N ha⁻¹ (25-50-0) y N2-125 kg N ha⁻¹(50-50-25)).

La unidad experimental estaba constituida por dos superficies de 1,5 m de ancho y 10 m de longitud, utilizando una de ellas para los muestreos destructivos. El número de muestreos fue de cinco: a los 75 (primer corte), 113, 126 (segundo corte), 159, 187 días después de la nascencia del cultivo. Las muestras de forraje se tomaron con un marco de 0,25 m² en cada una de las parcelas del ensayo. En el laboratorio, se secaron en una estufa a 100-105 °C durante 48 h para determinar el peso de materia seca y, posteriormente, fueron molidas para la obtención del porcentaje de nitrógeno total, mediante el método Dumas (analizador de N LECO). La proteína bruta se calculó como N Dumas x 6,25.

El análisis estadístico de los datos se llevó a cabo mediante un análisis de la varianza de modelo factorial (split split plot) con tres factores fijos (densidad de siembra, corte y dosis de nitrógeno) y uno de efecto aleatorio (repeticiones). Mediante este diseño se determinó el efecto de la densidad de siembra, número de cortes y dosis de nitrógeno sobre la materia seca y la proteína bruta total. Los datos de materia seca utilizados para el análisis, en el tratamiento sin cortar, corresponden a la materia seca total obtenida en el último muestreo (187 días a nascencia). En el tratamiento con un corte, corresponde a la suma de la materia seca obtenida en el primer corte más la del último muestreo y en el tratamiento con dos cortes, a la suma de la materia seca obtenida en cada uno de los cortes más la del último muestreo. Los datos de la proteína del tratamiento sin cortar son los que se determinaron en el último muestreo y la de los tratamientos de un corte y dos cortes se obtuvieron forma ponderada.

Las curvas de dilución de la proteína, en función del corte y de la dosis de nitrógeno, se obtuvieron con la hoja de cálculo OpenOffice a partir de los datos de los cinco muestreos realizados (n = 180). Para comparar las curvas se realizó un análisis estadístico consistente en la determinación de los intervalos de confianza para los coeficientes *a* y *b*, al nivel de probabilidad del 95%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La tabla 2 muestra el análisis estadístico de los resultados obtenidos para la producción de materia seca y la concentración de proteína de la misma. En ella observamos que la densidad de siembra no tuvo un efecto significativo sobre la producción ni sobre el contenido en proteína bruta. No obstante, estos valores son superiores a

otras variedades de triticale estudiadas (Delogu *et al.*, 2002). Anteriormente Royo *et al.* (1994) habían puesto de manifiesto que la densidad de siembra (300 y 550 plantas m⁻², en su caso) no influía sobre la calidad del forraje (al menos en cuanto a proteína bruta se refería), pero en cambio, señalaron que las condiciones ambientales (como, por ejemplo, la pluviometría), afectaba sobre todo al contenido en proteína. En nuestro caso y contrariamente a lo descrito por Royo *et al.* (1994), el similar desarrollo del triticale en las tres dosis de siembra, pudo deberse a que la pluviometría en la zona fue especialmente abundante en la temporada 2009/2010 con respecto a la de otros años, no observándose diferencias significativas entre éstas.

Tabla 2. Efecto de la densidad de siembra, los cortes y la dosis de nitrógeno aplicada sobre la producción final de biomasa y el contenido en proteína del triticale.

	Materia seca (kg ha ⁻¹)	Proteína (%)	ANOVA de los distintos factores analizados sobre la producción y la proteína del triticale		
				Materia seca (kg ha ⁻¹)	Proteína (%)
Densidad (D) (plantas m⁻²)					
D1:400	13 047a	9,9a	A: Densidad	NS	NS
D2:500	13 817a	9,9a	B: Corte	***	***
D3:600	12 724a	10,0a	C: Nitrógeno	***	***
Corte (C)			A*B	NS	NS
C0: Sin corte	17 168a	5,0b	A*C	NS	NS
C1: 1 corte	11 882b	12,2a	B*C	*	**
C2: 2 cortes	10 539b	12,6a	A*B*C	NS	NS
Nitrógeno (N)			- Significación: *** (P<0,001) ** (P<0,01) * (P<0,10) NS No significativo (P<0,10)		
N0:0 kg N ha ⁻¹	9887b	9,14b	- Medias seguidas de la misma letra en cada columna correspondiente a cada factor considerado no son significativamente distintas según el test LSD a un nivel de probabilidad del 0.05; n=108.		
N1:75 kg N ha ⁻¹	14 526a	10,18a			
N2:125 kg N ha ⁻¹	15 176a	10,45a			

Los cortes realizados, tuvieron un efecto altamente significativo sobre las dos variables analizadas (tabla 2). La biomasa disminuyó en un 30,8 % tras el primer corte y un 38,6% con el segundo, pero mejoró la calidad. El contenido en proteína bruta aumentó más del doble (2,44 veces) cuando se evaluó el pasto tras un corte y este aumento se mantuvo tras el segundo (2,52 veces más que en el tratamiento sin cortes). Esto indica, que el tratamiento que obtiene mayor producción de proteína es aquel en el que se realiza un sólo corte (1449,6 kg de proteína ha⁻¹).

Como se observa en la tabla 2, existe un incremento de proteína bruta con respecto al testigo sin abonado (N0), siendo de un 11,38 % en las plantas donde se aplicaron 75 kg N ha⁻¹ (N1) y un 14,33 % en las que se aplicaron 125 kg N ha⁻¹ (N2). También aumentó la biomasa con respecto al tratamiento sin abono, ya que donde se aplicaron 75 kg N ha⁻¹ y 125 kg N ha⁻¹ se obtuvo un aumento del 46,92 % y del 53,49 %, respectivamente. Sin embargo, entre N1 y N2 no se encontraron diferencias significativas

para ninguna de las dos variables. Además, se determinó la dosis óptima de abonado nitrogenado y ésta se encontraba próxima a los 100 kg N ha⁻¹.

Curvas de dilución de la proteína para triticale

Al igual que sucede en otros cereales, existe una correlación negativa entre el porcentaje de proteína bruta (N Dumas x 6,25) y la producción de biomasa del cultivo. Las curvas de dilución de la proteína permiten evaluar la calidad de los pastos y se ven afectadas por las variaciones del ambiente (localización, climatología, etc), técnicas de cultivo (dosis de fertilización nitrogenada, número de cortes, etc.) y el genotipo (Juárez y Bolaños, 2007). En nuestro caso, algunos de los factores que influyen sobre este cultivo se aprecian en la figura 1.

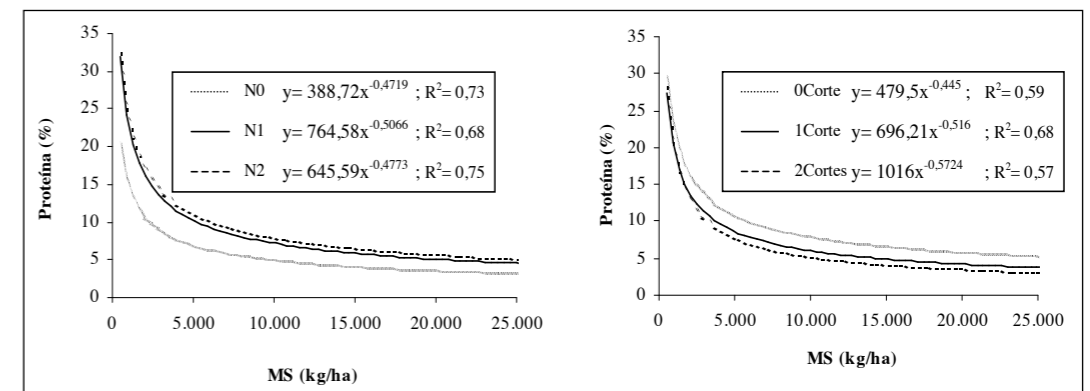


Figura 1. Influencia de la dosis de nitrógeno (izquierda) y los cortes (derecha) en la curva de dilución de la proteína para triticale (n=180).

La figura 1 muestra cómo durante las primeras etapas de crecimiento del cultivo, la concentración de proteína disminuye rápidamente, mientras la producción de forraje sufre una escasa variación. A medida que crece el cultivo, la producción de forraje sigue aumentando y la concentración de proteína disminuye en menor medida. Lemaire y Salette (1984) describieron ésta disminución de la proteína en función del aumento de biomasa, mediante una función potencial negativa $\%PB = a MS^{-b}$, donde MS es la biomasa aérea en t ha⁻¹, %PB es la concentración de proteína bruta expresada como porcentaje de biomasa aérea, a es el coeficiente que describe la variación del %PB en 1 t ha⁻¹ de biomasa aérea y b es el coeficiente de dilución que describe el descenso del %PB con el incremento de MS. Greenwood *et al.* (1990) y Lemaire y Gastal (1997) desarrollaron una teoría para explicar las curvas de dilución, basándose en el supuesto de Caloin y Yu (1984) de que la biomasa de la planta puede dividirse en dos fracciones: una funcional, íntimamente asociada con procesos fotosintéticos (hojas), con alta concentración de N y otra, la fracción estructural, asociada con la arquitectura y almacenamiento de reserva de las plantas (tallos), con una baja concentración de N.

Si la cantidad de N se mantiene constante, el aumento relativo de la función estructural a medida que la planta se desarrolla, puede explicar la disminución de la concentración de N y por tanto, la disminución de la concentración de proteína. Esto parece deberse a que existe una traslocación de la proteína de las partes vegetativas a las partes reproductivas a lo largo del ciclo de cultivo. Lo ideal sería que se mantuviese a lo largo del ciclo de cultivo un valor de proteína óptimo por cada unidad de materia seca acumulada, es decir, con la menor dilución posible.

El análisis estadístico utilizado para comparar las curvas de dilución (fig. 1), no mostró diferencias significativas entre ellas, tanto para el corte como para la dosis de nitrógeno, ya que los intervalos de confianza ($p < 0,05$), para el coeficiente a y para el b , se solapaban entre sí.

Aunque las curvas son semejantes, en aquellas que muestran el efecto del abonado (fig. 1), el mayor valor para la proteína (correspondiente al coeficiente a) se ha obtenido para la dosis de 75 kg N ha⁻¹. Sin embargo, N0 y N2 obtuvieron la mayor dilución de la proteína (coeficientes b mayores). Esto hace suponer que existe una concentración de proteína máxima que se alcanza para un valor de abonado intermedio entre las dos dosis anteriormente mencionadas. Siendo preferible la norma de “abonado mínimo” si no compromete la producción de biomasa del cultivo.

El efecto del corte en estas curvas, indica que el valor del coeficiente a (concentración de proteína) aumenta a medida que aumenta el número de cortes. En cambio la intensidad de la dilución (b) disminuye, siendo el tratamiento sin cortes el que mayor dilución presenta. Esto último puede ser explicado acorde a lo que señalaron Greenwood *et al.* (1990) y Lemaire y Gastal (1997), puesto que la biomasa para la función estructural del cultivo en el tratamiento con dos cortes fue menor que en los de un corte y sin cortar para la misma fecha de muestreo.

CONCLUSIONES

En un año con abundante precipitación, la densidad de siembra no influyó en la cantidad de biomasa ni en su contenido de proteína. Al realizar menos cortes aumenta la biomasa y disminuye la concentración de proteínas, debido al efecto de dilución que se produce. El nitrógeno ejerce una influencia positiva sobre la biomasa y la concentración de proteínas. En nuestro caso, para cualquiera de las dosis de siembra, con un solo corte y una dosis entre 75 y 100 kg N ha⁻¹ se obtendría una buena producción de biomasa con una alta calidad, evitando la contaminación del suelo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BILGILI U., CIFCI E.A., HANOGLU H., YAGDI K. Y ACIKGOZ E. (2009) Yield and quality of triticale forage. *Journal of Food and Agricultural Environment*, 7, 556-560.
- CALOIN M.Y O. YU. (1984) Analysis of the time course of change in nitrogen content in *Dactylis glomerata* L. using a model of plant growth. *Annals of Botany*, 54, 69-76.

- DELOGU G., FACCINI N., FACCIOLI P., REGGIANI F., LENDINI M., BERARDO N. Y ODOARDI M. (2002). Dry matter yield and quality evaluation at two phenological stages of triticale grown in the Po Valley and Sardinia, Italy. *Field Crop Research*, 74, 207-215.
- DYSON C. (2008). Triticale grain for feed - Nutritional information. Alberta Government Agriculture and Food. [www.document]. URL [http://www.1.agric.gov.ab.ca/\\$department/deptdocs.nsf/all/fcd10575](http://www.1.agric.gov.ab.ca/$department/deptdocs.nsf/all/fcd10575).
- FAO (2011) *Crop Prospects and Food Situation*, Junio (2), 4-6.
- GIUNTA F. Y MOTZO R. (2004) Sowing rate and cultivar affect total biomass and grain yield of spring triticale (*X Triticosecale* Wittmack) grown in a Mediterranean-type environment. *Field Crops Research*, 87, 179-193.
- GREENWOOD D.J., LEMAIRE G., GOSSE G., CRUZ P., DRAYCOTT A. Y NEETESON J.J. (1990) Decline in percentage N of C3 and C4 crops with increasing plant mass. *Annals of Botany*, 67, 181-191.
- JUÁREZ J. Y BOLAÑOS E.D. (2007) Las curvas de dilución de la proteína como alternativa para la evaluación de pastos tropicales. *Redalyc*, 23(1), 81-90
- LEMAIRE G. Y GASTAL F. (1997) N uptake and distribution in plant canopies. En: Lemaire G. (Ed) *Diagnosis of the nitrogen status in crops*, pp. 3-43. Berlin and Heidelberg, Alemania: Springer-Verlag.
- LEMAIRE G. Y SALETTE J. (1984) Relationship between growth and nitrogen uptake in a pure grass stand. 1. Environmental effects, *Agronomie* 4 (5), 423-430.
- LORENZ K., REUTER F.W. Y SIZER C. (1974) The mineral composition of triticales and triticale milling fractions by X-ray fluorescence and atomic absorption. *Cereal Chemistry*, 51, 534-541.
- LLERA F. 2002. *Triticale: El cereal del futuro. Nuevas perspectivas y variedades: grano, forraje y doble aptitud.* (H.D. nº6/02). Badajoz, España: Secretaría General de la Junta de Extremadura.
- MARINO M.A., MAZZANTI A., ASSUERO S.G., GASTAL F., ECHEVERRIA H.E. Y ANDRADE F. (2004) Nitrogen dilution curves and nitrogen use efficiency during winter-spring growth of annual ryegrass. *Agronomy Journal*, 96(3), 601-607.
- MERGOUM M., PFEIFFER W.H., PEÑA R.J., AMMAR K. Y RAJARAM, S. (2004) Triticale crop improvement: the CIMMYT (International Maize and Wheat Improvement Center) programme. En: Mergoum, M. and Gomez-Macpherson, H. (eds). *Triticale Improvement and Production (FAO Plant Production and Protection Paper (FAO))*, 179,11-26. Roma, Italia.
- PEÑA R.J. (2004) Food uses of triticale. En: Mergoum, M. and Gómez-Machperson H. (Eds) *Triticale Improvement and Production (FAO Plant Production and Protection Paper (FAO))*, pp 37-48. Roma, Italia.
- ROYO C., ABAZA M., BLANCO R. Y GARCÍA DEL MORAL F. (2000) Triticale grain growth and morphometry as affected by drought stress, late sowing, and simulated drought stress. *Australian Journal of Plant Physiology*, 27, 1051-1059.
- ROYO C., INSA J.A., BOUJENNA A., RAMOS J.M., MONTESINOS E. Y GARCÍA DEL MORAL F. 1994. Yield and quality of spring triticale used for forage and grain as influenced by sowing date and cutting stage. *Field Crops Research*, 37, 161-168.

Evaluación agronómica de maíz tras aplicación de combinaciones de productos de calcio en terrenos ácidos

Maize agronomic evaluation after application of calcium combinations in acid soils

A. MARTÍNEZ FERNÁNDEZ¹ / R. PELÁEZ² / A. ARGAMENTERÍA¹ /
A. SOLDADO¹ / A. GÓNZÁLEZ¹ / B. DE LA ROZA DELGADO¹

¹Servicio Regional de Investigación y Desarrollo Agroalimentario (SERIDA). Área de Nutrición Animal, Pastos y Forrajes. Apdo. 13. 33300 Villaviciosa. admartinez@serida.org

²Delagro. Sociedad Cooperativa. Polígono de Almuña. 33700 Valdés (Asturias)

Resumen: El objetivo del presente trabajo ha sido evaluar la eficacia de un encalante granulado formulado con una combinación de CaCO_3 , CaO , $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, sobre el cultivo de maíz forrajero en la zona occidental de Asturias, de tradición maicera, y suelos de naturaleza predominantemente ácida. Para ello, se seleccionaron cuatro parcelas, lo más homogéneas posibles, cada una de las cuales se subdividió en tres subparcelas para la aplicación de dosis crecientes del producto encalante (0, 1500 y 3000 kg ha^{-1}), en dos momentos de aplicación (otoño, previo a la siembra del forraje de invierno y primavera, previo al cultivo de maíz). La valoración agronómica se realizó en base a los cambios en el análisis del suelo, el rendimiento del cultivo (kg MS ha^{-1}) y la valoración nutritiva y energética del maíz cosechado. El encalado no tuvo ningún efecto sobre la producción de maíz, independientemente del momento o la dosis aplicada, pero sí sobre el contenido en principios nutritivos de las plantas y el análisis del suelo. Los mejores valores se corresponden con las aplicaciones de otoño, independientemente de la dosis de aplicación, con un aumento en los contenidos de proteína, almidón, digestibilidad de la materia orgánica y contenido energético del maíz y un aumento del pH y del Ca disponible en el suelo.

Palabras clave: encalado, análisis de suelo, maíz forrajero, producción, valor nutritivo.

Abstract: The objective of this work has been to assess the efficacy of a lime powder product formulated with a combination of CaCO_3 , CaO , $\text{Ca}(\text{CO}_3)_2$, on forage maize crops in the Western coastal area of Asturias, with tradition in this crop, and soils with acidic nature. Four plots were selected, in the most homogeneous way, and each one was subdivided in three subplots for the application of increasing doses of lime product (0, 1500 and 3000 kg ha^{-1}), at two times (in autumn, prior to the sowing of winter forage and in spring, prior to the maize crop). The agronomic assessment was based on the changes in the soil analysis, the yield of the crop (kg ha^{-1} MS), nutritive composition and energy content of harvested maize. The lime product did not have any effect on maize production, regardless of the time or the applied dose, whereas it had a positive effect on nutritive principles of plants and soil analysis. The best values correspond to fall applications, regardless of the dose of application, with an increase in the contents of protein, starch, organic matter digestibility and energy of maize forage. Besides, the results showed an increase in pH and the available soil Ca.

Key words: Liming, soil analysis, maize, yield, nutritive value.

INTRODUCCIÓN

La mayor parte de los suelos de terrenos húmedos tienen reacción ácida por el lavado de las aguas de percolación. El resultado es un descenso de la fertilidad y un medio poco adecuado para el crecimiento de la mayoría de las plantas. Debido a esto, el encalado puede ser muy rentable a pesar de sus costes, ya que produce un efecto estimulante de la cosecha, si se complementa con una adecuada fertilización. Un uso apropiado de la cal agrícola protege el ambiente, debido a que mejora la fijación simbiótica del nitrógeno en las leguminosas y reduce la toxicidad de algunos elementos

minerales, incrementa la eficiencia de los fertilizantes, mejora la efectividad de algunos herbicidas y aumenta las utilidades del cultivo (Lazcano Ferrat, 2000).

El uso de la cal agrícola mejora la disponibilidad inmediata de nutrientes para las plantas, aunque a largo plazo, favorece la actividad microbiana acelerando la descomposición de la materia orgánica y aumenta el pH del suelo permitiendo que las especies poco tolerantes a la acidez (como las leguminosas) crezcan en suelos que de otra manera serían desfavorables (Welch, 2002). Su uso continuado provoca un descenso de la materia orgánica del suelo si no se abona correctamente. Por su parte, la fertilización aumenta la necesidad de cal, ya que el amonio de los fertilizantes nitrogenados se oxida, formándose nitratos que en el suelo se comportan como ácidos.

El valor de pH del suelo afecta de manera diferente a los rendimientos relativos de los diversos cultivos siendo, junto con el fósforo soluble en suelos de monte o matorral recién transformados a pradera, el principal factor limitante de la producción en cantidad y calidad de los suelos de Galicia y el occidente de Asturias, predominantemente ácidos (Álvarez Rodríguez *et al.*, 2000).

El interés por una efectiva absorción de nutrientes deriva de la necesidad de incrementar la productividad y el valor nutritivo de los cultivos destinados, tanto a alimentación animal como humana (Martínez-Ballesta *et al.*, 2010). Por este motivo, el conocimiento de la eficacia de diferentes productos encalantes según sus características químicas -por su composición- y físicas -por su granulometría- permite realizar recomendaciones muy ajustadas a la respuesta esperada de los suelos y los cultivos. Sin embargo, los productos disponibles actualmente en el mercado presentan ciertas limitaciones debido a que son muy pulverulentos, precisan grandes cantidades de aplicación y no es posible combinarlos de manera efectiva a corto, medio y largo plazo.

El encalante ideal, debe tener un efecto alcalinizante suave y progresivo, para subir el pH hasta valores cercanos a la neutralidad; no debe tener efectos nocivos sobre el suelo, pues hay que aplicarlo repetidamente a lo largo de los años; debe incluir una proporción deseable de cationes, sobre todo Ca^{2+} y Mg^{2+} y si es posible, ausencia de Na^+ . Además debe ser barato, por la elevada cantidad que se aplica por hectárea. Por otro lado, el valor encalante o neutralizante efectivo también dependerá del tamaño de partícula. Debido a la baja solubilidad del CaCO_3 , cuanto más finamente molido esté, más rápidamente reaccionará con el suelo y mayor será su eficacia.

Teniendo en cuenta estas consideraciones, el objetivo del presente trabajo ha sido evaluar agronómicamente un nuevo producto encalante con diferentes combinaciones de CaCO_3 , CaO , $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, y en formato de gránulo, en combinación con la fertilización N-P-K, sobre el cultivo de maíz forrajero en el occidente de Asturias.

MATERIAL Y MÉTODOS

Para realizar una valoración agronómica del encalante granulado, y de su eficacia según el momento y la dosis de aplicación, se planteó un ensayo que se llevó a cabo en la costa occidental de Asturias, con tradición maicera, y suelos de naturaleza predomi-

nantemente ácida. Para ello, se seleccionaron cuatro parcelas (P1; P2; P3 y P4) destinadas al cultivo de maíz forrajero, lo más homogéneas posibles y con historial de abonado y cultivos previos, con una superficie individual aproximada de 1 ha. Cada parcela se subdividió en tres subparcelas para la aplicación de dosis crecientes del producto encalante: 0 como testigo, 1500 y 3000 kg ha^{-1} , en dos momentos de aplicación: en otoño (26 de octubre 2010), previo a la siembra del forraje de invierno, y en primavera, previo al cultivo de maíz (20 de abril 2011). Se eligieron cuatro variedades de maíz 'DKC 4372' 'RULEXX' 'MAS 33 A' y 'MANACOR' clasificadas como de ciclo medio para la costa occidental, con un periodo de crecimiento entre 127 y 143 días transcurridos entre la siembra y el estado de grano pastoso vítreo, según la clasificación de Argamentería *et al.* (2011).

Previo a su aplicación en campo, se recogieron muestras del producto para su análisis y caracterización química. Se realizaron también análisis de suelo en todas las parcelas antes del tratamiento de encalado para conocer la situación de partida, en cuanto a contenidos en N, P, K, Ca, Mg, pH y capacidad de cambio del Al. Los análisis se repitieron en cada una de las cuatro fincas en las tres subparcelas de este ensayo encalante (0, 1500 y 3000 kg ha^{-1}) a los seis meses de la aplicación.

En las explotaciones lecheras del norte de España, la rotación de cultivo más habitual, por su elevada productividad (y utilizada en el presente trabajo), ha sido la de raigrás italiano- maíz (*Lolium multiflorum* Lam -*Zea mays* L.), repitiéndose de forma continuada a lo largo del tiempo. De acuerdo con dicho manejo, los laboreos realizados en la aplicación de otoño consistieron en un pase de grada de discos después del encalado (P1 y P2) y la aplicación de purín, seguido de tren de siembra del cultivo de invierno. Se sembró raigrás italiano bianual cv 'Bolero' tetraploide y raigrás híbrido cv 'Barsilòdiploide, a 18+18 kg ha^{-1} . Tras realizar el aprovechamiento del cultivo de invierno, se preparó el terreno para la siembra del maíz, realizando las labores de pase de grada de discos después del encalado exclusivamente en las parcelas P3 y P4, y la aplicación de purín y abonado de fondo, pase de rotovator y siembra ajustada a 87 000 semillas ha^{-1} en todas las superficies.

El agente encalante, se aplicó en todos los casos en bandas y fue necesaria la utilización de una abonadora centrífuga por la heterogeneidad en la granulación. A pesar de esto, la aplicación resultó satisfactoria y la homogeneidad de la distribución del producto aceptable. Se comprobó la dosis aplicada por diferencias de peso en la báscula. En una banda se dio una pasada para aplicar la dosis de 1500 kg ha^{-1} , y en la otra se dieron dos pasadas, con lo que la dosis final de aplicación fue de 3000 kg ha^{-1} .

El maíz se aprovechó en todos los casos cuando el estado medio del grano alcanzó la línea de leche entre 1/3 y 1/2 del ápice (estado pastoso-vítreo) y se destinó a la elaboración de ensilado. Se delimitaron dos zonas de muestro para cada parcela y dosis de encalado, lo suficientemente distanciadas entre sí para ser consideradas repeticiones totalmente independientes.

Para el control de producción (momento de cosecha) se tomaron las plantas existentes en dos líneas a lo largo de cinco metros lineales por cada área de muestreo. Se

determinó el número de plantas por ha, los kg de materia verde y el rendimiento de materia seca del cultivo. Para el análisis de las muestras, se procedió a determinar el valor nutritivo por Reflectancia en el Infrarrojo Cercano (NIRS) de acuerdo con las ecuaciones desarrolladas en el Laboratorio de Nutrición del SERIDA y acreditadas por ENAC (Acreditación N° LE 430/930), y energía metabolizable según ARC (1980).

Los datos obtenidos fueron contrastados mediante análisis de varianza (SAS, 1999), según modelo lineal con factores de efecto fijo. No fue posible conseguir fincas para el ensayo que utilizaran la misma variedad de maíz, motivo por el cual fue preciso introducir el efecto 'variedad' en el diseño estadístico, según el modelo:

$$Y = \mu + \text{Fecha} + \text{Dosis} + \text{Variedad} (\text{Fecha}) + \text{Fecha} * \text{Dosis} + \varepsilon$$

Donde: μ = Media general y ε = Error del modelo

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 1 se muestran los valores de producción, composición química y contenido energético del maíz forrajero según momento de aplicación (otoño o primavera) y dosis del encalante evaluado (0, 1500 y 3000 kg ha⁻¹).

Tabla 1. Producción, composición química y aporte energético estimado del maíz forrajero para ensilar, según época y dosis de aplicación del producto encalante.

	Fecha de aplicación				Dosis (kg ha ⁻¹)				Fecha * Dosis	
	Otoño 2010	Primavera 2011	ES	p	0	1500	3000	ES	p	p
Producción (t MS ha ⁻¹)	15,9	17,2	0,40	NS	16,7	16,4	16,7	0,49	NS	NS
MS (%)	34,7	33,9	0,74	NS	33,6	33,4	36,0	0,90	NS	NS
CEN ^a	3,8	3,9	0,08	NS	4,0	3,9	3,7	0,10	NS	NS
PB ^a	8,4	8,0	0,12	**	8,4	7,9	8,2	0,15	NS	NS
FND ^a	39,8	42,3	0,31	***	41,2	41,4	40,6	0,38	NS	NS
ALM ^a	36,6	34,0	0,65	**	34,5	35,5	35,9	0,79	NS	**
Ca ^a	0,18	0,20	0,010	NS	0,18	0,19	0,21	0,013	NS	NS
P ^a	0,26	0,23	0,008	*	0,25	0,24	0,23	0,010	NS	*
DMO (%)	77,7	76,1	0,18	***	76,8	76,7	77,0	0,23	NS	NS
EM (MJ kg ⁻¹ MS)	11,9	11,7	0,03	*	11,8	11,8	11,9	0,04	NS	*

Medidas ajustadas por mínimos cuadrados \pm error estándar. ES: error estándar

* $p \leq 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; NS: No Significativo ($p > 0,05$).^a: % referidos a materia seca

MS: Materia seca, CEN: Cenizas, PB: Proteína Bruta, FND: Fibra Neutro Detergente, ALM: Almidón, Ca: Calcio, P: Fósforo, DMO: Digestibilidad enzimática de la Materia Orgánica, EM: Energía metabolizable.

En general los valores de producción obtenidos en este ensayo, se aproximan a los publicados en la 'Lista principal' de la actualización 2010 de la evaluación de variedades comerciales de maíz para la costa occidental de Asturias (Argamentería *et al.*, 2011), que recoge valores medios de producción para las variedades ensayadas comprendidos entre 16,3 y 18,0 t MS ha⁻¹. Los resultados de este ensayo no mostraron diferencias significativas en producción en función del momento de aplicación

($p > 0,05$) ni de la dosis empleada ($p > 0,05$), aunque se observó peor stay-green (índice de verdor) en las plantas recogidas en las zonas correspondientes a la dosis más alta de encalado (3000 kg ha⁻¹).

Si se observó un efecto sobre los principios nutritivos en función del momento de aplicación. En este sentido, los mayores contenidos en proteína bruta, almidón, digestibilidad de la materia orgánica y aportes energéticos y los menores de fibra neutro detergente se obtuvieron cuando el producto encalante se aplicó en otoño, previo a la siembra del cultivo invernal. En general la dosis de aplicación no supuso cambios significativos en los parámetros que definen la calidad nutritiva del maíz. Respecto al contenido en oligoelementos (Ca y P), no se apreció un efecto claro.

En cuanto a la interacción 'fecha*dosis', se observó un aumento del contenido en almidón ($p < 0,01$) y energía metabolizable ($p \leq 0,05$) con la dosis de 1500 kg ha⁻¹ aplicada en otoño. Teniendo en cuenta que el cultivo de invierno fue el mismo en todos los casos, nos hace pensar que el encalado en otoño puede facilitar mayor cantidad de nutriente implicados en la síntesis de almidón.

Los efectos del encalado a corto plazo (aplicación en primavera previa a la siembra del maíz) fueron inapreciables. Hay que tener en cuenta que los agentes encalantes contienen Ca y Mg bajo formas de carbonato y óxido. Los efectos del óxido son muy rápidos, pero poco duraderos. Por el contrario el carbonato es un producto de acción lenta y de remanencia media, considerándose a efectos prácticos que su efectividad máxima ocurre entre los 8-12 meses de su aplicación y su remanencia es de dos a cuatro años.

El efecto 'variedad' se dejó sentir sobre los contenidos en proteína bruta, fibra neutro detergente, almidón, digestibilidad de la materia orgánica y energía metabolizable, en concordancia con los resultados de evaluación de variedades comerciales de maíz en Asturias (Argamentería *et al.*, 2011).

Respecto al análisis de suelos, se detectaron diferencias entre las parcelas encaladas en otoño y las no encaladas, pero no se apreciaron diferencias significativas entre parcelas con diferentes dosis de encalante. Los resultados fueron los esperables tras la aplicación de un producto encalante, con un aumento de pH en agua entre 0,2 y 0,4 unidades, aumentos de aproximadamente un 10% del Ca disponible y reducción de la saturación de aluminio.

CONCLUSIONES

El encalado no afectó la producción del maíz independientemente del momento y de la dosis de aplicación. Los efectos del encalado a corto plazo (aplicación en primavera previa a la siembra del maíz) fueron inapreciables.

El encalado a medio plazo (aplicación en el otoño anterior a la siembra del maíz), tuvo efectos positivos sobre el contenido en principios nutritivos, observándose un aumento del contenido en almidón y energía metabolizable, y en el análisis del suelo que mostraron incrementos de pH y del Ca disponible.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su agradecimiento al Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial, organismo financiador del proyecto CDTI -IDI-20090572 y a Alfonso Carballal, por su colaboración en el tratamiento estadístico de los datos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ÁLVAREZ RODRÍGUEZ E., MONTERROSO MARTÍNEZ C. Y FERNÁNDEZ MARCOS M.L. (2000) Fraccionamiento de aluminio en suelos de Galicia bajo distintas especies forestales. *Edafología*, **7(3)**, 185-195
- ARC (1980) *The nutrient requirements of ruminant livestock*. Reino Unido: Commonwealth Agric. Bureaux,
- ARGAMENTERÍA GUTIÉRREZ A., CARBALLAL SAMALEA A., SOLDADO CABEZUELO A., DE LA ROZA DELGADO B., MARTÍNEZ FERNÁNDEZ A., DEL VALLE MEANA J.D. Y ALPERI PALACIO, J. (2011) *Variedades De maíz. Actualización año 2010*. Villaviciosa, España: Ediciones SERIDA- Serie Informes Técnicos.
- LAZCANO FERRAT I. (2000) Cal agrícola: conceptos básicos para la producción de cultivos. *Informaciones agronómicas*, **4**, 4-6.
- MARTÍNEZ-BALLESTA M.C., DOMINGUEZ-PERLES R., MORENO D.A., MURIES B., ALCA-RAZ-LÓPEZ C., BASTÍAS E., GARCÍA-VIGUERA C. Y CARVAJAL M. (2010) Minerals in plant food: effect of agricultural practices and role in human health. *A review. Agronomy for Sustainable Development*, **30**, 295-309.
- SAS. (1999) SAS (Statistical Analysis System) Institute, SAS/STATTM. *User's guide*. North Caroline, USA: SAS Institute, Inc. 10. Carry
- WELCH R.M. (2002) The impact of mineral nutrients in food crops on global human health. *Plant and Soil*, **247**, 83-90.

Evolución de las propiedades químicas del suelo y producción de una pradera fertilizada con purín de vacuno mezclado con concha de mejillón

Evolution of soil properties and production of a sown meadow after addition of cattle slurry plus mussel shell

M.D. BÁEZ BERNAL / J.F. CASTRO INSUA / A. LOURO LÓPEZ / J. VALLADARES ALONSO

Dpto. de Pastos y Cultivos. CIAM-INGACAL. Apdo. 10, 15080, A Coruña (España)
dolores.baez.bernal@xunta.es

Resumen: El objetivo del presente trabajo fue estudiar los efectos de la aplicación de purín de vacuno (PV) y PV mezclado con diferentes dosis de concha de mejillón (CM) sobre las propiedades químicas del suelo; así como en la producción y calidad forrajera de una pradera. Respecto a las parcelas que no fueron tratadas (control) la aplicación de PV mantuvo el pH del suelo pero disminuyó el porcentaje de saturación por acidez en el complejo de cambio. La incorporación de CM con el purín mejoró algunos parámetros de fertilidad del suelo: incrementó la concentración de Ca en el complejo de cambio, la capacidad de intercambio catiónica efectiva, disminuyó la saturación por acidez e incrementó el pH del suelo hasta niveles más apropiados para el desarrollo del cultivo, manteniendo la producción y calidad de forraje. Así mismo, benefició la persistencia del trébol en la pradera respecto a la aplicación de purín de vacuno sin concha. A la vista de los resultados, es recomendable la utilización de este producto en las explotaciones ganaderas, hecho que permitiría reducir costes derivados de la adquisición de otros productos encalantes.

Palabras clave: fertilidad del suelo, pH, cationes de cambio, trébol.

Abstract: The aim of the present study was to determine the effects of cattle slurry (CS) application and CS mixed with mussel shell on soil chemical properties and also in the production and quality of a sown meadow. pH values in CS plots were similar to those found in not-treated soil while the concentration of Al in the soil cation exchangeable complex decreased. The addition of mussel shell to CS improved some of the soil fertility parameters: increased the concentration of exchangeable Ca, increased effective cation exchange capacity and decreased Al saturation. The pH values were significant higher in plots treated with mussel shell than that of CS treated soil without shell. The total production of pasture and forage quality were similar in all treated plots (CS and CS mixed with mussel shell treatments). The percentage of legume in the pasture was slight increased by the addition of mussel shell to CS. We concluded that the use of mussel shell can be recommended as livestock litter in farms and would provide an alternative to the use of lime reducing costs.

Key words: soil fertility, pH values, exchangeable cations, clover.

INTRODUCCIÓN

Galicia constituye una de las principales zonas mejilloneras del mundo, actividad que produce un gran beneficio económico pero que también genera gran cantidad de residuos en forma de concha. Tradicionalmente, en fincas cercanas al mar se han venido utilizando como abono productos como algas, restos de mariscos y conchas de moluscos. La concha de mejillón (CM) aplicada al suelo puede corregir su acidez debido a la cantidad de carbonato cálcico presente en su composición, entre el 95%-99%; pero además, posee una fracción orgánica, entre el 1%-5% y otros nutrientes como nitrógeno, fósforo, azufre, magnesio y potasio que pueden mejorar su fertilidad.

Por otra parte, la concha triturada o molida y calcinada proporciona un ambiente alcalino capaz de disminuir la presencia de patógenos, de ahí la posibilidad de utilizarla en solitario o combinada con otros materiales como serrín o biomasa forestal en cubículos de las explotaciones ganaderas (Corrales *et al.*, 2000). Hoy en día su uso está bastante extendido y constituye una alternativa más barata a la incorporación de otros productos como cal en la cama de los animales. En estos casos, la fosa de purín recoge normalmente los productos de desecho procedentes del establo por lo que la CM puede provocar una alteración de las propiedades químicas del mismo y, en consecuencia, tras su aplicación al suelo.

En el trabajo se exponen los resultados obtenidos en dos años de aportes continuados de purín de vacuno mezclado con CM pulverizada sobre una pradera, y se determinan los efectos que puede tener en las propiedades químicas del suelo como el pH, cationes de cambio, elementos asimilables y en la producción y calidad del forraje.

MATERIAL Y MÉTODOS

En la primavera del 2010 se seleccionó una parcela experimental en la finca del CIAM (Mabegondo, A Coruña, zona costera atlántica de Galicia a 97 m de altitud, latitud 43° N, longitud: 8°O) donde había sido establecida (> 5 años) una pradera mezcla de raigrás inglés (*Lolium perenne* Lam.), trébol violeta (*Trifolium pratense* Lam.) y trébol blanco (*Trifolium repens* Lam.). Los tratamientos ensayados fueron aplicaciones de purín de vacuno (PV) en la primavera y otoño, sólo y mezclado con CM a dosis crecientes de 500 kg/ha, 1000 kg/ha y 1500 kg/ha. Se estudió también un tratamiento control (C) sin aporte de fertilizantes para examinar la evolución natural del suelo y de la pradera. El diseño experimental fue en bloques al azar con 3 repeticiones y un tamaño de parcela elemental de 12 m x 6 m.

Se llevaron a cabo cinco aplicaciones de purín, dos en el primer año de ensayo (1/06/2010 y 5/10/2010) y tres en el segundo (5/04/2011, 25/05/2011 y 13/10/2011), en total las parcelas recibieron 42 m³/ha y 74 m³/ha, de PV sólo y con las mezclas antes mencionadas, primer y segundo año respectivamente. En cada aplicación los purines eran inyectados en el terreno utilizando una cisterna con discos que realizaban cortes verticales en el suelo de 3cm-6 cm de profundidad y 15 cm entre filas donde quedaba depositado el purín. La composición química media de los purines (sin CM) utilizados en el ensayo fue de pH: 8,38; materia seca (MS): 8,9%; materia orgánica (MO): 80,1%; N: 36,9 g/kg de MS; P: 5,8 g/kg de MS; K: 38,9 g/kg de MS; Ca: 23,3 g/kg de MS; Mg: 6,1 g/kg de MS y Na: 7,0 g/kg de MS. La CM utilizada en el experimento había seguido un proceso de transformación con varias etapas: lavado con agua dulce para eliminar el cloruro sódico, tratamiento térmico a temperaturas superiores a 500 °C para reducir la humedad y la materia orgánica residual, y finalmente, había sido molida a un tamaño de partícula inferior a 63 µm. En la tabla 1 se muestran algunas de las propiedades químicas del producto.

Tabla 1. Propiedades químicas de la concha de mejillón.

Parámetro	Unidad	Resultado
Materia seca a 105°C (MS)	% producto bruto	94,3
pH	Agua (1:25)	8,9
Materia orgánica	% MS	12,6
C total	% MS	14,0
N total	% MS	<1
CaCO ₃	% MS	89,5
CaO	% MS	52,1
P ₂ O ₅	% MS	0,2
MgO	% MS	0,3
K ₂ O	% MS	<0,1

Al comienzo del ensayo, para conocer la fertilidad inicial en el lugar, se tomó una muestra por bloque de suelo en la capa superficial de 0-10 cm. A lo largo de los dos años fue muestreada la misma capa de suelo en fechas previas a las fertilizaciones, y/o coincidiendo con los cortes de forraje. En cada fecha se determinó: el pH en una suspensión 1:2,5 (v/v, suelo:agua) y los cationes en el complejo de cambio utilizando una solución de Cl₂Ba 0,6 N (Mehlich, 1976). En esta solución la acidez de cambio (AC) correspondiente al H⁺ y Al⁺³ presentes se determinaron mediante titulación con NaOH 0,01 N (Mosquera y Mombiola, 1986) y el Ca Mg, K y Na por absorción atómica. La capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE) viene dada por la suma de la AC y cationes de cambio (Ca Mg, K y Na). También se determinaron el P (Olsen) y K (extraído con una solución de nitrato amónico 1 N) asimilables. El análisis inicial del suelo presentó una textura franco limosa con un contenido en C de 34,1 g/kg de MS, de N de 3,11 g/kg de MS y una relación C/N de 11.

Se simularon dos cortes de forraje en el primer año (2/07/2010 y 22/09/2010) y dos en el segundo (13/05/2011 y 5/07/2011). Para determinar la producción de biomasa se registró el peso en verde de dos bandas de 0,9 m x 7 m. De cada una de ellas se recogieron sub-muestras de planta donde se llevó a cabo la separación de gramíneas, leguminosas y otras especies y se determinó la materia seca (MS) mediante secado en estufa de aire forzado (80 °C durante 16 h). En cada muestra fue analizado el contenido en materia orgánica (MO), proteína bruta (PB), y otros parámetros relacionados con la calidad del forraje como fibra neutro detergente (FND), fibra ácido detergente (FAD), el contenido de carbohidratos solubles en agua (CSA) y digestibilidad de la MO (DMO in vivo) utilizando ecuaciones desarrolladas por la técnica de espectroscopia de reflectancia en el infrarrojo cercano (NIRS).

El análisis estadístico de los datos se llevó a cabo mediante análisis de la varianza (GLM) utilizando el paquete estadístico SPSS versión 15.0 y para la separación de medias se utilizó el test de Duncan utilizando un nivel de significación $p < 0,05$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Propiedades químicas del suelo

En la tabla 2 se muestra la evolución de las propiedades químicas del suelo. En las parcelas control se observó una disminución del pH de 5,46 a 5,36 unidades lo que corrobora el hecho de que en suelos ácidos es preciso realizar encalados periódicos que compensen la acidificación que experimentan con el paso del tiempo. Contrario a lo observado en trabajos anteriores de mayor duración (Báez *et al.*, 2011), aplicaciones sucesivas de PV en las mismas parcelas no provocaron un incremento en el pH, obteniéndose para este parámetro valores semejantes a los obtenidos en las parcelas control. No obstante, se pudo apreciar en el transcurso del experimento una cierta disminución de la acidez de cambio y por tanto en la saturación por acidez, lo que hace pensar que a más largo plazo se podría observar también un incremento en el pH.

El efecto de la concha de mejillón en suelo se observó rápidamente, y en 5 meses tras la primera aplicación (23/09/2010) se hallaron incrementos en el pH y un descenso importante en el porcentaje de saturación de Al³⁺, más acusado en el tratamiento donde el PV se aplicó con mayor cantidad de concha (PV+1,5 t/ha). A medida que se realizaron nuevos aportes de purín con el producto la AC, que prácticamente es debida al aluminio de cambio a estos valores de pH, fue descendiendo hasta obtener valores mínimos de 0,04 meq/100 ml de suelo. Parece que con estas concentraciones de Al³⁺ en el complejo de cambio los valores de pH son \geq a 6,0.

La aplicación de PV incrementó ligeramente la CICe con el paso del tiempo, debiendo principalmente a un incremento en la concentración de Ca²⁺ en el complejo de cambio. La incorporación de CM con el PV aumentó significativamente el Ca²⁺ llegando a alcanzar valores cercanos a 6 meq/100 ml en el tratamiento PV+1,5 t/ha. Las relaciones Ca/Mg se mantuvieron bajas en los tratamientos C y PV mientras que la adición de concha las incrementó progresivamente hasta valores de 12 en el muestreo de mayo en el segundo año de aplicación. Como es descrito en otros trabajos (Takahashi *et al.*, 2006; Fernández-Sanjurjo *et al.*, 2010) los iones Ca²⁺ aportados con la concha pueden reemplazar las posiciones ocupadas por los grupos hidroxil-alumínicos del complejo de cambio y además, un incremento en el pH del suelo puede inducir la precipitación del Al³⁺ de cambio en formas inorgánicas que no son extraídas con el BaCl₂.

Con el paso del tiempo la concentración de K⁺ en el complejo de cambio se mantuvo y los valores de K asimilable se mantuvieron en el rango de valores medios de fertilidad (121 mg/L-240 mg/L) lo que indica que la pradera no fue sobre-fertilizada. En una primera fase se observó una disminución del K⁺ en los tratamientos con CM, efecto que tendió a desaparecer hacia el final del experimento. Las relaciones K/Mg (tabla 2) halladas se encuentran en el rango óptimo de 0,06-1,0 (Wolf, 1982), pero son menores en los tratamientos de PV con CM respecto a los valores observados en PV lo que indica que hubo mayor extracción de K⁺ en los tratamientos que recibieron la CM lo que se tradujo también en una ligera disminución del K asimilable (extracción con nitrato amónico) del suelo.

Tabla 2. Evolución de las propiedades químicas del suelo (0-10 cm) tras el aporte de purín de vacuno sólo y mezclado con concha de mejillón.

Fecha	¹ Trat	pH	Complejo de cambio						Elementos asimilables			Relaciones	
			AC	Ca	Mg	Na	K	CICe	SA	P	K	Ca/Mg	K/Mg
			meq/100ml						%			mg/L	
27/04/2010		5,46	0,86	1,28	0,24	0,2	0,08	2,66	32	17	63	5,3	0,3
23/09/2010	C	5,42bc	0,98a	2,32	0,37	0,06b	0,11	3,85	26a	20	81	6,2	0,3
	PV	5,36c	0,90ab	2,3	0,38	0,09ab	0,23	3,9	23a	27	154	6	0,6
	PV+0,5	5,48abc	0,71abc	3,49	0,48	0,11a	0,22	5,01	15b	26	156	7,2	0,4
	PV+1	5,50ab	0,63bc	3,15	0,45	0,11a	0,18	4,53	15b	24	141	7	0,4
	PV+1,5	5,59a	0,48c	3,5	0,43	0,11a	0,19	4,71	11b	22	147	8,1	0,4
	Media	5,48	0,68	3,11	0,44	0,11a	0,20	4,54	16	25	149	7,1	0,4
	² Sig	*	*	ns	ns	*	ns	ns	**	ns	ns		
3/12/2010	C	5,46c	0,97a	1,66bc	0,32	0,20	0,13b	3,29b	30a	18	102b	5,2	0,4
	PV	5,46c	0,96a	1,56c	0,37	0,20	0,23a	3,33b	29a	21	173a	4,2	0,6
	PV+0,5	5,77b	0,41b	3,38a	0,42	0,21	0,15b	4,56a	9b	19	125b	8,1	0,4
	PV+1	5,72b	0,48b	2,42b	0,33	0,21	0,14b	3,58b	13b	14	128b	7,3	0,4
	PV+1,5	5,87a	0,33b	3,53a	0,39	0,22	0,13b	4,61a	8b	15	115b	9	0,3
	Media	5,71	0,55	2,72	0,38	0,21	0,16	4,02	15	17	135	7,2	0,4
	Sig	***	***	**	ns	ns	**	*	**	ns	**		
18/05/2011	C	5,36c	1,67a	1,94c	0,35	0,06	0,12b	4,14c	41a	19	83bc	5,5	0,3
	PV	5,45c	1,35a	2,19c	0,47	0,06	0,20a	4,27c	32a	27	145a	4,7	0,4
	PV+0,5	5,82b	0,62b	3,79b	0,39	0,07	0,08b	4,95bc	12b	17	73bc	9,7	0,2
	PV+1	5,99a	0,26b	5,04a	0,42	0,08	0,08b	5,87b	5b	17	79bc	12	0,2
	PV+1,5	6,15a	0,19b	6,08a	0,48	0,10	0,12b	6,97a	3b	20	119ab	12,7	0,3
	Media	5,85	0,61	4,27	0,44	0,08	0,12	5,52	13	20	104	9,7	0,3
	Sig	***	***	***	ns	ns	**	*	***	ns	*		
7/07/2011	C	5,45c	0,92a	2,09b	0,41	0,09	0,11	3,61c	26a	17	83	5,1	0,3
	PV	5,40c	0,95a	2,22b	0,55	0,11	0,21	4,03bc	24a	25	154	4	0,4
	PV+0,5	5,97ab	0,10b	5,78a	0,57	0,13	0,16	6,75a	2b	19	134	10,1	0,3
	PV+1	5,88b	0,16b	4,82a	0,48	0,12	0,14	5,72ab	3b	16	131	10,1	0,3
	PV+1,5	6,05a	0,06b	6,26a	0,56	0,13	0,16	7,17a	1b	16	157	11,2	0,3
	Media	5,83	0,32	4,77	0,54	0,12	0,17	5,92	7	19	144	8,9	0,3
	Sig	***	***	**	ns	ns	ns	*	***	ns	ns		
14/09/2011	C	5,38b	0,92a	1,78b	0,40	0,10	0,13	3,33b	28a	20	106	4,5	0,3
	PV	5,38b	0,75b	1,72b	0,47	0,11	0,26	3,31b	23a	26	203	3,6	0,6
	PV+0,5	5,96a	0,15c	4,63a	0,51	0,13	0,17	5,59a	3b	19	159	9,1	0,3
	PV+1	6,07a	0,04c	5,52a	0,50	0,18	0,21	6,45a	1b	19	170	11,1	0,4
	PV+1,5	6,11a	0,06c	5,70a	0,52	0,17	0,20	6,66a	1b	19	175	10,9	0,4
	Media	5,88	0,25	4,39	0,50	0,15	0,21	5,50	7	21	177	8,8	0,4
	Sig	***	***	**	ns	ns	ns	*	***	ns	ns		

¹Trat: C: Control, PV: Purín Vacuno, PV+0,5: PV+0,5 t/ha de concha de mejillón (CM), PV+1: PV+1 t/ha de CM, PV+1,5: PV+1,5 t/ha de CM. ²Sig:*** (p<0,001); ** (p<0,01); * (p<0,05); ns, no sig. Para cada parámetro valores seguidos por letras diferentes son significativamente diferentes a p<0,05 test de Duncan.

AC: Acidez de cambio; CICe: Capacidad de intercambio catiónica efectiva; SA: Saturación por acidez.

Cultivo

Durante el primer año se observaron producciones de MS semejantes para los tratamientos de PV solo y mezclado con concha (tabla 3). En el primer corte de primavera del segundo año pueden apreciarse ligeros incrementos productivos (no significativos) en los tratamientos con mayores dosis de CM. En este segundo año la sequía acontecida a partir del mes de mayo limitó enormemente la producción durante los meses de verano y otoño.

Tabla 3. Producción de biomasa, separación de especies en gramíneas (Gram), leguminosas (Leg) y otras especies (OtrEsp), y composición química de la pradera.

	Trat	Biomasa		Composición botánica,%			Composición química, %MS					
		% MS	Kg MS/ha	Gram	Leg	OtrEsp	MO	PB	FND	FAD	CSA	DMO <i>in vivo</i>
Inicial		17,40	1583	57	11	32	91,57	14,44	51,97	29,03	13,30	63,82
2/07/2010	C	17,98	3874	59	12	29	93,71	8,89	63,14	37,12	11,60	58,98
	PV	17,42	4577	66	5	29	93,14	9,23	62,87	36,94	11,87	59,16
	PV+0,5	17,41	4543	76	8	16	93,41	9,20	63,70	36,32	12,27	60,13
	PV+1	16,97	4342	63	5	32	93,44	9,26	62,03	35,96	12,17	59,90
	PV+1,5	17,49	4365	66	7	27	93,21	9,13	63,29	36,69	11,57	60,10
	Media	17,00	4339	66	7	27	93,38	9,14	63,01	36,61	11,89	59,65
	² Sig	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
22/11/2010	C	12,85a	645b	35	18	47	88,61	18,13	40,63	25,81	12,22	69,72b
	PV	10,93c	1409a	59	8	33	88,75	20,10	41,30	24,30	12,07	72,51a
	PV+0,5	11,34bc	1253a	50	9	42	88,37	19,38	41,50	25,05	11,89	72,60a
	PV+1	11,77b	1139a	48	9	43	87,96	19,43	41,10	24,86	11,96	72,28a
	PV+1,5	11,56bc	1324a	46	11	42	87,18	19,92	39,55	25,28	11,51	72,80a
	Media	12	1154	48	11	41	88,17	19,39	40,81	25,06	11,93	71,98a
	Sig	**	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*
13/05/2011	C	22	2634b	47b	18a	35	93,00	9,63	50,37b	30,38c	19,03	66,50b
	PV	21	4572a	82a	1b	17	93,11	7,95	54,90a	32,06ab	20,64	67,98ab
	PV+0,5	22	4431a	79a	3b	17	93,11	7,56	54,50a	31,58b	21,81	67,59a
	PV+1	21	4802a	76a	5b	19	92,92	8,56	53,70a	31,47b	20,16	68,48a
	PV+1,5	21	4965a	80a	4b	17	92,96	7,82	55,82a	32,80a	20,07	67,81a
	Media	22	4281	73	6	21	93,02	8,30	53,80	31,66	20,34	67,67
	Sig	ns	***	**	*	ns	ns	*	**	ns	*	
5/07/2011	C	29	824	25b	16a	58	95,24	7,55	57,73	37,10a	12,74	54,91b
	PV	31	1220	67a	2b	32	95,11	7,32	62,04	35,41b	15,17	58,04a
	PV+0,5	33	1221	54a	7b	39	95,27	7,49	60,83	35,01b	15,35	58,91a
	PV+1	33	1199	59a	5b	36	95,21	7,34	61,97	35,05b	14,92	58,33a
	PV+1,5	33	1166	62a	10ab	28	95,12	8,03	60,69	34,21b	15,25	59,19a
	Media	31,8	1126	53	8	38,61	95,19	7,55	60,7	35,36	14,68	57,87
	Sig	ns	ns	*	*	ns	ns	ns	**	ns	*	

¹Trat: C: Control, PV: Purín Vacuno, PV+0,5: PV+0,5 t/ha de concha de mejillón (CM), PV+1: PV+1 t/ha de CM, PV+1,5: PV+1,5 t/ha de CM. ²Sig.:*** (p<0,001); ** (p<0,01); * (p<0,05); ns, no sig. Para cada parámetro valores seguidos por letras diferentes son significativamente diferentes a p<0,05 test de Duncan.

MS: Materia Seca; MO: Materia Orgánica; PB: Proteína bruta; FND y FAD: Fibra neutro y ácido detergente, respectivamente; CSA: Carbohidratos solubles en agua; DMO *in vivo*: Digestibilidad de la MO *in vivo*.

Como era de esperar la aplicación de N con el purín favoreció la presencia de gramíneas respecto a leguminosas en la composición de la pradera. Claramente se observó que la mezcla de PV con CM favoreció la persistencia del trébol, aunque siempre con menor presencia que en el tratamiento control. En cuanto a los parámetros de calidad del forraje en los diferentes cortes no se observaron diferencias entre los tratamientos de PV aplicado sólo y con CM. Se observa un incremento notable en el contenido en nitrógeno y en fibras en el corte de otoño acorde con la variación estacional que experimenta la composición química del pasto observada en trabajos anteriores (Roca *et al.*, 2009).

CONCLUSIONES

En un suelo ácido, las parcelas tratadas con purín de vacuno mezclado con concha de mejillón pulverizada presentaron mejores parámetros de fertilidad que cuando el purín fue aplicado de forma independiente. Además, desde el punto de vista del cultivo, con la aplicación de la mezcla se mantuvieron las producciones y la calidad del forraje beneficiando la persistencia del trébol en la pradera. En consecuencia, parece recomendable la utilización de este producto en las explotaciones, hecho que permitiría reducir costes directos derivados de la utilización de otros productos en calantes.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la financiación recibida por la Xunta de Galicia, “Acciones de Cooperación para el Desarrollo de Nuevos Productos, Procesos y Tecnologías en el Ámbito Agroalimentario, Agrícola y Forestal”: FEADER 2009/37. A M^a José Casal Bouza por los análisis realizados y a J. M. García Pedreira por la ayuda prestada.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BÁEZ M.B., LOURO A., CASTRO J.F. Y GARCÍA M.I. (2011) Propiedades químicas y concentración de metales pesados en suelo y planta tras el aporte de purines en pradera. En: López-Carrasco C. *et al.* (Eds) *Pastos, paisajes culturales entre tradición y nuevos paradigmas del siglo XXI*, pp 207-213. Toledo, España: Sociedad Española para el Estudio de los Pastos.
- CORRALES J., GARCÍA C., SANJUÁN M.L., DÍAZ A., MÉNDEZ A., YUS E. Y FERNÁNDEZ G. (2000) Estudio microbiológico de triturados de concha de mejillón en su uso como cama para el ganado vacuno lechero En: *Proc. VI Congreso Internacional de Medicina Bobina*, pp. 279-281. Santiago de Compostela, España: ANEMBE.
- FERNÁNDEZ-SANJURJO M.J., ÁLVAREZ E. Y CORTI G. (2010) Effect of the addition of cattle slurry plus different types of livestock litter to an acid soil and on the production of grass and corn crops. *Waste Management and Research*, **29**(3), 268-276.
- MEHLICH A. (1976) New buffer pH method for rapid estimation of exchangeable acidity and lime requirement of soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, **7**, 637-652.

- MOSQUERA A. Y MOMBIELA F. (1986) Comparison of three methods for the determination of soil Al in an unbuffered salt extract. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, **17** (1), 97-113.
- ROCA FERNÁNDEZ A.I., GONZÁLEZ RODRÍGUEZ A. (2009) Recuperemos la confianza en las praderas en pastoreo para la producción de leche. *Ganadería. Revista Técnica Ganadera*, **61**, 62-65.
- TAKAHASHI T., IKEDA Y., FUJITA K. Y NANZYO M. (2006) Effect of liming on organically complexed aluminium of nonallophanic Andosols from northeastern Japan. *Geoderma*, **130**, 26-34.
- WOLF B. (1982) An improved universal extracting solution and its use for diagnosing soil fertility. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, **13**, 1005-1033.

Influencia de los equipos de aplicación sobre el valor fertilizante de la fracción líquida del purín de vacuno de leche y la compactación de los suelos en cultivos forrajeros monófitos anuales en ambiente atlántico

Influence of application systems on fertilizing value of dairy slurry liquid fraction and soil compactation in monoculture forage crops in atlantic environments

J.M. MANGADO / G. JAUREGI / E. ZUDAIRE / E. IRUJO

ITG Ganadero. Avda. Serapio Huici, 22 Edif. Peritos. 31610 Villava (Navarra). jmangado@intiasa.es

Resumen: La utilización como fertilizante de los residuos orgánicos generados por la actividad ganadera constituye una oportunidad para el tránsito hacia la sostenibilidad ambiental y económica de las explotaciones. En esta comunicación se presentan los resultados obtenidos en la comparación de dos equipos de aplicación de la fracción líquida procedente de la separación de purines de vacuno de leche, en "abanico" y mediante "tubos colgantes". Se mide la eficiencia fertilizante del nitrógeno total aportado por cada equipo y la compactación de los suelos producida por cada uno de ellos. Se concluye que el primero resulta más eficiente que el segundo si se mide la producción unitaria de biomasa y ocurre al contrario si se considera la extracción de nitrógeno unitaria cuando se acompaña de aportaciones de nitrógeno de origen mineral. La compactación del suelo producida por el equipo de tubos colgantes es inferior a la producida por el equipo de abanico tanto por la presión ejercida sobre las huellas de tránsito como por el porcentaje de superficie compactada.

Palabras clave: abanico, tubos colgantes, fertilización N, eficiencia, resistencia a la penetración.

Abstract: The use of livestock organic waste as fertiliser represents an opportunity towards the environmental and economic sustainability of dairy farms. In this paper are presented the results obtained in the comparison of two application systems of dairy slurry liquid fraction: traditional (splash plate) and localised, by "hanging pipes". It has been measured the efficiency of total fertilizer nitrogen provided and the compaction produced by each system. It is concluded that the first one is more efficient than the second when the unitary bio-mass production is measured, and the opposite happens when the unitary nitrogen extraction is measured in the cases of organic fertilization accompanied by nitrogen mineral inputs. The hanging pipes equipment caused less soil compaction than the splash plate system both considering the pressure on transit tracks and the percentage of compacted surface.

Key words: splash plate, hanging pipes, fertilization, efficiency, resistance to penetration.

INTRODUCCIÓN

El uso de los restos orgánicos generados en las explotaciones ganaderas como fertilizante agrícola constituye un notable ejemplo de sostenibilidad tanto económica (menor dependencia de fertilizantes externos) como ambiental (mejora de la salud y las características de los suelos, reciclaje). Mangado *et al.* (2009) encontraron que la eficiencia fertilizante del nitrógeno total contenido en el purín de vacuno de leche aportado sobre prados en ambiente atlántico es mayor en aportaciones hechas a finales de invierno que en fechas posteriores. Además Mangado *et al.* (2010) encontraron diferencias en la eficiencia fertilizante del nitrógeno contenido en el purín de vacuno

de leche en función del equipo utilizado para su aportación al suelo. Los equipos utilizados en el transporte y aplicación de los purines a los suelos agrícolas son pesados y en las épocas más adecuadas para maximizar su eficiencia fertilizante (finales de invierno) en ambiente atlántico encuentran, con frecuencia, suelos con un alto contenido en humedad que los vuelve muy plásticos y susceptibles al apelmazamiento y a la compactación. Ante estas perspectivas se plantea una experiencia con el objeto de mejorar el conocimiento de las implicaciones de los equipos de aportación de purín sobre la eficiencia fertilizante del nitrógeno orgánico aportado y sobre la compactación de los suelos producida por su tránsito sobre las parcelas agrícolas.

MATERIAL Y MÉTODOS

El trabajo de campo se llevó a cabo en la primavera de 2011 sobre una parcela de 0,78 ha situada en el municipio de Arakil, en el área atlántica de Navarra. Se trabajó sobre una parcela de suelos aluviales, profundos, con cierta pedregosidad menuda en su perfil y de buena percolación. Los suelos se caracterizan por ser alcalinos (pH 8,3), orgánicos (materia orgánica 9,4 %), con contenidos en fósforo (Olsen) y potasio (acetato amónico) asimilables de 12,8 kg/l y 288 kg/l respectivamente. Sobre ellos se cultiva una rotación anual de maíz forrajero-raigrás italiano alternativo con altas aportaciones de fertilizantes orgánicos. El cultivo sobre el que se realizó la experiencia es raigrás italiano alternativo (*Lolium multiflorum* Lam. cv "labelle") sembrado en la primera semana de Octubre de 2010.

Las aportaciones fertilizantes se hicieron el 11 de marzo. En esa fecha la integral térmica desde 1 de enero fue de 435,8 °C y la precipitación en los 10 días anteriores fue de 7 mm. La aportación fertilizante orgánica fue la fracción líquida (FL) procedente de la separación de los purines generados en la explotación de vacuno de leche de 360 vacas en ordeño robotizado que gestiona la parcela experimental. En la tabla 1 se muestra la composición de la FL.

Tabla 1. Fracción líquida del separado de purín de vacuno de leche.

	kg/m ³ materia fresca	% sms
% materia seca	3,67	
pH	8,13	
conductividad e. (dS/cm)	3,16	
cenizas	11,1	30,3
materia orgánica	25,6	69,7
N total	2,5	6,8
N amoniacal	1,4	3,8
P	0,4	1,08
K	2,1	5,73

Se utilizaron dos equipos para la aportación de la FL: 1.- cisterna de "tubos colgantes" (TC) de 25 m³ de capacidad, 18 m de anchura de trabajo y 48 tubos. Tres ejes (direccionales el delantero y el trasero) dotados con seis neumáticos 750/60R30,5 de baja compactación; el peso total del equipo (tractor+tractorista) en carga es de 51,68 t., 2.- cisterna en "abanico" (A) de 20 m³ de capacidad y 14 m de anchura de trabajo, dos ejes (el trasero direccional) dotados con cuatro neumáticos 710/45-26; el peso total del equipo (tractor+tractorista) en carga es de 39,58 t.

El diseño de la experiencia es de tres bandas principales para la aportación orgánica: T (testigo), TC y A de anchura adaptada a cada equipo y 6 m para el testigo y, transversalmente, aportaciones de nitrógeno (N) mineral (N0, N1, N2) en pasillos de 3 m cada una con tres repeticiones. Los equipos se pesaron al inicio y al final de cada aportación y se midió la longitud y anchura en cada caso para conocer las dosis reales aportadas. En la tabla 2 se presentan las dosis empleadas en cada variante de ensayo y las correspondientes aportaciones de nitrógeno.

Tabla 2. Variantes de ensayo.

	fracción líquida (FL)			urea 46 % N		
	testigo	tubos colgantes (TC)	abanico (A)	N0	N1	N2
m ³ ó kg/ha	0	43,452	44,898	0	87	174
kg N total/ha	0	108,6	112,2	0	40	80

El control de producción se hizo el día 24 de Abril (44 días tras la fertilización) estando el material vegetal en fase de "finales de encañado". Se cortó con motosegadora de 1,4 m de anchura la parte central de cada subparcela evitando las huellas de los equipos de aportación de FL. Se pesó la biomasa cortada y se midió la superficie de corte. Se tomó una submuestra y se envió al laboratorio para la determinación de materia seca (ms), cenizas (mm), proteína bruta (PB), fibra bruta (FB) y fibra neutro-detergente (FND). La eficiencia se calcula en función del N total aportado en la FL: N orgánico+N amoniacal, y se hace por dos vías, la de producción (kg de ms) y la de extracciones de N calculadas según la expresión kg N extraído = kg ms producidos*PB/100*6,25. Para ello, de los datos obtenidos para cada variante de ensayo se sustrae la media de los obtenidos en el testigo (TN0) y la producción y extracciones correspondientes a la aportación de N mineral, obtenida en TN1 y TN2, en las variantes en las que se dan aportaciones de N orgánico y mineral, y todo ello referido al N total aportado en la FL en cada variante.

Para la medida de la compactación de los suelos se ha utilizado un penetrómetro RIMIK CP 20 con cono normalizado que registra la presión, medida en kilopascales (kPa), ejercida al insertar la varilla en el suelo y la relaciona con la profundidad. Las medidas se hicieron inmediatamente después de la aportación de la FL, sobre las huellas dejadas por los equipos, en las que coinciden las del tractor y las de las cisternas. El campo de actuación se dividió en tres zonas: 1.- al inicio de la descarga con los

equipos en carga máxima, 2.- intermedia y 3.- al final de la descarga con los equipos al 82,5 % de su carga. En cada zona se midió la resistencia a la penetración sobre las dos huellas, y dentro de cada huella en la zona izquierda, derecha y central, haciéndose dos repeticiones por zona y equipo. Además, en cada zona se hicieron seis medidas de penetración en suelo no transitado (testigo) antes de la aportación de la FL. El total de mediciones fue de 126. En cada punto muestreado se hicieron lecturas de resistencia a la penetración cada 15 mm hasta una profundidad de 300 mm, considerada como la máxima de actividad radicular del cultivo forrajero.

La analítica de suelos y fracciones de nitrógeno de la FL se llevó a cabo en el Laboratorio Integrado de Calidad Ambiental (LICA) de la Universidad de Navarra. La analítica de forrajes y resto de parámetros de la FL se realizó en el Laboratorio Agrario de Navarra (NASERSA). Para el tratamiento de datos se utilizó el paquete PASW Statistics 18.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Producción vegetal

En la tabla 3 se presentan los resultados de producción, PB y extracciones de N para cada una de las variantes de ensayo.

Tabla 3. Producción, proteína bruta y extracciones de N.

variante	kg ms/ha	PB (% sms)	kg N extraído/ha
TN0	3841 a	9,9 a	62,3 a
TN1	4526 ab	10,9 ab	80,1 abcd
TN2	4560 ab	12,9 abc	93,8 abcd
TCN0	4276 ab	9,9 a	67,5 ab
TCN1	4688 ab	12,8 abc	95,7 bcd
TCN2	5000 ab	13,3 bc	103,9 cde
AN0	4630 ab	10,4 ab	77,1 abc
AN1	5501 b	12,6 abc	111,9 de
AN2	5391 b	15,2 c	130,3 e

En la misma columna valores seguidos por distinta letra difieren significativamente ($p < 0,05$) Duncan.

En producción encontramos que la del testigo (TN0) es significativamente inferior solamente a las variantes con aportación de la FL en abanico siempre que sean acompañadas de aportaciones de N mineral, no encontrando diferencias significativas entre el resto de variantes de ensayo. En PB las variantes sin aportación de N mineral y sin aportación de la FL o cuando esta se hace mediante TC, presentan unos valores significativamente inferiores a las variantes en las que se aporta la máxima dosis de N mineral, siempre que vaya acompañada de aportación de la FL por cualquier equipo. En extracciones de N las variantes sin aportación de N mineral, aunque vayan acom-

pañadas de aportaciones de la FL, presentan unos valores significativamente inferiores a las variantes de aportación de la FL en abanico acompañadas con aportaciones de N mineral. En los tres parámetros analizados se encuentran respuestas crecientes a dosis crecientes de N mineral para cada variante de aportación de la FL, pero únicamente como tendencia, no encontrándose en ningún caso diferencias significativas. Analizando los datos por equipo de aportación, para cada dosis de suplementación de N y para los tres parámetros analizados, se ordenan de forma creciente en la secuencia $T < TC < A$, sin encontrar diferencias significativas en ningún caso.

Tabla 4. Producciones y extracciones por N total aportado por la FL.

variantes	kg ms/kg N orgánico aportado	kg N extr./kg N org. aportado
N0	TC	4,01
	A	7,03
	p-valor	0,247
N1	TC	1,49
	A	8,69
	p-valor	0,585
N2	TC	4,05
	A	7,41
	p-valor	0,523

t - Student TC - tubos colgantes A - abanico

En la tabla 4 se presentan los datos de producción y extracción de N por kg de N total procedente de la FL para cada equipo de aportación separando para su análisis por acompañamiento de N mineral. No se encuentran diferencias significativas en ninguno de los casos. La tendencia en producción es que el sistema A supera a TC, mientras que en extracción de N, TC supera a A salvo en el caso en el que no va acompañado de aportación de N mineral. Esto queda recogido porcentualmente en la tabla 5.

Tabla 5. Índice de eficiencia (IE, %) de la aplicación en abanico respecto a tubos colgantes.

	N0	N1	N2
Producción (kg ms)	175	583	183
Extracción (kg N)	131	57	71

En producción y extracciones de N, cuando no se acompaña de N mineral, los resultados de eficiencia según el equipo de aplicación obtenidos en este trabajo son inversos a los obtenidos por Mangado *et al.* (2010) en una experiencia similar. Sin em-

bargo la eficiencia encontrada en este trabajo en el caso de extracciones de N, cuando a la aplicación de FL se le acompaña con aportaciones de 40 y 80 kg de N mineral, es similar a la encontrada en 2010 (57 vs 64 en N1, 71 vs 71 en N2). Una explicación posible puede ser la del contenido en materia orgánica de los suelos sobre los que se ha trabajado. Se trata de parcelas de buenas características agronómicas sobre las que se lleva a cabo, desde hace mucho tiempo, una rotación de cultivos forrajeros intensiva, con altas producciones, y aportaciones notables de recursos orgánicos. La materia orgánica y la fertilidad de estos suelos son muy elevadas, lo que se traduce en altas producciones en los testigos. Por ello no se encuentran incrementos significativos de producción como respuesta a la fertilización nitrogenada, aunque se encuentra una tendencia hacia su incremento. Se encuentra un incremento del contenido en PB conforme lo hacen las aportaciones de N mineral (0,05 puntos porcentuales por kg de N aportado en el tramo 0-40 kg y 0,04 puntos en el tramo 40-80 kg), lo que sugiere una pauta de manejo en este caso, ya que la proteína de la dieta es uno de los factores fundamentales en el racionamiento de los animales de alta producción. Así mismo encontramos una estrecha correlación ($R^2=0,9158$) entre el contenido en PB y el N extraído por la producción vegetal.

Compactación de suelos

Como ejemplo de los resultados de compactación, la figura 1 muestra la representación de la resistencia a la penetración en carga máxima (zona 1).

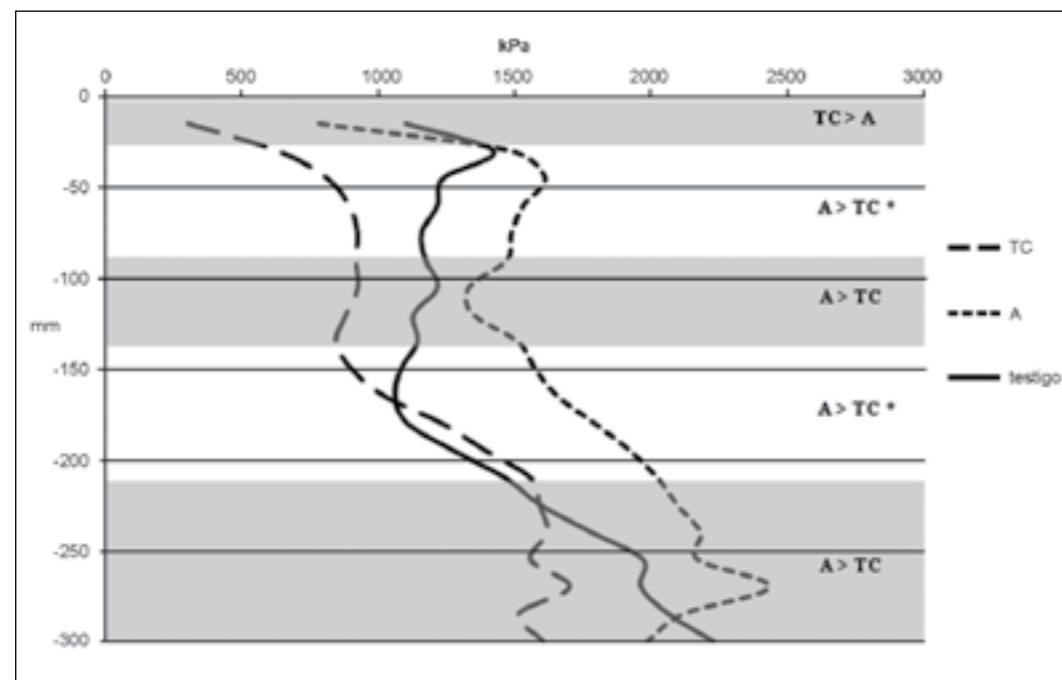


Figura 1. Resistencia a la penetración del suelo en la zona de máxima carga (zona 1).

El laboreo habitual para la preparación del lecho de siembra en estos suelos en los últimos años es la secuencia arado "chisel"-grada rotativa para maíz forrajero y grada de discos- arado "chisel"-grada rotativa para raigrás, sin inversión de horizontes y con una profundidad máxima de trabajo de 15-20 cm. Esto queda bien reflejado en la observación global de las curvas de compactación.

En todo momento el suelo sin tránsito presenta una menor compactación que los otros dos salvo en el tramo 180-210 mm, que puede deberse a una falta de uniformidad del perfil del suelo. En el primer tramo (hasta 15 mm) la compactación ejercida por TC es significativamente superior a la ejercida por A, invirtiéndose esta tendencia a partir de los 30 mm, de forma que el tránsito de TC compacta menos el suelo que el tránsito de A de forma significativa hasta 75 mm. y entre 150 y 210 mm y no significativa entre 90 y 135 mm. y entre 210 y 300 mm. Estos resultados avalan la definición del equipo de TC como de "baja compactación" ya que, con un peso en carga superior en 12,1 t al equipo A, produce una menor compactación de los suelos. Además el porcentaje de superficie transitada (compactada) en la labor de aportación de la FL es de 8,33 % en TC frente a 10,16 % en A. Por estas dos razones resulta más recomendable el equipo TC frente al equipo A en el marco de disminuir la compactación de los suelos con esta labor.

CONCLUSIONES

En las condiciones en las que se ha llevado a cabo la experiencia:

- La respuesta tanto productiva como de contenido en proteína bruta del cultivo es superior para las aportaciones de nitrógeno de origen mineral (urea) que para las aportaciones de la fracción líquida procedente de la separación del purín de vacuno de leche.
- Desde la perspectiva de producción de forraje por kg de N total aportado con la FL la eficiencia del equipo de abanico es superior a la del equipo de tubos colgantes. Esto se invierte si se consideran las extracciones de nitrógeno de la biomasa forrajera cuando a la aportación orgánica se acompaña de aportaciones de nitrógeno mineral.
- La compactación del suelo producida por el equipo de tubos colgantes es inferior a la producida por el equipo de abanico tanto por la presión ejercida sobre las huellas de tránsito como por el porcentaje de superficie compactada.

AGRADECIMIENTOS

Proyecto europeo Interreg IV a FER GIR, Gestión Integral de Residuos Ganaderos como Fertilizantes para los Cultivos. S.A.T. Ganadería ETXEBERRI nº 653 NA.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- MANGADO J.M., OIARBIDE J., BARBERÍA A. Y GRANADA A. (2009) Eficiencia y efecto residual del nitrógeno contenido en el purín de vacuno de leche aportado sobre prados en ambiente atlántico. En: Reiné R. *et al.* (Eds) *La multifuncionalidad de los pastos: producción ganadera sostenible y gestión de los ecosistemas*, pp 205-212. Huesca, España: Sociedad Española para el Estudio de los Pastos.
- MANGADO J.M., ITURRIAGA I. Y GUEMBE J. (2010) Influencia de los equipos de aplicación sobre el valor fertilizante del purín de vacuno de leche en cultivos forrajeros monofitos en ambiente atlántico. En: Universidad de León (Ed) *Pastos: fuente natural de energía*, pp 365-371. 4ª Reunión Ibérica de pastos y forrajes. Zamora-Miranda do Douro.

Proyecto piloto para valorar la adaptación de máquinas específicas de producción y recolección de forrajes en zonas de montaña. Resultados de Navarra

Pilot project to assess the adjustment of specific machinery for production and collection of fodder in mountain areas. Results from Navarre

J.A. ERBURU / G. JAUREGUI

INTIA S.A. Avda. Serapio Huici, 22 Edif. Peritos. 31610 Villava (Navarra). jerburu@intiasa.es

Resumen: Los accidentes asociados al uso del tractor y de la maquinaria agrícola son todavía hoy demasiado frecuentes. Aunque estos accidentes ocurren por causas diversas, la orografía de las parcelas juega un papel importante, en especial en los casos de los vuelcos del tractor y de los deslizamientos. Los ganaderos ubicados en entornos montañosos son los más afectados por esta problemática puesto que se exponen a este riesgo con frecuencia cuando aprovechan los recursos forrajeros de las parcelas en laderas. En esta comunicación se presenta el proyecto piloto del Ministerio de Medio Ambiente, Rural y Marino y en el que ha participado Navarra junto con otras dos Comunidades Autónomas, con el objetivo de dar una solución al problema descrito. El elevado número de accidentes así como el elevado porcentaje de tareas que se hacen "a mano", ponen de manifiesto la necesidad de adquirir tractores y máquinas adaptadas para trabajar en este entorno. A pesar de que la maquinaria de montaña es muy utilizada en la región alpina, en nuestro país apenas se conoce. Se trata de tractores muy estables, adaptados para trabajar con total seguridad incluso en las pendientes más pronunciadas. Por su elevado precio se aconseja comprar de forma conjunta.

Palabras clave: maquinaria agrícola, tractores, producción forrajera, seguridad, laderas.

Abstract: Accidents due to the use of agricultural machinery are nowadays still too frequent. Although these accidents happen for different reasons, the slope of the field is one of the main reasons, especially in roll-overs and gliding. Farmers who live in mountain areas are exposed to these hazards when they harvest the grass from steep fields. The aim of this communication is to explain the project, created by Ministerio de Medio Ambiente, Rural y Marino and in which Navarra has taken part with another two communities in order to solve these problems. The high number of accidents and handmade works show that it is necessary to obtain adapted tractors and machines which allow working on these surfaces. In spite of the fact that the use of this kind of agricultural machinery is very common in Alpine areas, in our country almost nobody knows it. There are high stability tractors, adapted for working safety even in the steepest slopes. However, their high price and the small size of the farm fields make the individual acquisition difficult and suggest buying them in partnership.

Key words: agricultural machinery, tractors, forage production, safety, slopes.

INTRODUCCIÓN

A pesar de la relevancia de la producción forrajera en zonas de orografía montañosa, tales como la cornisa cantábrica, existe una carencia en el uso de maquinaria agrícola para la producción forrajera adaptada al trabajo en laderas. Como consecuencia, los ganaderos de las explotaciones de montaña se ven obligados a trabajar utilizando los medios mecánicos propios de zonas más llanas, lo que da lugar a numerosos accidentes por vuelco del tractor, en ocasiones mortales. Estos accidentes suponen un tercio de los mortales producidos en el sector agrario y son la principal causa

de muerte relacionada con el trabajo en el campo (Jarén *et al.*, 2009). En España, cada año mueren cerca de 100 personas debido a los accidentes con el tractor (Jarén *et al.*, 2010) y, en Navarra, la media de los últimos años es de 4. De dichos accidentes, el 90% son vuelcos laterales y sólo un 10% son vuelcos hacia atrás (Mangado *et al.*, 2007). Por otro lado, el envejecimiento paulatino de la población rural y la disminución de la actividad ganadera han conllevado, en algunos casos, el abandono de superficies forrajeras antes aprovechadas. Como consecuencia de este abandono, los prados evolucionan hacia comunidades arbustivas, perdiendo su calidad y potencial para la alimentación del ganado y alterando el paisaje tradicional.

Con el objetivo de dar una solución a esta problemática, el Ministerio de Medio Ambiente, Rural y Marino, ha puesto en marcha este proyecto piloto, en el que participan la Comunidad Foral de Navarra a través del Instituto Técnico y de Gestión Ganadero y con la colaboración de la Escuela Técnico Superior de Ingenieros Agrónomos de la Universidad Pública de Navarra, la Comunidad de Castilla y León, a través del Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León y la Consejería de Medio Rural y Pesca del Gobierno del Principado de Asturias, a través de la Escuela Superior y Técnica de Ingeniería Agraria de la Universidad de León.

El objetivo de este proyecto es el de mejorar la mecanización de las explotaciones ubicadas en zonas de montaña, dotándolas de equipos específicos para que puedan seguir aprovechando los recursos forrajeros de forma segura para los tractoristas.

MATERIAL Y MÉTODOS

Este proyecto se compone de cuatro fases diferenciadas:

- Fase I, estudio de la situación actual: se pretende conocer el estado actual de las explotaciones de montaña en cuanto a la mecanización de la producción de forrajes. Para ello, en el verano de 2010 se realizaron 72 encuestas de forma presencial en explotaciones ganaderas ubicadas en la región biogeográfica de los “Valles Atlánticos” (Erburu *et al.*, 2011a, 2011b). Es aquí donde se efectúa un aprovechamiento de los recursos forrajeros en laderas.
- Fase II, recopilatorio de la maquinaria apta para montaña: se ha hecho un recopilatorio de las máquinas más aptas para trabajar en estas zonas. Se han utilizado catálogos así como información recopilada en diversas salidas.
- Fase III, demostraciones de maquinaria: con el objetivo de dar a conocer los avances tecnológicos en la materia entre los ganaderos interesados, se han organizado dos demostraciones de maquinaria en la que se han podido ver tractores y equipos adaptados para estas zonas.
- Fase IV, elaboración de guías de seguridad: se han elaborado dos guías, una destinada a los técnicos del sector y otra a los ganaderos de montaña, en la que se dan recomendaciones sobre la “seguridad en el trabajo con maquinaria agrícola en zonas de montaña”, con el objetivo de concienciar a los ganaderos sobre el riesgo existente y evitar los accidentes.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Estudio de la situación actual

En la zona de estudio los prados constituyen el principal recurso forrajero utilizado en la alimentación del ganado (ovejas y vacas principalmente). Así, el laboreo y la siembra de cultivos forrajeros son prácticas muy poco extendidas en la montaña, con la salvedad de la siembra del maíz en las zonas más llanas. Se trata, por tanto, de recursos forrajeros espontáneos en todos los casos. De forma paralela, es muy común que los ganaderos de estas zonas aprovechen el helecho, *Pteridium aquilinum*, recolectándolo en otoño y utilizándolo para “cama caliente” de forma semejante a la paja de cereal. El 83% de las explotaciones hacen un aprovechamiento de este recurso, sin duda justificado por su buena capacidad absorbente y por el elevado precio de la paja de cereal. De media, se aprovechan 4,16 hectáreas de helechal por explotación.

Todavía hoy, parte de las labores de producción del forraje se hacen a mano como consecuencia de la dificultad de mecanizar esas zonas, pero sobre todo debido a que no disponen de tractores y equipos adaptados para trabajar en estas áreas.

Las tareas más problemáticas la constituyen la distribución de abonos minerales (*abonado*) y la de abonos orgánicos (*estercolado*). Un 44 % de la muestra no dispone de abonadoras y cuando aplican el abono lo hacen manualmente. El 26% distribuye el estiércol manualmente. Un 7% de la muestra recoge la hierba suelta, sin empacar, con lo que la voltean y la acordonan manualmente.

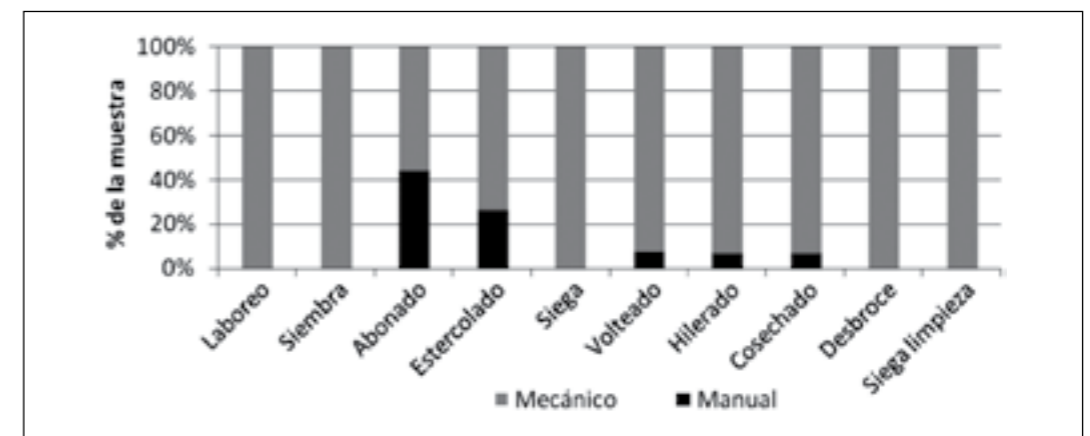


Figura 1. Grado de mecanización de los trabajos.

Existen también otras prácticas manuales muy habituales durante la recolección del forraje en estas zonas. Se trata de la recogida de los restos tras la pasada de la empacadora o la rotoempacadora y el acarreo del forraje a zonas llanas para su empacado. El 82 y 62% de los encuestados respectivamente, afirman hacerlo (fig. 1).

La máquina por excelencia en cualquier explotación agrícola es el tractor. En este caso de todos los equipos de tracción utilizados el 81% corresponde a tractores con-

vencionales de doble tracción y el 18% a tractocarros. Los tractores utilizados tienen una potencia comprendida entre los 50-90 CV en la mayoría de los casos y es frecuente encontrar algunos que no dispongan de estructuras de protección frente al vuelco. El 25% de los tractores y el 22% de los tractocarros carecen de estructuras de protección frente al vuelco (ROPS) (Erburu *et al.*, 2011a; 2011b) (fig. 2).

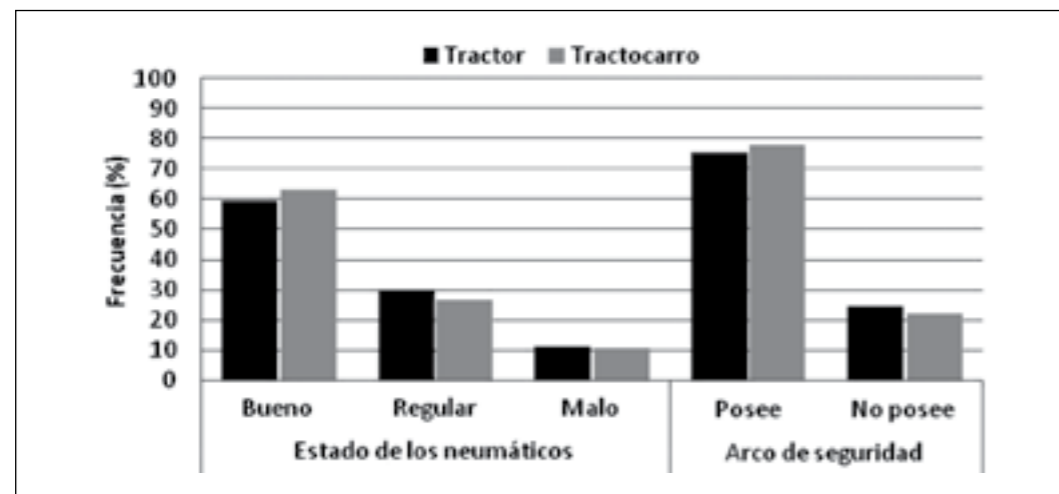


Figura 2. Elementos de seguridad de los tractores y tractocarros.

La frecuencia de los accidentes registrados en la muestra analizada es bastante elevada. En las zonas de montaña, con elevadas pendientes, como es la que nos ocupa, el vuelco de tractores es por desgracia demasiado frecuente (fig. 3). Según los datos recogidos el 26 % de los encuestados ha sufrido algún deslizamiento al conducir el tractor por una cuesta y el 25 % ha volcado el tractor alguna vez. El hecho de que una cuarta parte de la muestra haya volcado alguna vez es muy alarmante, a pesar de que en la mayoría de los casos los accidentes no han dado lugar a daños personales.

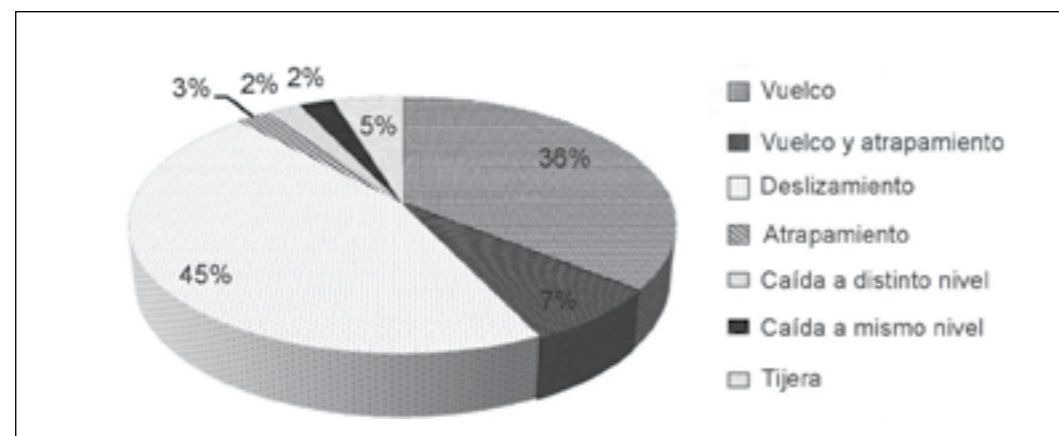


Figura 3. Accidentes más comunes.

Del total de accidentes e incidentes registrados, el deslizamiento (45%) y el vuelco (36%) son, sin duda, los más relevantes, aunque también se han registrado otros accidentes con menor frecuencia. A pesar de ello, sólo el 17% de los vuelcos y el 5% de los deslizamientos han dado lugar a daños personales muy graves.

Maquinaria de montaña

Tras analizar el estado actual se comenzó a buscar maquinaria adaptada para trabajar en laderas. En países como Austria, Suiza e Italia, se ha desarrollado una maquinaria muy adaptada a las condiciones reinantes, prados de montaña, y diferenciada de los tractores y equipos utilizados en Navarra. Se trata de tractores muy estables debido a su reducida altura del centro de gravedad. Los equipos de tracción encontrados se pueden clasificar del siguiente modo:

- Equipos de un eje (motosegadoras): su principal función es la de segar el forraje en laderas, aunque pueden desarrollar otras actividades cambiándoles el implemento. Los nuevos modelos incorporan transmisión y dirección hidrostática con lo que son fáciles y seguros de manejar. Se les pueden acoplar ruedas gemelas o zarpas metálicas para aumentar la estabilidad y la adherencia de las máquinas.
- Equipos de dos ejes:
 - Tractores de montaña: en este grupo se engloban una serie de tractores específicos para su uso en laderas. Todos los modelos comparten algunas características, como son su reducida altura al centro de gravedad, su agilidad y ligereza. En muchos casos poseen dirección tanto en el eje delantero como en el trasero y permiten trabajar con cuatro formas de dirección: dirección en el eje delantero, en el trasero, en las cuatro ruedas y la dirección en cangrejo. Se puede trabajar con los implementos montados frontalmente o en la parte posterior.
 - Transporters: son vehículos compuestos por una cabina y un bastidor sobre el que se colocan diferentes accesorios, como autocargadores de forraje, esparcidores de estiércol, etc. Están diseñados para portar equipos en vez de arrastrarlos, por lo que son vehículos muy estables y seguros. Normalmente sólo tienen dirección en el eje delantero aunque hay algunas excepciones.

Estos equipos constituyen una de las mejores soluciones tecnológicas frente al problema de la mecanización de las laderas de forma segura. No obstante, su elevado precio y la falta de polivalencia de algunos tractores dificultan su compra. El asociacionismo de los ganaderos podría resolver estos problemas.

Guías de seguridad

La última fase del proyecto ha consistido en la publicación de dos manuales relativos a la seguridad en el uso de las máquinas en laderas. Por un lado se ha redactado una

guía destinada a los técnicos de campo que trabajan con ganaderos y por el otro, se han elaborado guías divulgativas para los propios ganaderos. Ambas guías llevan por título “seguridad en el trabajo con maquinaria agrícola en zonas de montaña” (en elaboración) y mientras que la guía técnica es un documento amplio con contenido técnico, la guía divulgativa es mucho más breve y vistosa. El objetivo de estas guías es el de reducir el número de accidentes como consecuencia de la formación y concienciación de los trabajadores del campo.

CONCLUSIONES

De este proyecto se concluye que:

- La elevada frecuencia de vuelcos y deslizamientos registrados, así como la precariedad de los trabajos manuales ponen de manifiesto la necesidad de fortalecer la mecanización de las zonas montañosas.
- Existe maquinaria para trabajar en laderas de forma segura, cómoda y eficaz, pero su alto precio, la falta de versatilidad y el reducido tamaño de las explotaciones dificulta su difusión.
- La creación de CUMAs (cooperativa de utilización de maquinaria en común) y las subvenciones pueden favorecer la compra de estas máquinas.
- La difusión de la maquinaria específica de montaña permitiría seguir trabajando en los prados ubicados en laderas, haciendo de la producción forrajera de montaña una actividad más digna y atractiva y evitando la degradación de los prados.

AGRADECIMIENTOS

Al Ministerio de Medio Ambiente, Rural y Marino – Proyecto Red Rural, ayudas FEADER (código de proyecto CCAA/2009/04, expediente nº 20095110601000099).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ERBURU J.A., JAUREGUI G., JAREN C., ARNAL P., ARAZURI S. Y MANGADO T. (2011a) Maquinaria forrajera de montaña. *Navarra Agraria*, **189**, 37-46.
- ERBURU J.A., JAUREGUI G., JAREN C., ARNAL P., ARAZURI S. Y MANGADO T. (2011b) Maquinaria forrajera de montaña. *Navarra Agraria*, en prensa.
- JAREN C., ARNAL P., ARANA I. Y ARAZURI S. (2009) Riesgos comunes y genéricos del tractor y la maquinaria agrícola. *Tierras de Castilla y León*, **160**, 20-27.
- JAREN C., ARAZURI S., MANGADO J. Y ARNAL P. (2010). Accidentes en el sector agrario: 2006-2010. *Agrotécnica*, **14** (7), 58-60.
- MANGADO J., ARANA I., JARÉN C., ARNAL P., ARAZURI S. Y PONCE DE LEÓN J.L. (2007) Development and Validation of a Computer Program to Design and Calculate ROPS. *Journal of Agricultural Safety and Health*, **13**, 65-82

Producción de pastos herbáceos en el municipio de Tavertet (Barcelona)

Grasslands production in Tavertet municipality (Barcelona)

C. CASAS ARCARONS / A. MARCÉ PUJOL / A. PLA SANZ

Grup de Recerca en Medi Ambient. Departament de Ciències Ambientals.
Escola Politècnica Superior. Universitat de Vic. C. de la Laura, 13. 08500 Vic
carne.casas@uvic.cat

Resumen: El objetivo del trabajo es conocer el potencial productivo de los pastos herbáceos de una finca silvopastoral con ganadería extensiva de vacuno situada en el término municipal de Tavertet (Barcelona). Se presentan los resultados de la producción de los prados y de las praderas de esta finca obtenidos en los años 2009 y 2010. Se ha realizado el estudio de la evolución de la biomasa aérea mensual en 4 tipos de comunidades: pastizales de *Aphyllanthion*, pastos mesófilos (*Bromion erecti*), prados (*Arrhenatherion*) y praderas sembradas. A partir de la biomasa aérea mensual se ha calculado la producción anual para cada tipo de pasto. Los valores máximos de biomasa se obtienen en junio en las praderas, en julio en los pastos mesófilos, en agosto en los pastizales de *Aphyllanthion* y entre agosto y septiembre en los prados de siega. Las praderas son los pastos más productivos (9657 kg MS ha⁻¹ año⁻¹), seguidos de los prados de siega (8660 kg MS ha⁻¹ año⁻¹) y los prados mesófilos (5266 kg MS ha⁻¹ año⁻¹). Los pastizales presentan una producción significativamente más baja (2627 kg MS ha⁻¹ año⁻¹).

Palabras clave: biomasa aérea, pastizales, prados, praderas.

Abstract: The aim of the study is to determine the potential production of grasslands in a silvopastoral farm with extensive bovine cattle raising, situated in Tavertet, in the Collsacabra area (Barcelona). This article presents the results of grasslands production obtained in 2009 and 2010. A study has been carried out on the evolution of monthly biomass in 4 types of communities: Mediterranean grasslands (*Aphyllanthion*), mesophilous grasslands (*Bromion erecti*), meadows (*Arrhenatherion*) and sown meadow planted with a mixture of forage species. Production has been calculated from the monthly biomass for each type of grassland. Biomass peaks occur in June for sown meadows, in July for mesophilous grasslands, in August for Mediterranean grasslands and between August and September for the meadows. The sown meadows are the most productive (9657 kg dry matter ha⁻¹ year⁻¹), followed by meadows (8660 kg dry matter ha⁻¹ year⁻¹) and mesophilous grasslands (5266 kg dry matter ha⁻¹ year⁻¹). The Mediterranean grasslands have a significantly lower production (2627 kg dry matter ha⁻¹ year⁻¹).

Key words: biomass, Mediterranean grasslands, meadows, sown meadows.

INTRODUCCIÓN

El municipio de Tavertet se encuentra situado en el Collsacabra, una subcomarca natural de unos 140 km² del noroeste de Cataluña, entre las sierras Pre-litoral y Transversal catalanas. La mayor parte de esta área (el Collsacabra) es un Espacio de Interés Natural incluido en el Sistema Transversal Català de la Red Natura 2000. Se trata de una zona de montaña, con altitudes comprendidas entre los 700 m y los 1300 m, con un clima mediterráneo de montaña (T^a media anual alrededor de los 12 °C y precipitación anual superior a los 1000 mm), con inviernos fríos (T^a media del mes de enero de unos 3 °C) y veranos suaves (T^a media en julio y agosto inferior a los 20 °C). La flora y la vegetación es predominantemente submediterránea y centroeuropea; los bosques caducifolios (robledales y hayedos) y los pastos constituyen el paisaje característico de esta zona.

En los últimos años se ha producido en esta zona un receso de la agricultura y un aumento considerable de la ganadería extensiva de vacuno, mayoritariamente y de ovino en algunas explotaciones, que ha llevado a la transformación de los cultivos de cereales en praderas y a la utilización permanente de los prados naturales (Serra, 1990), modelando el paisaje actual en un mosaico de bosques y pastos herbáceos.

A pesar de la importancia económica que tienen en esta zona el aprovechamiento de los pastos herbáceos en régimen de ganadería extensiva, se han realizado muy pocos estudios acerca de su producción (Puigdemunt, 2001; Andreu, 2002).

El objetivo del presente trabajo es conocer y comparar el potencial productivo de distintos tipos de pastos herbáceos de una finca silvopastoral con ganadería extensiva de vacuno situada en el municipio de Tavertet (Barcelona), en la subcomarca del Collsacabra (Cataluña).

MATERIAL Y MÉTODOS

El estudio se ha realizado en la finca “Els Cingles de l’Avenç” en el término municipal de Tavertet (Barcelona), de unas 300 ha y de un alto interés paisajístico, con una elevada diversidad de especies y hábitats (bosques, matorrales, roquedos, pastos, etc.). Se encuentra situada entre los 1000 m (en la parte baja) y 1200 m (en la parte alta), con sustratos calcáreos (calizas, margas y areniscas). Los propietarios de la finca tienen por objetivo realizar una gestión sostenible de los recursos naturales con el fin de hacer compatibles la conservación de los valores naturales y paisajísticos con la explotación ganadera, para que esta sea económicamente y ambientalmente viable.

La superficie ocupada por los pastos herbáceos es de 127,5 ha, los cuales corresponden a cuatro tipos principales de comunidades (tabla 1): pastizales de *Aphyllanthion*, pastos mesófilos (*Bromion erecti*), prados (*Arrhenatherion* y *Cynosurion*) y praderas sembradas con una mezcla comercial de especies forrajeras (*Dactylis glomerata*, *Lolium perenne*, *Lolium multiflorum*, *Festuca arundinacea*, *Trifolium pratense*, *Trifolium repens*, etc.). Estos pastos son aprovechados a diente por un rebaño de ganado vacuno formado por unas 100 vacas, 2 toros y unos 50 becerros). El resto de la superficie (177,1 ha) esta ocupada mayoritariamente por bosques caducifolios (hayedos y robledales), matorrales (bojedales, zarzales, sabinars, landas de brecina) y roquedos con pastos terofíticos.

Tabla 1. Superficie ocupada por los distintos tipos de pastos en la finca.

Tipo de pasto	Superficie (ha)
Pastizales de <i>Aphyllanthion</i>	27,75
Pastos mesófilos (<i>Bromion erecti</i>)	19,93
Prados de siega (<i>Arrhenatherion</i> y <i>Cynosurion</i>)	11,94
Praderas	69,01

Para el estudio del potencial productivo de los pastos se instalaron 11 parcelas permanentes de 7,5 m x 5 m (35,5 m²), excluidas del pastoreo, representativas de las cuatro tipologías de pastos: dos parcelas en pastizales de *Aphyllanthion*, dos parcelas en pastos mesófilos, una parcela en un prado de siega y seis parcelas en praderas; estas últimas distribuidas en distintas zonas de la finca: cuatro en la parte baja (con sustrato calcáreo de calizas y margas) y dos en la parte alta (con sustrato de areniscas). El número de parcelas estudiadas para cada tipo de pasto se estableció en base a la superficie que ocupan en la finca.

Durante los años 2009 y 2010 se realizó un muestreo mensual (desde abril hasta noviembre) de la biomasa aérea en cada una de las parcelas. En cada muestreo y para cada parcela se obtuvieron cuatro muestras de 0,5 m x 0,5 m segando manualmente con tijeras toda la hierba incluida dentro del cuadrado. Al inicio del estudio se realizó en cada parcela una distribución regular de los cuadrados a cortar en cada muestreo.

Las muestras se pesaron inmediatamente después del muestreo para obtener el peso fresco. Posteriormente, en el laboratorio, se secaron en estufa de aire forzado a 60 °C durante 48 horas, para la obtención del peso seco. La producción anual se calculó a partir de la suma de los incrementos positivos de la biomasa aérea mensual (Sinhg *et al.*, 1975).

El análisis de las diferencias entre las comunidades en la biomasa aérea mensual y en la producción anual se realizó mediante el análisis de la varianza y la significación de las diferencias entre medias se evaluó mediante el test de Duncan. Los análisis estadísticos se realizaron con el paquete estadístico SPSS (vs. 18.0).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El régimen de temperaturas y precipitaciones influyen de manera clave en la dinámica estacional de la biomasa aérea y en la producción anual de los pastos (Lauenroth y Sala, 1992; Shankar *et al.*, 1993). En la zona de estudio, las precipitaciones se distribuyen regularmente a lo largo de todo el año, siendo mas abundantes en abril-mayo y en septiembre-octubre. Durante el primer año (2009) las precipitaciones fueron abundantes en abril y en septiembre, mientras que en el segundo año (2010) lo fueron en mayo y en octubre (fig. 1 y tabla 2).

Durante todo el año, la biomasa de las praderas y los prados de siega es superior a la que presentan los pastos mesófilos y los pastizales de *Aphyllanthion*, siendo estos últimos los que tienen los valores más bajos de materia seca (fig. 2). En todos los meses las diferencias son notables y significativas, excepto en los meses de junio y julio del segundo año (2010), en los cuales la biomasa de los prados y de los pastos mesófilos no varían significativamente.

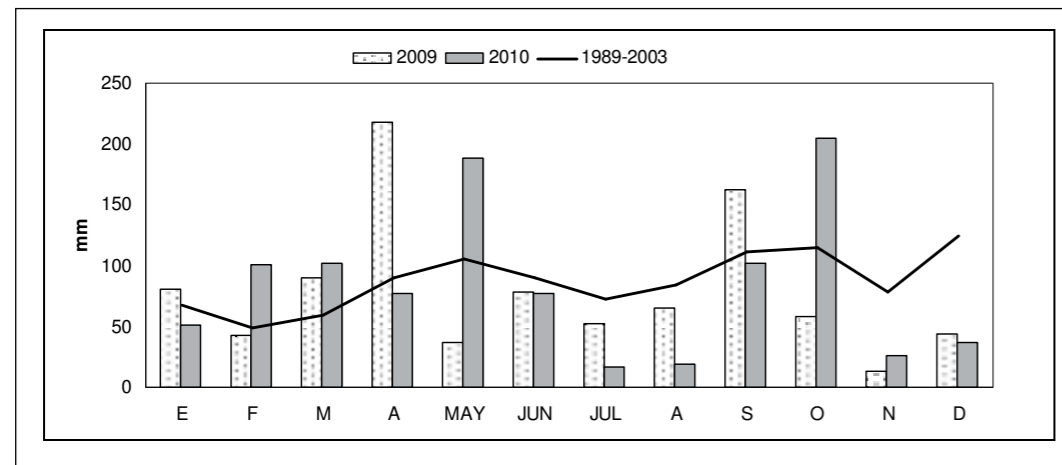


Figura 1. Precipitación mensual de los dos años de estudio (2009 y 2010) y de la serie 1989-2003 en el observatorio de Rupit (Barcelona), próximo a la finca.

Tabla 2. Resumen de la temperatura media anual y de la precipitación anual de los dos años de estudio (2009 y 2010) en el observatorio de Rupit, próximo a la finca.

	1989-2003	2009	2010
Tª media (°C)	10,3	10,9	9,7
Precipitación anual (mm)	1046,2	1001,6	943,4

Las especies forrajeras sembradas presentan un crecimiento mucho más rápido que las especies propias de los prados naturales, alcanzándose un pico de biomasa destacado en junio en las praderas. Mientras que en los pastizales, en los pastos mesófilos y en los prados se produce un crecimiento más gradual hasta alcanzar los valores más altos durante el verano, en julio en los pastos mesófilos, y entre agosto y septiembre en los pastizales y los prados de siega (fig. 2).

La producción anual varía significativamente entre los distintos tipos de pastos, siendo las praderas los más productivos seguidos de los prados de siega y los pastos mesófilos; los pastizales de *Aphyllanthion* presentan una producción significativamente más baja (tabla 3). La mayor variabilidad que hay en la producción de las praderas se atribuye a las variaciones observadas en la producción según las zonas. En la parte baja de la finca estas praderas corresponden a la transformación de antiguos cultivos en pastos para el pastoreo extensivo de bovinos. Además en algunos de estos pastos, anteriormente (unos 5 años atrás) se realizaron aplicaciones de fertilizantes (purín de cerdo). Todo ello junto al hecho que presentan suelos más profundos, con textura franco arcillosa (Trías *et al.*, 2008) que les concede una mayor capacidad de retención de agua, permite obtener una mayor producción. En contraste con los de la zona alta que proceden de la tala de los bosques, tienen suelos poco profundos y de textura francoarenosa, que limitan mucho más la producción, sobretodo durante el verano. Todo esto explica que la producción de los pastos sembrados de la parte baja sea significativamente superior a la producción obtenida en la parte alta (tabla 3).

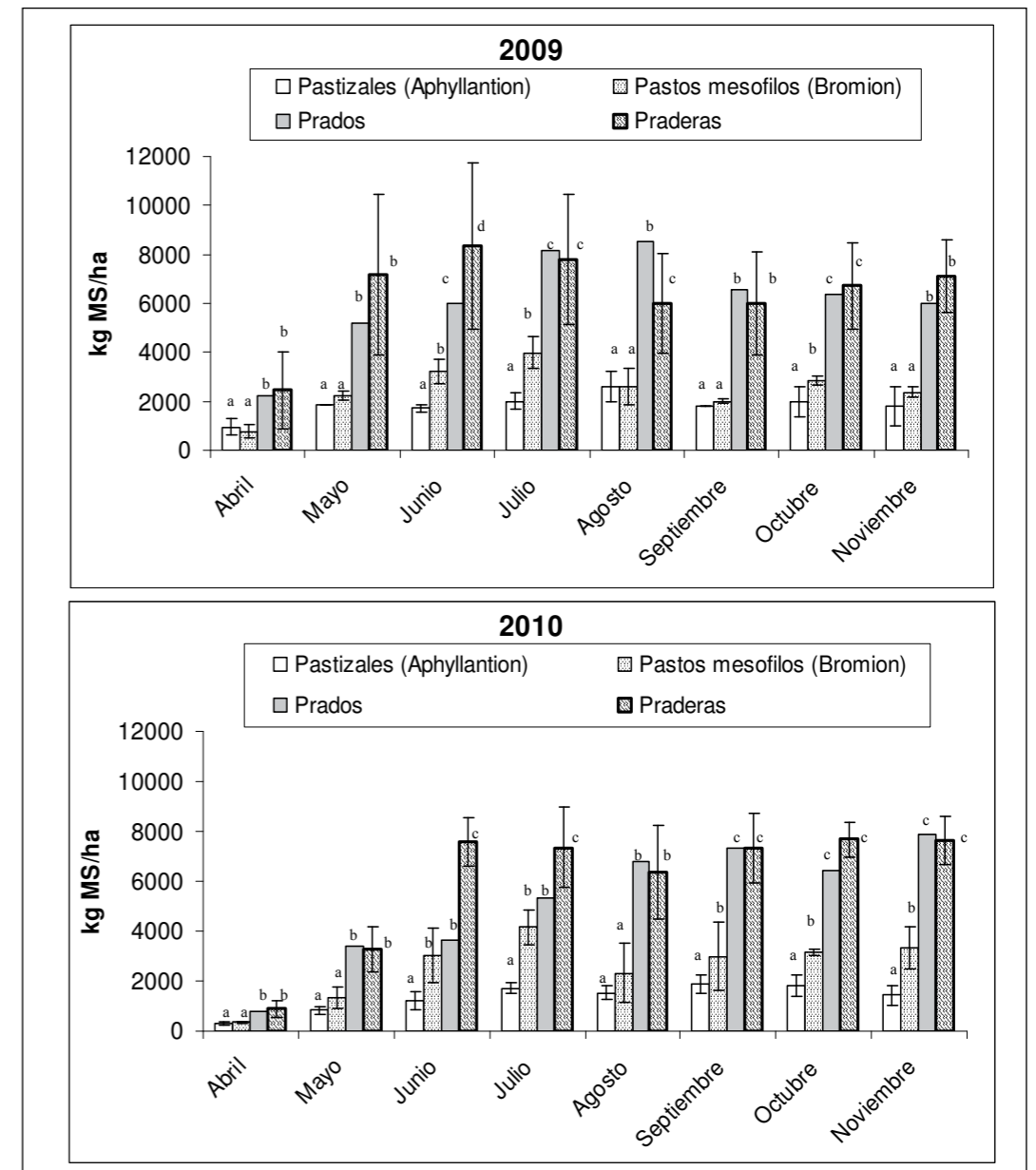


Figura 2. Evolución mensual de la biomasa aérea en cada tipo de pasto durante los años 2009 y 2010. Media y desviación estándar de las parcelas de cada tipo de pasto (pastizales: n=8; pastos mesófilos: n=8; prados: n= 4; praderas: n=24). Para cada mes, las comunidades que no comparten la misma letra son significativamente distintas (p<0,05; test Duncan).

La producción obtenida en los prados de siega y los pastos mesófilos (tabla 3) está dentro del intervalo de valores de producción anual obtenida para este tipo de pastos (*Arrhenatherion* y *Bromion erecti*) en el Pirineo (Gómez-García *et al.*, 2009) y la producción de los pastizales de *Aphyllanthion* es similar a la obtenida en el mismo tipo de comunidad en la Plana de Vic (Barcelona) (Casas, 2008).

Tabla 3. Producción anual de materia seca en cada tipo de pasto. Media y desviación estándar entre las parcelas de cada comunidad. Los valores que no comparten una misma letra son significativamente distintos ($p < 0,05$; test de Duncan).

Tipo de pasto	Producción anual (kg MS ha ⁻¹ año ⁻¹)		
	2009	2010	Media
Pastizales (<i>Aphyllanthion</i>)	3138,25 ± 882,69	2117,60 ± 331,34	2627,92 ± 802,22 a
Pastos mesófilos (<i>Bromion</i>)	4749,57 ± 398,05	5782,41 ± 525,75	5265,99 ± 707,49 ab
Prados de siega	8553,49	8767,26	8660,38 ± 151,16 bc
Praderas	9699,74 ± 3648,63	9613,33 ± 1445,57	9656,53 ± 2646,32 c
Parte baja	11 787,78 ± 1853,84 x	10 212,07 ± 771,11	10 999,92 ± 1561,12 x
Parte alta	5523,64 ± 1983,19 y	8415,86 ± 2088,70	6969,75 ± 2356,59 y

CONCLUSIONES

Los valores máximos de biomasa se obtienen en junio en las praderas, en julio en los pastos mesófilos y en agosto y septiembre en los pastizales y los prados de siega. Las praderas sembradas con una mezcla de especies forrajeras y los prados de siega son más productivos que los pastizales; los pastos mesófilos presentan una producción intermedia entre ambos (superior a los pastizales e inferior a las praderas).

AGRADECIMIENTOS

Este estudio se ha realizado con la subvención aportada por la Obra Social de Catalunya Caixa, copropietaria de la finca donde se ha realizado (Els Cingles de l'Àvenç de Tavertet).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDREU M. (2002) *Estudi de diferents tipus de pastures del Cabrerès*. Treball final de carrera. Vic, España: Escola Politècnica Superior. Universitat de Vic.
- CASAS M.C. (2008) *Estudi tipològic, ecològic i funcional de les pastures de la Plana de Vic*. Barcelona, España: Institut d'Estudis Catalans.
- GÓMEZ-GARCÍA D., GARCÍA-GONZÁLEZ R. Y FILLAT F. (2009) Multifuncionalidad de los pastos herbáceos de montaña: Hacia una interpretación multidisciplinar de los sistemas pastorales del Pirineo aragonés. En: Reiné R. et al. (Eds) *La multifuncionalidad de los pastos: producción ganadera sostenible y gestión de los ecosistemas*, pp.15-41. Huesca, España: Sociedad Española para el Estudio de los Pastos.
- LAUENROTH W. K. Y SALA O. E. (1992) Long-term forage production of North American short-grass steppe. *Ecological Applications*, **2**(4), 397-403.
- PUIGDEMUNT M. (2001) *Estudi de la producció farratgera de diferents tipus de pastures*. Treball final de carrera. Vic, España: Escola Politècnica Superior. Universitat de Vic.

- SERRA A. (1990) *La comunitat rural a la Catalunya medieval: Collsacabra (S. XIII-XIV)*. Vic, España: Eumo Editorial.
- SHANKAR U., PANDEY H. N. Y TRPATHI R. S. (1993) Phytomass dynamics and primary productivity in humid grasslands along altitudinal and rainfall gradient. *Acta Oecol*, **14**, 197-209.
- SINGH J S., LAUENROTH W. K. Y STEINHORST R. K. (1975) Review and assessment of various techniques for estimating net aerial primary production in grasslands from harvest data. *The botanical review*, **41** (2), 181-232.
- TRIAS R., NOGUERA J. Y MAYNEGRE J. (2008) *Informe tècnic de posada en funcionament de l'explotació ramadera Rajols, situada al T.M de Tavertet (Osona)*. GestRUM S.C.P. Inédito.

Calidad de prados en el Pirineo de Huesca: valoración mediante análisis botánicos y químicos

Meadows quality in Huesca Pyrenees:
botanical and chemical assessment methods

R. REINÉ¹ / C. VILCHEZ¹ / A. BROCA² / M. MAESTRO³ / O. BARRANTES² /
C. CHOCARRO⁴ / A. JUÁREZ⁴ / C. FERRER²

¹Departamento de Agricultura y Economía Agraria. Universidad de Zaragoza. Escuela Politécnica Superior. Ctra. Cuarte s/n. 22071 Huesca.

²Departamento de Agricultura y Economía Agraria. Universidad de Zaragoza. Fac. de Veterinaria. Miguel Servet, 177. 50013 Zaragoza

³Instituto Pirenaico de Ecología. Campus de Aula Dei. Avda. de Montañana. 1005. 50059 Zaragoza

⁴Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Agrària. Universitat de Lleida. C/ Alcalde Rovira Roure, 177. 25198 Lleida.

Resumen: Se ha realizado, durante junio y julio de 2008 y 2009, un control de 160 parcelas de prados del Pirineo aragonés. Se presentan datos de cobertura por familias (gramíneas, leguminosas y "otras"), de análisis de valoración botánica (métodos del Valor pastoral -VP- y del Complex), de análisis químico-bromatológicos (PB, Cenizas, FND, FAD y LAD) y, a partir de estos últimos, cálculos de parámetros de valor nutritivo (ingestión -IMS- y digestibilidad -DMS- de la materia seca y valor relativo del forraje -VRF-). Se concluye que los dos métodos de valoración botánica están altamente correlacionados entre sí, por lo que sería preferible optar por el VP por su mayor simplicidad. Sin embargo, se ha obtenido correlación negativa entre los resultados de calidad de los métodos botánicos y de los químicos, lo que se explica porque en estos últimos se analiza "toda" la hierba, incluyendo plantas tóxicas, plantas mecánicamente perjudiciales y plantas no apetecibles, que el ganado no consume o no debería consumir, casi todas del grupo de "otras", que sí son despreciadas en los métodos botánicos. Estos últimos, por tanto, deberían primar sobre los químicos en comunidades de pastos polifitos y con alta biodiversidad vegetal, máxime si se consumen en pastoreo.

Palabras clave: Valor Pastoral (VP), método "Complex", digestibilidad, valor relativo del forraje (VRF).

Abstract: Field sampling consisting of 160 stands was done in June and July of 2008 and 2009 in Aragonese Pyrenean meadows. Family coverage (grasses, legumes and forbs), value assessment by means of two botanical methods (Pastoral Value -PV- and Complex methods) and chemical analyses (CP, Ashes, NDF, ADF and ADL) are showed. From the chemical analyses, quality parameters (dry matter intake and digestibility, and relative forage value) were calculated. As the two botanical assessment methods were highly correlated, it was concluded that PV methods should be preferred, due to its highest simplicity. Nevertheless, a negative correlation was found between the results of botanical and chemical assessments. In the chemical assessment, the whole grass sample is analyzed, including toxic, mechanically damaging and non-palatable species. Almost all of these species are included in the 'forbs' group, are not (or should not be) eaten by the livestock, and are discarded when applying the botanical methods. We conclude that botanical methods should be chosen versus chemical methods when applied to multi-species, highly diverse communities, remarkably in grazed pastures.

Key words: Pastoral value, complex method, dry matter digestibility, relative forage value.

INTRODUCCIÓN

Se presenta un trabajo sobre prados del Pirineo aragonés, como continuación de otros ya expuestos en anteriores Reuniones Científicas de la SEEP por los mismos autores (Reiné *et al.*, 2009 y 2010). En concreto se plantean ahora dos cuestiones: (i) comparar en estos prados los dos métodos de valoración botánica de pastos más utilizados, el del Valor pastoral -VP- (Daget y Poissonet, 1972) y el Complex (Sostaric y Kovacevic, 1974), con el fin de poder recomendar para el futuro el método más conveniente; (ii) comparar, a su vez, los métodos de valoración botánica con los basados en

análisis químico-bromatológicos con el fin de recomendar, en su caso, el método más operativo y, a ser posible, el más simple y de menor coste.

MATERIAL Y MÉTODOS

En los meses de junio y julio de 2008 y 2009, y en días próximos al primer corte, se muestrearon 160 parcelas de prados en el Pirineo aragonés, según metodología descrita por Reiné *et al.* (2009). La cobertura de cada especie en el prado se estimó transformando (Van der Maarel, 1979) los índices fitosociológicos de abundancia-dominancia a porcentajes (+=0,1%, 1=5%, 2=17,5%, 3=37,5%, 4=62,5 y 5=87,5%), y llevando posteriormente los datos al 100%. Además se cuantificaron los porcentajes de cobertura de gramíneas, de leguminosas y de especies pertenecientes a “otras” familias en cada prado. Con estos valores se analizó la calidad por dos métodos sintéticos de carácter botánico: el del Valor Pastoral (VP) (Daget y Poissonet, 1972) y el del Complex (Sostaric y Kovacevic, 1974).

En el campo también se segaron muestras para estimar la calidad de la hierba mediante análisis químico-bromatológico. En concreto se ha analizado Proteína Bruta (PB) por el método Kjeldahl ($N_{\text{total}} \times 6,25$); Cenizas por incineración a 550°C; y las fracciones del método Van Soest, Fibra Neutro Detergente (FND), Fibra Ácido Detergente (FAD) y Lignina Ácido Detergente (LAD), mediante la técnica de las bolsas de nylon filtro (F57) en el analizador de fibra ANKOM 220 (Ankom Technology Corporation, 1998). Todos los resultados se expresan en porcentajes de Materia Seca (MS). Para la valoración de la calidad de la hierba se ha recurrido a la metodología de Linn y Martin, citada por Calsamiglia (1997), y que responde a los siguientes cálculos:

- Ingestión de la Materia Seca: $IMS \text{ (kg MS/100 kg PV)} = 120/FND$, siendo PV= peso vivo
- Digestibilidad de la Materia Seca: $DMS \text{ (\%)} = 88,9 - (0,779 \times FAD)$
- Valor Relativo del Forraje: $VRF = (DMS \times IMS)/1,29$

Con el paquete estadístico SPSS 15.0 se estimaron medias, desviaciones estándar, máximos, mínimos, matriz de correlaciones de Pearson, recta de regresión lineal y análisis de componentes principales entre algunos de los parámetros descritos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 1 se muestran los valores medios, mínimos y máximos de coberturas de la vegetación por familias, de las valoraciones por métodos botánicos (VP y Complex), del análisis químico de la hierba (PB, Cenizas, FND, FAD y LAD) y de los cálculos de IMS, DMS, VRF. La matriz de correlaciones entre los parámetros estudiados se muestra en la tabla 2 y nos centraremos sólo en las correlaciones superiores al 0,5, obviando las que se establecen entre los parámetros del análisis bromatológico entre sí. El análisis botánico de la calidad resultó superior a 50 (sobre 100), en los dos métodos, y ello con una cobertura media de 45% de gramíneas, 21% de leguminosas y 34% de

“otras”. A partir de los valores de VRF, Casamiglia (1997) propone una clasificación del forraje de acuerdo con las siguientes categorías: excelente, primera, segunda, tercera, cuarta y quinta; según nuestra media, los prados analizados estarían incluidos en la segunda categoría.

Tabla 1. Valor medio, desviación estándar, mínimo y máximo de los parámetros de los análisis botánicos y químicos de los 160 prados muestreados.

	Media	Desv. st.	Mín.	Máx.
Cobertura de gramíneas (%)	44,75	12,76	16,28	80,32
Cobertura de leguminosas (%)	20,86	8,97	0,14	48,07
Cobertura de “otras” (%)	34,38	13,84	4,06	68,77
Valor Pastoral	56,19	12,51	16,10	85,57
Calidad Complex	52,67	11,46	23,65	76,41
Proteína Bruta (% s MS)	11,12	2,02	6,87	17,09
Cenizas (% s MS)	7,70	1,41	0,22	10,95
Fibra Neutro Detergente (% s MS)	56,20	5,89	42,75	70,07
Fibra Ácido Detergente (% s MS)	32,96	3,34	22,62	40,09
Lignina Ácido Detergente (% s MS)	6,24	1,75	1,95	12,92
Ingestión de la Materia Seca (kg MS/100 kg PV)	2,16	0,24	1,71	2,81
Digestibilidad de la Materia Seca	63,23	2,60	57,67	71,28
Valor Relativo del Forraje	106,24	15,67	78,58	153,27

Armengol *et al.* (1993), comparando los métodos Complex y VP sobre una muestra de 25 prados de siega del Pirineo, no encontraron una correlación significativa entre ellos, lo que explicaron por los diferentes índices específicos de calidad considerados en cada uno de los métodos y por el hecho de que calcularon el VP a partir de porcentajes de recubrimiento y el Complex a partir de los porcentajes de materia seca de las especies. Sin embargo nosotros sí hemos encontrado una alta correlación positiva entre ambos métodos (fig. 1). El VP está mejor correlacionado con las gramíneas que el Complex, que presenta valores un poco más altos para las leguminosas, y desde luego ambos se correlacionan muy negativamente con la cobertura del grupo “otras”. La regresión entre VP y Complex ($R^2 = 0,83$), sería todavía superior si no fuera por dos puntos de peor ajuste, que corresponden a prados con coberturas en torno al 10% de dos especies muy penalizadas por el método Complex como *Euphorbia verrucosa* en uno y *Ononis spinosa* en el otro. Recordemos que en ambos métodos cada especie tiene asignado un coeficiente de calidad (incluso negativos en el caso del Complex), que se multiplica por su cobertura. Estos coeficientes que son fijos en el VP, en el Complex se corrigen según la abundancia de la especie en la muestra y también en función de otros condicionantes del medio como la altitud, la riqueza en nutrientes del suelo, su pH, la intensidad de la explotación, las condiciones extremas de humedad y sequía, la propor-

ción de leguminosas y gramíneas en la mezcla, y el tipo de ingestión: pastoreo directo o henificado. Esto hace que la estimación por este método sea un procedimiento mucho más complejo. Por todo ello, la elevada correlación hallada entre los dos métodos nos llevaría a recomendar el del VP por su simplicidad.

Tabla 2. Matriz de correlaciones entre los parámetros estudiados. Prueba de Pearson (n=160 parcelas). Se indican las correlaciones significativas (p<0,001 **, p<0,01 *). Gram.=Cobertura de gramíneas (%), Legum.=Cobertura de leguminosas (%), Otras=Cobertura otras (%), VP=Valor Pastoral (%), Comp.=Complex (%), PB=Proteína Bruta (%), Cen.= Cenizas (%), FND= Fibra Neutro Detergente (%), FAD=Fibra Ácido Detergente (%), LAD= Lignina Ácido Detergente (%), IMS=Ingestión Materia Seca (%), DMS=Digestibilidad Materia Seca (%), VRF= Valor Relativo del Forraje.

	Gram.	Legum.	Otras	VP	Comp.	PB	Cen.	FND	FAD	LAD	IMS	DMS	VRF
Gram.	1												
Legum.	-0,23*	1											
Otras	-0,78**	-0,44**	1										
VP	0,70**	0,36**	-0,88**	1									
Comp.	0,40**	0,58**	-0,74**	0,83**	1								
PB	-0,34**	0,27**	0,14	-0,18*	-0,08	1							
Cen.	-0,14	0,10	0,06	0,01	-0,03	0,39**	1						
FND	0,54**	-0,13	-0,42**	0,38**	0,24*	-0,49**	-0,32**	1					
FAD	0,31**	0,01	-0,28**	0,26*	-0,17*	-0,40**	-0,31**	0,83**	1				
LAD	-0,43**	0,21*	0,26**	-0,28**	-0,15	0,24*	0,03	-0,16*	0,28**	1			
IMS	-0,54**	0,11	0,42**	-0,39**	-0,25*	0,50**	0,33**	-0,99**	-0,84**	0,13	1		
DMS	-0,31**	0,01	0,28**	-0,26*	-0,17	0,40**	0,31**	-0,83**	-1,00**	-0,27**	0,84**	1	
VRF	-0,49**	0,08	0,40**	-0,37**	-0,24*	0,49**	0,34**	-0,97**	-0,91**	0,02	0,99**	0,91**	1

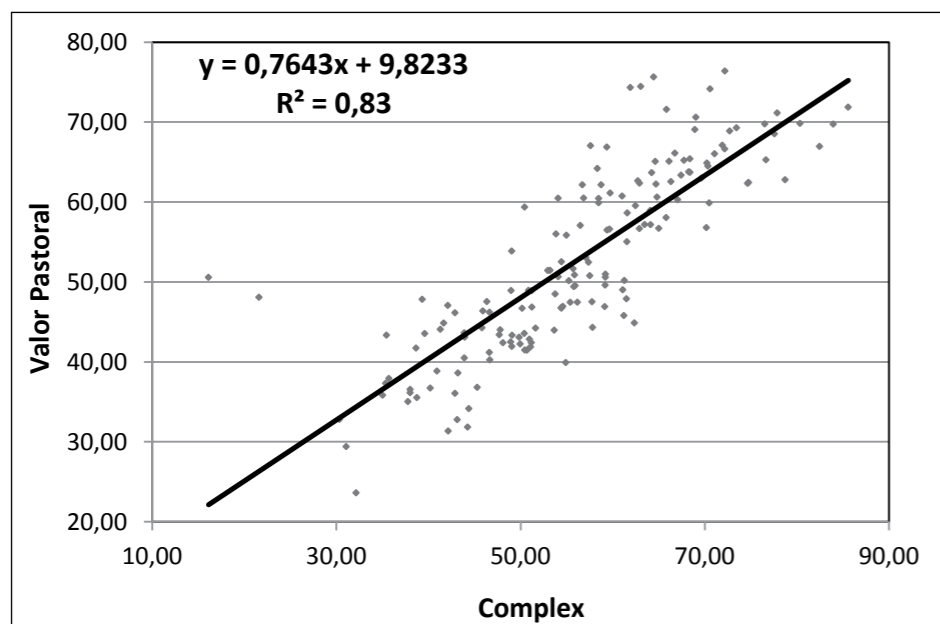


Figura 1. Correlación entre los dos métodos botánicos de estimación de la calidad: el “Valor pastoral” (Daget y Poissonet, 1972) y el “Complex” (Sostaric y Kovacevic, 1974) (n=160 parcelas).

Sin embargo debemos resaltar el hecho de que el VRF está negativamente correlacionado con los dos procedimientos botánicos: el VP y el Complex. Tampoco Peláez *et al.* (2011) encuentran, en prados de la montaña leonesa, correlación entre valoraciones energéticas obtenidas por el método del VP y por los métodos “clásicos” de análisis químicos. En nuestro caso, para esclarecer más estas relaciones, hemos realizado un análisis de componentes principales (fig. 2) en el que las dos primeras componentes explican el 70% de la varianza. Observamos como en la parte positiva del eje X (45% de la varianza), encontramos VP, Complex, gramíneas, FND y FAD y en la parte negativa están la PB, el VRF y el grupo “otras”. La cobertura de gramíneas, por su parte, se correlaciona (tabla 2) positivamente con la FND, y en consecuencia negativamente con IMS y con el VRF. También es destacable la agrupación de las variables en los cuadrantes de la figura 2 (en sentido dextrógiro): leguminosas, gramíneas, Complex y VP en uno; FND y FAD en otro; “otras” y LAD en otro; y VRF, PB y cenizas en el último.

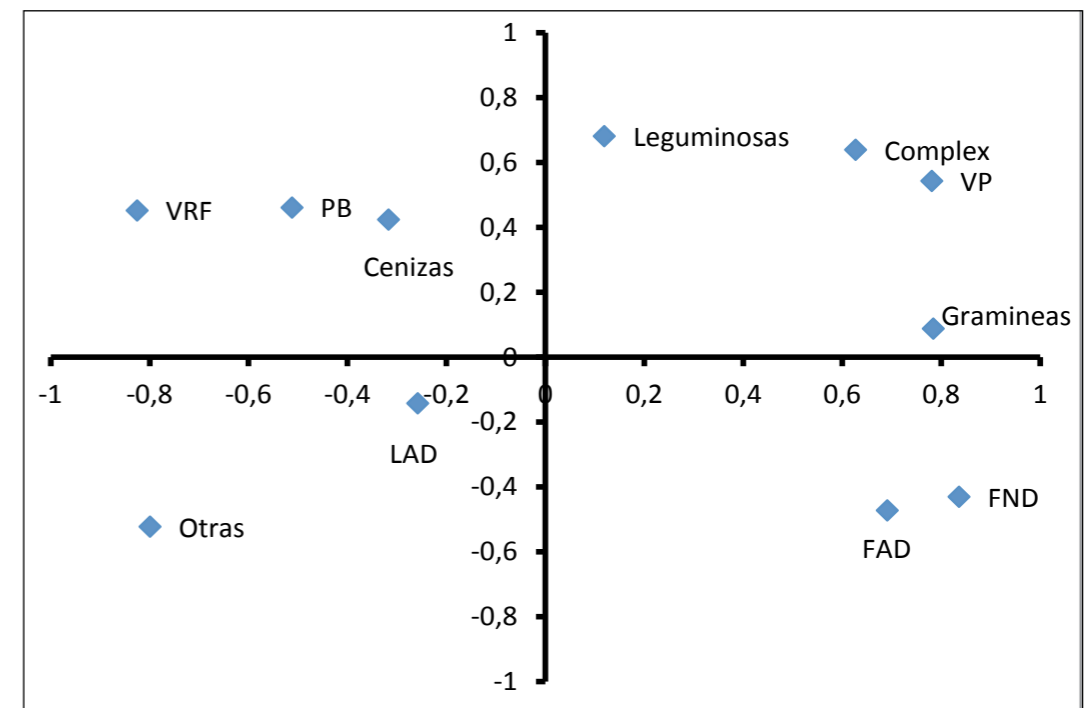


Figura 2. Análisis de componentes principales. La 1ª componente, eje X, explicó el 45% de la varianza. La 2ª componente, eje Y, explicó el 25% de la varianza. VRF=valor relativo del forraje, PB=proteína bruta, VP=valor pastoral, LAD= lignina ácido detergente, FAD=fibra ácido detergente, FND=fibra neutro detergente.

Por lo tanto, y tal como se describe en Reiné *et al.* (2010), la calidad química parece deberse en estos prados más al grupo “otras” que a las leguminosas y desde luego en absoluto a las gramíneas. Precisamente, los métodos de análisis botánicos se idearon porque los análisis químicos implican la siega de “toda” la hierba (lo que se denomina “oferta”), incluyendo especies poco apetecibles, mecánicamente perjudiciales e incluso

tóxicas (casi todas ellas del grupo “otras”) que el ganado rechaza en pastoreo y que pueden ser problemáticas en el establo, dónde el ganado no las puede seleccionar.

Por otro lado, en el ámbito de los prados de montaña, aquellos situados a mayor altitud y con un manejo más extensivo, suelen ser más biodiversos (con más especies del grupo “otras”), de menor talla y por lo tanto con menor rendimiento, todo lo cual se traduce en una calidad analítica química mayor (por ejemplo más proteína y menos fibra) (Vázquez de Aldana *et al.*, 2000; Reiné *et al.*, 2010; Roucus *et al.*, 2011). Esta calidad “química”, no obstante, viene determinada en gran parte por especies no consumibles y por tanto el análisis químico puede falsear la realidad en pastos naturales polífitos y con alta biodiversidad.

CONCLUSIONES

En los prados de siega del Pirineo de Huesca, la calidad forrajera obtenida por análisis químicos no se correlaciona con la obtenida por los procedimientos botánicos. Aquéllos se basan en el análisis de toda la “oferta” y éstos no consideran el “rehuso”. Esto nos lleva a recomendar el uso de los métodos botánicos en pastos polífitos y con alta biodiversidad; y en estos supuestos, ante la alta correlación existente entre los dos métodos de estimación botánica de la calidad ensayados, aconsejamos la utilización del Valor Pastoral frente al Complex por su mayor simplicidad.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se enmarca en el Proyecto PM076/2007 del Gobierno de Aragón.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANKOM TECHNOLOGY CORPORATION (1998) Procedures for fibre and in vitro analysis. En <http://www.ankom.com>.
- ARMENGOL A., FANLO R. Y CHOCARRO C. (1993) Comparación de los métodos “complex” y “valor pastoral” en prados de siega del Pirineo. En: *Actas de la XXXIII Reunión Científica de la SEEP*, pp 107-115. Ciudad Real, España: SEEP.
- CALSAMIGLIA S. (1997) *Nuevas bases para la utilización de la fibra en dietas de rumiantes*. XIII Curso de Especialización de la Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal (FEDNA), Madrid.
- DAGET P. Y POISSONET J. (1972) Un procédé d'estimation de la valeur pastorale des paturages. *Fourrages*, **49**, 31-39.
- PELÁEZ R., ANDRÉS S., VALDÉS C., GARCÍA R. Y CALLEJA A. (2011) Valor alimenticio de especies productivas en prados de montaña. En: López-Carrasco C. *et al.* (Eds) *Pastos, paisajes culturales entre tradición y nuevos paradigmas del siglo XXI*, pp 325-330. Toledo, España: Sociedad Española para el Estudio de los Pastos.
- REINÉ R., CHOCARRO C., JUÁREZ A., BARRANTES O., BROCA A. Y FERRER C. (2009) Características de la producción herbácea en los prados de siega del Pirineo de Huesca. En: Reiné R. *et al.* (Eds) *La multifuncionalidad de los pastos: producción ganadera sostenible y gestión de los ecosistemas*, pp 101-107. Huesca, España: Sociedad Española para el Estudio de los Pastos.

- REINÉ R., CHOCARRO C., JUÁREZ A., BARRANTES O., MAESTRO, M., BROCA A. Y FERRER C. (2010) Riqueza específica de prados pirenaicos y su incidencia en el valor nutritivo. En: Calleja A. *et al.* (Eds) *Pastos: fuente natural de energía*, pp 189-195. Zamora, España: Sociedad Española para el Estudio de los Pastos.
- ROUKOS C., PAPANIKOLAOU K., KARALAZOS A., CHATZIPANAGIOTOU A., MOUNTOUSIS I. Y MYGDALIA A. (2011) Changes in nutritional quality of herbage botanical components on a mountain side grassland in North-West Greece. *Animal Feed Science and Technology*, **169**, 24-34
- SOSTARIC K. Y KOVACEVIC J. (1974) La méthode “Complexe” pour la détermination de la qualité et de la valeur globale des herbages et des prairies temporaires. *Fourrages*, **60**, 3-25.
- VÁZQUEZ DE ALDANA B.R., GARCIA-CIUDAD A., PÉREZ CORONA M.E. Y GARCIA-CRIADO B. (2000) Nutritional quality of semi-arid grassland in western Spain over a 10-year period: changes in chemical composition of grasses, legumes and forbs. *Grass Forage Sci.* **55**, 209-220.
- Van der MAAREL, E. (1979) Transformation of cover-abundance values in phytosociology and its effects on community similarity. *Vegetatio*, **39**(2), 97-114.

Evolución del valor nutritivo del forraje en dehesa de cuatro cultivos tras la cosecha

Evolution of the nutritional value of forage crop conserved as hay after mowing

S. RODRIGO¹ / M.J. POBLACIONES¹ / N. PINHERO² / O. SANTAMARÍA¹ / L. PÉREZ-IZQUIERDO¹ / T. GARCÍA-WHITE¹ / T.B. CUELLO-HORMIGO¹ / L. OLEA¹

¹Dpto. Ingeniería del Medio Agronómico y Forestal. Escuela de Ingenierías Agrarias. U. de Extremadura. Avda. Adolfo Suárez s/n, 06007 Badajoz, España

² Instituto Nacional de Investigação Agrária. INRB/IP-INIA. Elvas, Portugal (mail: saramoro@unex.es)

Resumen: En la dehesa es necesario, especialmente en invierno y verano, completar la alimentación de la ganadería. En este sentido, se utilizan diferentes cultivos forrajeros, que son conservados a finales de primavera, habitualmente como heno. El objetivo del presente trabajo consistió en determinar la evolución del valor nutritivo de pacas de heno de triticale, avena, raigrás y veza-avena a lo largo del tiempo en una dehesa típica del SO de la Península Ibérica durante tres años. Se tomaron muestras en tres momentos: en la siega (finales de mayo), al inicio de julio y al inicio de septiembre (momento en el que habitualmente consumirían el heno los animales, generalmente rumiantes). Sobre estas muestras se llevaron a cabo diferentes análisis de DMO, PB y FND. Los resultados obtenidos mostraron un descenso del porcentaje de proteína en avena, triticale y raigrás entre el momento de siega y la segunda toma de muestras (un mes después), así como un aumento de fibra en todas las especies estudiadas, derivando todo ello en un descenso de la digestibilidad del heno. Esta pérdida de digestibilidad se estabilizó a partir de ese momento, no produciéndose un descenso significativo entre la segunda y la tercera toma de muestras.

Palabras clave: heno, triticale, avena, raigrás, calidad nutritiva.

Abstract: In the dehesa is needed, especially in winter and summer, to complete the livestock feeding. Forage crops such as oats, triticale and vetch-oats, should be preserved in late spring, usually as hay, to serve as food for cattle pasture in summer and winter seasons. It is important to know the evolution of the nutritive value of hay bales over time and that is what was determined in this study (hay bales of triticale, oat, ryegrass and vetch-oat) for three years in a typical dehesa in the SW of the Iberian Peninsula. Samples were taken at the time of mowing (late May), one and two months later (early July and early September). The results show a decrease in the percentage of protein content in oats, vetch, oats and ryegrass hays between the time of mowing and the sampling of the subsequent month, and increased fiber content in all species studied, leading it in a decrease in the digestibility of hay. This loss of digestibility was stabilized, not producing a significant decrease between the first and second after mowing, and therefore this quality will be found by the animals, ruminants generally, when eating the hay.

Key words: hay, triticosecale, oat, rye-grass, quality.

INTRODUCCIÓN

Las fluctuantes condiciones climáticas intra-anales de la dehesa tienen un efecto directo sobre la cantidad de alimento a disposición de los animales y por tanto, sobre la productividad en las explotaciones asentadas en estas áreas (Olea *et al.*, 1989). El problema de la escasez de alimento para los animales durante la época estival limita el desarrollo de la ganadería, y obliga a la suplementación (Sarwatt *et al.*, 1989) y es por ello que se recurre al almacenado del forraje que se produce en primavera, ya sea en forma de heno o ensilado (Cecava, 1995). El ensilado requiere tecnología no habitual en las normalmente poco tecnificadas explotaciones de dehesa, por lo que generalmente se recurre al henificado. No obstante, según Sarwatt *et al.* (1989) en ocasiones el heno cuenta con una calidad demasiado baja que lleva a una pérdida considerable de peso en los animales. Esta calidad puede ser debida a la especie a henificar

(Lithourgidis *et al.*, 2006), al ambiente donde se cultive (suelo y clima) (Dias-da-Silva y Guedes, 1990) y sobre todo al estado de madurez del cultivo en el momento del henificado (Chaves *et al.*, 2006). Además cobra gran importancia el tiempo entre el corte y el empacado (Barr *et al.*, 1995) y el tiempo y condiciones de conservación (Alzueta *et al.*, 1995), en los cuales se produce un descenso de la calidad del forraje debido, entre otros, a la respiración o a la acción microbiana, que redundan en un aumento de la proporción fibrosa y una bajada de la digestibilidad (Chaves *et al.*, 2006). Alzueta *et al.* (1995) apuntaron además que esa variación en la calidad no es igual para leguminosas que para cereales, debido a la diferente proporción de hojas y tallos y la distinta proporción de nutrientes de estas dos fracciones de la planta.

El objetivo del presente trabajo consistió en evaluar los cambios en el valor nutritivo de pacas de heno de diferentes especies a lo largo de aproximadamente tres meses de empacado en tres campañas agrícolas consecutivas. Para ello se analizó la proteína bruta (PB) y la fibra neutro detergente (FND) y se correlacionaron con la digestibilidad de materia orgánica (DMO).

MATERIAL Y MÉTODOS

El ensayo se realizó en una dehesa típica de la provincia de Badajoz, en el término municipal de Jerez de los Caballeros (coordenadas 38° 18' 44,31" N, 6° 53' 8,61" O) a una altitud de 435 m sobre el nivel del mar. El clima de la zona es semiárido mediterráneo con pluviometría media anual de 635 mm y T^a media anual de 15,85 °C (media de los últimos 30 años). Las temperaturas y pluviometría de los años de estudio se muestran en la figura 1. Las características iniciales de suelo fueron: textura franco-arcillo-limosa, suelo ácido (pH=5,46) con niveles altos de fósforo (51,4 ppm), bajos en potasio (27,0 ppm) y materia orgánica media (2,61 %).

El diseño experimental fue en bloques completos al azar con 4 repeticiones. Cada parcela unitaria tuvo 18 m² (3 m de ancho x 6 m de largo). Las especies a estudiar fueron: triticale (cv. Fronteira), avena (cv. Sta. Eulália), raigrás tipo Westerworld (cv. Tetrawest) y un cultivo de asociación veza-avena (cv. Namoi-Haymaker y cv. Sta. Eulália respectivamente). Tras las habituales labores para un cultivo forrajero, se realizó la siega a finales de mayo, empacándose el forraje. De estas pacas se tomaron muestras en tres momentos diferentes: en el momento de realización de la paca (finales de mayo), al inicio de julio y al inicio de septiembre (momento en el que habitualmente consumirían el heno los animales, generalmente rumiantes). Sobre estas muestras se determinaron la proteína bruta (PB) por el método Kjeldahl, y fibra neutro detergente y digestibilidad de materia orgánica (FND y DMO) por métodos oficiales.

El análisis estadístico de los datos consistió en análisis de la varianza (ANOVA) mediante el paquete estadístico STATISTIX 8.0, para determinar el efecto de los diferentes tratamientos estudiados (tipo de forraje, momento de la toma de muestras y año) sobre los distintos parámetros a investigar (PB, FND y DMO). En caso de influencia significativa en el ANOVA, las medias fueron comparadas utilizando el test de Fisher de mínima

diferencia significativa (MDS) a $P \leq 0,05$. Se estudiaron además las correlaciones entre los parámetros y se calcularon los coeficientes de variación de cada análisis.

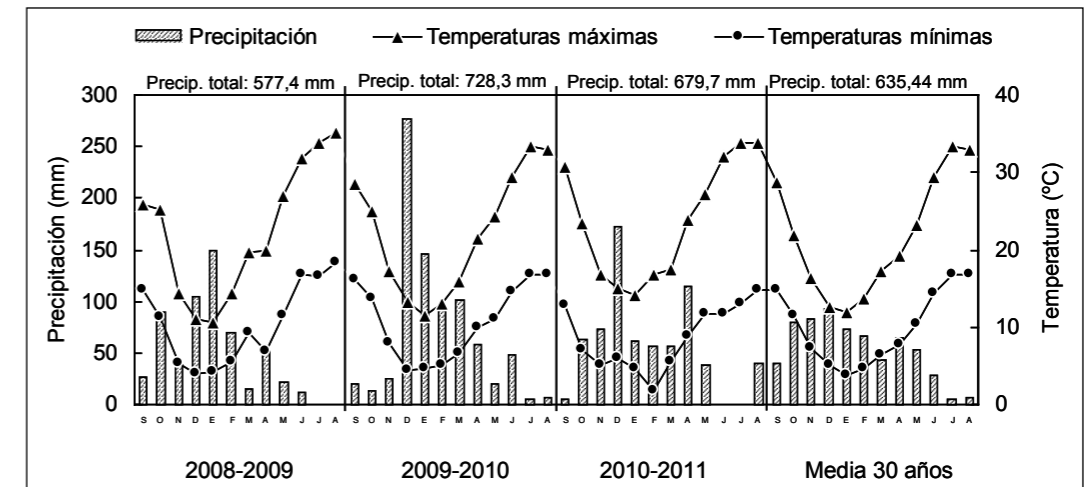


Figura 1. Precipitación y temperatura (media de máximas y mínimas mensuales) de las campañas agrícolas 2008-09, 2009-10 y 2010-2011 y de la media de 30 años en Jerez de los Caballeros.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La triple interacción año x especie x momento de toma de muestra, fue significativa para todos los parámetros de calidad estudiados, lo que indica una dependencia de la calidad por parte no sólo de la especie a henificar, sino también del ambiente y del momento de toma de muestra, como ya indicaran Alzueta *et al.* (1995).

El año de estudio influyó significativamente en la PB de todas las especies (fig. 2), aunque de forma diferente. En la mayor parte de los cultivos el nivel de proteína bruta inicial (justo al realizarse el heno) fue mayor en un año seco (2008-2009) que en los más húmedos (2009-2010 y 2010-2011). Los contenidos proteicos iniciales en el forraje del triticale oscilaron entre el 12% (2008-2009) y el 8% (2009-2010); en el de avena oscilaron entre 9,5% (2008-2009) y 6% (2010-2011); y en raigrás 11% (2008-2009) y 8% (2010-2011). El valor de PB de la veza-avena tuvo mayor valor inicial (14%) el año (2009-2010). Este hecho podría explicarse por la madurez de la biomasa, ya que el año 2008-2009, mucho más seco, propició que la biomasa estuviese más avanzada en el ciclo (menor humedad) en el momento de cosecha que en las subsiguientes campañas, lo que reduciría el proceso de respiración y evitaría un descenso de la proporción de PB frente al aumento de fibra (Cecava, 1995; Chaves *et al.*, 2006). Además, con un correcto secado, se disminuye la degradación enzimática reduciendo así las pérdidas de compuestos nitrogenados (Pelletier *et al.*, 2010).

Del análisis de la figura 2 también llama la atención, y en contra de lo esperado, que el contenido proteico del forraje de veza-avena (es decir el único que incluía una leguminosa) no fue superior ni el año 2008-2009 ni en el 2010-2011 al de forrajes de

gramíneas. Únicamente en el año especialmente húmedo (el 2009-2010) el contenido de proteína inicial del forraje de veza-avena fue superior al resto. Este hecho nos indicaría que la inclusión de una leguminosa en el forraje únicamente mejoraría el contenido proteico de éste en zonas o años con abundante precipitación que permitan a la leguminosa desarrollarse plenamente.

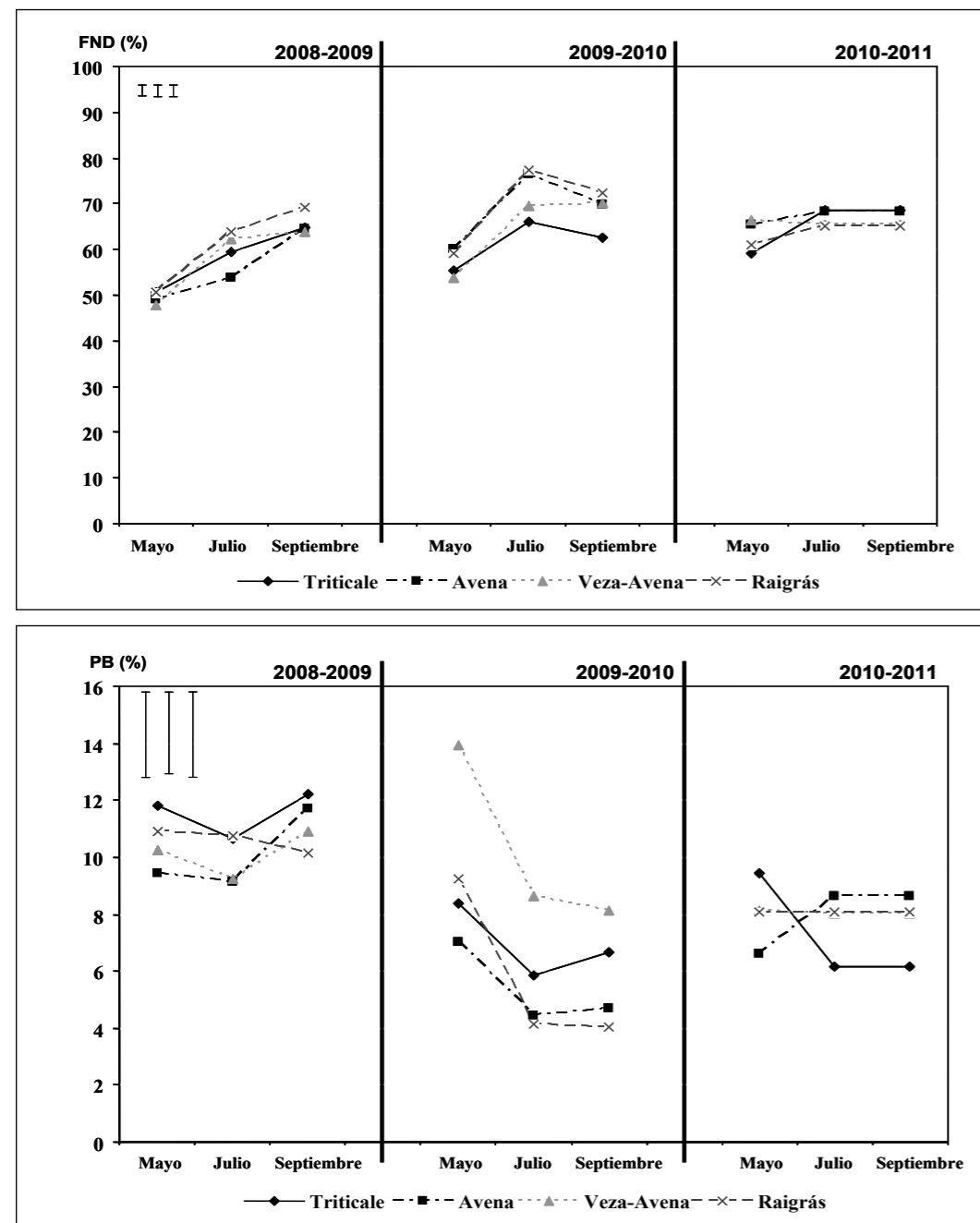


Figura 2. Interacción año x especie x momento de toma de muestra en el contenido en PB (%) (izquierda) y FND (%) (derecha). Las barras verticales mostraron las diferencias significativas primero para el mismo nivel de año y especie, segundo para el mismo nivel de año y tercero para distinto nivel de año.

De manera general, también se observó un descenso claro del contenido proteico según aumentaba el tiempo de conservado entre las dos primeras fechas de análisis. Este descenso en el porcentaje de PB ya fue descrito por Barr *et al.* (1995) que lo situaban próximo a 4,6% y por Poblaciones *et al.* (2005) en avena. No obstante este descenso se produjo principalmente en el primer mes de conservación, pero el contenido ya se estabilizaba a partir de ese momento (fig. 2), incluso aumentaba en algunos casos. La menor degradación enzimática en forrajes con un menor grado de humedad descrita por Pelletier *et al.* (2010) también pudo ser la causa para esta estabilización. Este aspecto lo corrobora el hecho de que precisamente en el año más húmedo, el 2009-2010, los descensos en el contenido proteico entre el momento inicial y los medidos al mes siguiente, fueron los más acusados.

Con respecto a la fibra neutro detergente (FND), los datos iniciales en el momento de realizar la paca fueron significativamente menores el primer año, seguido del segundo y finalmente estadísticamente superiores en 2010-2011 (fig. 2). Los valores de FND oscilaron entre el 55-70%, los cuales pueden ser considerados como normales (Doran *et al.*, 2007). Con respecto a la evolución de la FND según el tiempo de conservado del forraje se pudo observar como de manera general ésta aumentaba con el tiempo entre los dos primeros momentos de análisis, aunque con diferencias por años. El año seco (2008-2009) el aumento fue continuo a lo largo de los meses de conservado para todos los cultivos, teniendo el forraje de raigrás mayores valores en el momento de dárselo a los animales. El año 2009-2010, hubo un aumento importante en el primer mes de conservado, disminuyendo en el segundo mes. En este caso los forrajes de triticale fueron los que menores valores de FND alcanzaron. El hecho de que el triticale sufriera una mayor pérdida de calidad frente a la avena, fue ya referido por Rojas *et al.* (2004). El año 2010-2011, hay un aumento de FND el primer mes pero se estabiliza entre el primero y el segundo.

Teniendo en cuenta que la digestibilidad de la materia orgánica (DMO) correlaciona positivamente con la PB y negativamente con la FND (99,9%) se podría decir que en general se observó un descenso en la DMO de los forrajes henificados en el primer mes de conservación, pero que luego tendía a estabilizarse hasta el segundo mes. Mayor DMO se registró en años secos. Valores de DMO sensiblemente superiores fueron encontrados por Deinum y Maassen (1994) para heno de raigrás, que superaron el 80%, debido probablemente a que estos autores forzaron un secado con aire caliente en los días posteriores a la siega.

CONCLUSIONES

En general en el heno conservado se produjo un descenso de la proteína y un aumento de la fibra, y por tanto un descenso de digestibilidad, entre el momento de empacado y un mes posterior, estabilizándose la calidad en referencia a la siguiente toma de muestras. La inclusión de una leguminosa en el forraje a conservar sólo produjo aumentos de proteína cuando las precipitaciones durante su cultivo resultaban abundantes. La evolución de la calidad depende en gran medida del año de estudio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALZUETA C., REBOLÉ A., BARRO C., TREVIÑO J. Y CABALLERO R. (1995). Changes in nitrogen and carbohydrate fractions associates with the field drying of vetch. *Animal Feed Science and Technology*, **52**, 249-255.
- BARR A.G., SMITH D.M. Y BROWN D.M. (1995). Estimating forage yield and quality changes during field drying for hay. 1. Model of dry-matter and quality losses. *Agricultural and Forest Meteorology*, **76**, 83-105.
- CECAVA M.J. (1995). *Making hay and haylage. Beef Cattle Feeding and Nutrition*. Second Edition. Academic Press, Inc.
- CHAVES A.V., WAGHORN G.C., BROOKES I.M.M. Y WIIDFUEKDM D.R. (2006). Effect of maturation and initial harvest dates on the nutritive characteristics of ryegrass (*Lolium perenne* L.) *Animal Feed Science and Technology*, **127**, 293-318.
- DEINUMM B. Y MAASSEN A. (1994). Effects of drying temperature on chemical composition and in vitro digestibility of forages. *Animal Feed Science and Technology*, **46**, 75-86.
- DIAS-DA-SILVA A.A. Y GUEDES C.V.M. (1990). Variability in the nutritive value of straw cultivar of wheat, rye and triticale and response to urea treatment. *Animal Feed Science and Technology*, **28**, 79-89.
- DORAN M.P., LACA E.A. Y SAINZ R.D. (2007). Total tract and rumen digestibility of mulberry foliage (*Morus alba*), alfalfa hay and oat hay in sheep. *Animal Feed Science and Technology*, **138**, 239-253.
- LITHOURGIDIS A.S., VASILAKOGLU I.B., DHIMA K.V., DORDAS C. Y YIAKOULAKI M.D. (2006). Forage yield and quality of common vetch mixtures with oat and triticale in two seeding ratios. *Field Crops Research*, **99**, 106-113.
- OLEA L., PAREDES J., VERDASCO M.P. (1989). Características productivas de los pastos de la dehesa del S.O. de la Península Ibérica. *II Reunión ibérica de pastos y forrajes. Pastos, forrajes y producción animal en condiciones extensivas*. pp. 147-172. Badajoz-Elvas.
- PELLETIER S., TREMBLAY G.F., BERTRAND A., BÉANGER G., CASTONGUAY. Y MICHAUD R. (2010). Drying procedures affect non-structural carbohydrates and other nutritive value attributes in forage samples. *Animal Feed Science and Technology*, **157**, 139-150.
- POBLACIONES M.J., OLEA L., FERRERA E.M., VIGUERA F.J. Y GIL J.L. (2005). Influencia de la fecha y del método de conservación en la baja calidad de los forrajes conservados en la dehesa de Extremadura. *Producciones agroganaderas: Gestión eficiente y conservación del medio natural (Vol. II)*. pp. 609-616. *XLV Reunión científica de la Sociedad Española para el Estudio de los Pastos*.
- ROJAS C., CATRILEO A., MANRÍQUEZ M. Y CALABÍ F. (2004). Evaluación de la época de corte de triticale (*x Triticosecale* Wittmack) para ensilaje. *Agricultura Técnica*, **64**, 34-40.
- SARWATT S.V., MUSSA M.A. Y KATEGILE J.A. (1989). The nutritive value of ensiled forages cut at three stages of growth. *Animal Feed Science and Technology*, **22**, 237-245.

Influencia de la fertilización con magnesio, calcio, azufre y potasio junto a fósforo, sobre la producción, composición botánica y calidad de pasto de dehesa

Influence of fertilization with magnesium, calcium, sulfur and potassium plus phosphorus on pasture production, botanical composition and quality of the dehesa

F.J. SÁNCHEZ-LLERENA / S. RODRIGO / M.J. POBLACIONES / O. SANTAMARÍA / T. GARCÍA-WHITE / L. OLEA

Dpto. de Ingeniería del Medio Agronómico y Forestal. Escuela de Ingenierías Agrarias (U. de Extremadura). Avda. Adolfo Suárez s/n, 06007 Badajoz, España. FSANCHEZT@alumnos.unex.es

Resumen: La dehesa, principal ecosistema del SO de España, está marcada por dos características: el clima semiárido Mediterráneo y baja fertilidad edáfica. Estas condiciones hacen poco viable el cultivo continuado y reducen sensiblemente la cantidad de biomasa procedente de pasto herbáceo en determinadas épocas del año. Como la mejora y el aumento de estas producciones resulta de gran importancia, en este trabajo se evaluó el efecto sobre éstas de distintos fertilizantes alternativos al habitual superfosfato de cal, en cuya formulación aparecen, además del fósforo, elementos como magnesio, calcio, potasio o azufre en distinta proporción. El ensayo se llevó a cabo sobre pastos herbáceos en una dehesa extremeña en la que se realizaron dos aprovechamientos por campaña, uno a principio y otro a final de primavera. En cada aprovechamiento, se determinó la biomasa herbácea (M.S.), su calidad nutritiva y su composición botánica. Dichos parámetros, analizados del año 2010-2011, tras dos años de fertilización otoñal, indicaron que el segundo aprovechamiento fue más productivo que el primero, aunque de peor calidad. En los tratamientos en los que se aportaban más magnesio y potasio aumentó la producción. La fertilización no influyó en la calidad del pasto ni en el porcentaje de leguminosas, aunque sí en el aumento de gramíneas.

Palabras clave: pastos extensivos, silvopastoral, macroelementos, microelementos, biomasa.

Abstract: The dehesa, the main ecosystem in SW of the Iberian Peninsula, is marked by two fundamental characteristics: the Mediterranean climate and the low soil fertility, which seasonally reduce the amount of pasture for animal feeding. This study has evaluated the effect of different fertilizers that include, in addition to phosphorus, other elements such as magnesium, calcium, potassium and sulfur in different proportions. The trial was carried out on a dehesa in Extremadura. Pasture production, composition, GP and FND were evaluated considering two grazing times per season; early and late spring. After two years of fertilization, the results showed that late spring grazing was more productive although pasture had lower quality. The fertilizer treatments that include a higher amount of magnesium and potassium have increased pasture production. Likewise, there was no influence of these treatments on pasture quality or percentage of legumes, but some of them have increased the grasses.

Key words: extensive pastures, silvopastoral, macroelements, microelement, biomass.

INTRODUCCIÓN

La dehesa es un ecosistema agrosilvopastoral complejo de origen antrópico, con un ambiente marcado por dos características fundamentales: el clima semiárido mediterráneo (veranos calurosos y secos e inviernos un tanto fríos y lluviosos) y la baja fertilidad del suelo (Olea y San Miguel, 2006). Las variaciones de temperaturas

y pluviometría a lo largo del año, son factores climáticos condicionantes de las producciones de la dehesa que, según Olea *et al.* (1989) provocan épocas de escasez de alimentos que exigen suplementación en las explotaciones ganaderas.

Los pastos naturales tienen en general una baja calidad, lo que condiciona la producción animal y el sistema de manejo (Olea *et al.*, 1989) y es común recurrir a la fertilización para conseguir mayor producción y calidad en los pastos. Las características de los suelos de dehesa hacen que sea recomendable la fertilización fosfórica en la mayoría de los casos, la fertilización potásica en determinadas ocasiones y también la utilización de leguminosas simbióticamente activas para elevar el contenido de nitrógeno en el suelo de manera natural (Olea *et al.*, 1989). Bellows *et al.* (2001) establecieron que el fósforo resultaba indispensable para el correcto establecimiento de las leguminosas, ya que este elemento es necesario para una correcta fijación del nitrógeno atmosférico.

Según autores como Olea *et al.* (2005), cabe la posibilidad de sustituir parcialmente, en suelos ácidos, los ampliamente utilizados superfosfatos de cal por fertilizantes fosforados menos solubles, especialmente escorias Thomas y fosfatos naturales, con el objeto de una mayor persistencia en el suelo. Además, Jiménez Mozo y Martínez (1982) indicaron que las respuestas a la fertilización fosfórica son mayores en presencia de fertilizantes potásicos. Por otra parte, en zonas de pastos herbáceos sobre suelos ácidos, cobran especial importancia elementos como el calcio y el magnesio (Quinlivan, 1981), ya que el calcio contribuye de manera determinante a una mayor disponibilidad de otros nutrientes como el fósforo y tiene influencia positiva sobre la persistencia de leguminosas anuales. En cuanto al magnesio, se conoce desde hace tiempo el importante papel que juega sobre la formación de la clorofila y la fotosíntesis (Cakmak y Yazici, 2010). Referente al azufre, según Díaz Zorita (2001), en ausencia de limitaciones de fósforo, la fertilización combinada de nitrógeno y azufre mejora la producción de pastos, induciendo una mayor proliferación de nódulos rizobiales.

El objetivo del presente trabajo consistió en evaluar el efecto de distintos fertilizantes alternativos al superfosfato de cal, y en cuya composición incluían fósforo, magnesio, calcio, potasio o azufre en distinta proporción, sobre la producción de biomasa, la calidad bromatológica (caracterizada por proteína bruta y fibra neutro detergente), la composición botánica y la cobertura vegetal sobre pastos herbáceos en una dehesa extremeña.

MATERIAL Y MÉTODOS

El ensayo se realizó en una dehesa situada en el término municipal de Badajoz (huso 29, coordenadas UTM: x = 686 864,9 m, y = 4 293 811,6 m, European Datum 50), dedicada a la producción extensiva ovina que aprovechaba a diente el pasto natural. El clima es semiárido mediterráneo con pluviometría media anual de 449 mm y T^a media anual de 16,4 °C (media de los últimos 30 años). Durante el año de estudio (2010-

2011), la T^a media (16,2°C) fue similar a la media anual de la zona; la precipitación total, con 589 mm fue sensiblemente superior a la media, siendo diciembre el mes más lluvioso, con 120 mm; entre invierno y principios de primavera se registró más del 70% de la precipitación anual. Las características iniciales del suelo fueron: textura francoarenosa, suelo básico (pH=7,9) los contenidos de fósforo y materia orgánica bajos (5,1 ppm y 1,0 % respectivamente) y los de calcio y magnesio total de 20,3 y 1,68 meq/100g de suelo respectivamente.

Se evaluaron cinco tratamientos fertilizantes: i) testigo sin fertilización (tratamiento 'B'); ii) 250 kg ha⁻¹ de superfosfato de cal al 18% (29% CaO, 27% SO₃, 18% P₂O₅), como testigo de la fertilización (tratamiento 'S') iii) 175 kg ha⁻¹ de escorias Thomas (12% CaO, 12% P₂O₅, 18% K₂O, 4% MgO, 3% S; Thomaskali, K+S KALI GMBH, Alemania) (Tratamiento 'T'); iv) 80 kg ha⁻¹ de Kieserita (50% SO₃, 25% MgO; K+S KALI GMBH, Alemania) más 100 kg ha⁻¹ de Thomaskali (tratamiento 'K₁'); y v) 125 kg ha⁻¹ de Kieserita más 100 kg ha⁻¹ de Thomaskali (tratamiento 'K₂'). Los tratamientos se distribuyeron al azar en cuatro bloques completos. La superficie de las parcelas unitarias fue de 500 m² (50 m x 10 m). Los fertilizantes se aplicaron a voleo, en cobertera y después de las primeras lluvias otoñales en las campañas 2009-2010 y 2010-2011. En el área experimental se realizó un pastoreo continuo diferido, muestreando la producción herbácea dos veces por campaña en el mismo sitio, al principio de la primavera (marzo) y a finales de ella (mayo) usando dos jaulas de exclusión de 1 m² de superficie por parcela unitaria. Sobre las muestras de biomasa recogida (tomando una submuestra de cada parcela) se determinó la materia seca (MS) (hasta peso constante a 72 °C), la proteína bruta (PB) por el método Kjeldahl y la fibra neutro detergente (FND) por el método AOCs Ba 6a-05 (2005). Además se determinó la composición botánica y el porcentaje cobertura vegetal del pasto mediante método visual por dos o más personas, separando en porcentajes la cantidad de plantas de los tres grupos; gramíneas, leguminosas y otras familias.

Los datos se analizaron mediante ANOVA considerando como factor el tratamiento fertilizante, el momento de corte y la interacción. En caso de significación, se aplicó el test de recorrido interno de Fisher (P ≤ 0,05). Los análisis se han realizado con el programa STATISTIX 8.0.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tanto el tratamiento fertilizante como el momento de aprovechamiento tuvieron una influencia significativa sobre la producción, aunque no así la interacción entre ambos. Como cabía esperar, la biomasa acumulada al final de la primavera (muestreo de mayo) fue significativamente superior a la del inicio de la primavera (muestreo de marzo) (1533 kg MS ha⁻¹ frente a 376 kg MS ha⁻¹). No se observaron diferencias significativas entre los tratamientos K₁, K₂ y T (fig. 1), en cambio sí hubo diferencias entre los tratamientos K₁ y K₂ y el testigo fertilizado con Superfosfato (S), mientras que el tratamiento K₂ también fue significativamente superior al testigo sin fertilizar B.

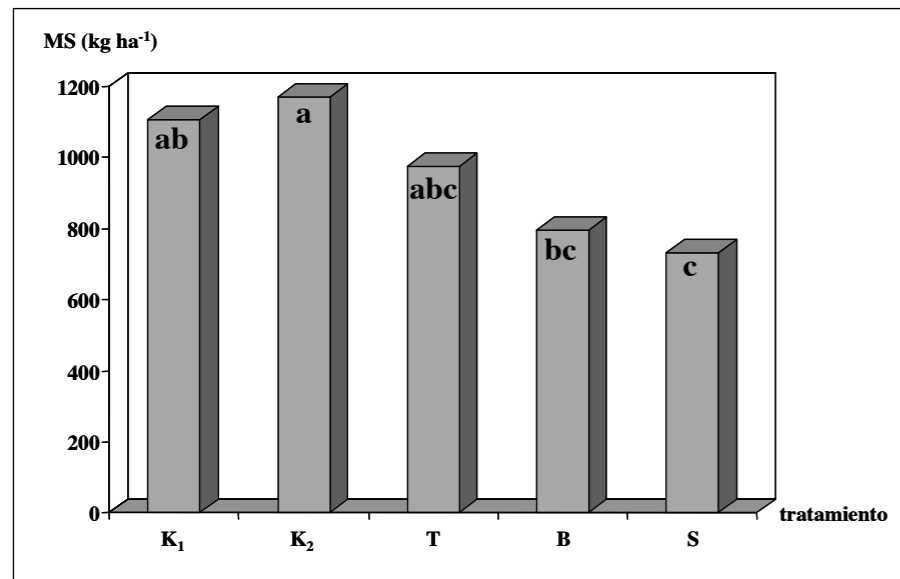


Figura 1. Producciones medias de pasto del segundo corte (M.S. kg ha⁻¹) por tratamiento fertilizante. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos para P≤0,05.

Las diferencias de los tratamientos K₁ y K₂ con el testigo S pueden atribuirse al ratio calcio/magnesio en el suelo. En estudios de fertilización magnésica, Balocchi *et al.* (2001) observaron que dicha fertilización afectaba negativamente a los contenidos de calcio en el forraje. Esto induce a pensar que la absorción de estos cationes por parte de la planta es selectiva en función de la concentración de los mismos en el suelo. Dado que el suelo de la parcela en la que se emplazaba el ensayo presentaba niveles de calcio asimilable muy altos y niveles de magnesio asimilable normales, se produciría una relación calcio/magnesio superior a los valores ideales de 6-7 establecidos por Gambaudo (2007). La adición de superfosfato de cal al 18% aumentaría el ratio calcio/magnesio, induciendo un desequilibrio aún mayor entre ambos cationes, reduciendo la absorción de magnesio que es fundamental para una adecuada actividad fotosintética en la planta y afectando así al rendimiento final. En cambio, la aplicación de un fertilizante como la Kieserita, con un 25% de MgO en combinación con escorias Thomas como fuente fosfórica, contribuiría a ajustar la relación calcio/magnesio, reduciendo el antagonismo entre ambos cationes. Es interesante recalcar que en el primer aprovechamiento, a pesar de no haber diferencias significativas entre tratamientos, la producción registrada para el tratamiento K₁, con 468,2 kg ha⁻¹ fue un 20 % superior a la media.

El momento de la primavera y el tratamiento fertilizante no influyeron significativamente sobre la cobertura vegetal. No obstante, todos los tratamientos superaron el umbral del 75% de cobertura establecido por Olea *et al.* (2005), por debajo del cual se considera que existe riesgo de erosión. Sí que existió influencia significativa del tratamiento sobre el porcentaje de gramíneas y sobre el porcentaje de otras familias. No se observaron, sin embargo, diferencias significativas en la composición entre las fechas

de aprovechamiento consideradas, indicando que ésta no varió de forma significativa durante el año agrícola. Los tratamientos T y K₂ presentaron los porcentajes más altos de gramíneas (tabla 1). Los contenidos en leguminosas encontrados fueron más bajos del ideal establecido por Olea *et al.* (2005) quienes consideran aconsejable una presencia en torno al 33%.

Tabla 1. Medias de porcentajes de niveles de cobertura vegetal, gramíneas, leguminosas y otras familias del pasto herbáceo según tratamiento fertilizante y fecha de aprovechamiento (Aprov. 1 inicio de primavera y Aprov. 2 final de primavera). Letras minúsculas indican diferencias significativas entre tratamientos y mayúsculas entre medias para P≤0,05.

Fecha	Tratamiento	Cobertura (%)	Leguminosas (%)	Gramíneas (%)	Otras (%)	PB (%)	FND (%)
A. 1	K ₁	96,25	4,38	46,87	48,75	12,50	47,74
	K ₂	88,75	1,25	61,88	36,88	13,00	46,51
	T	87,50	0,00	73,13	26,88	12,50	48,28
	B	88,13	4,38	35,00	60,63	11,75	45,96
	S	83,13	3,75	55,63	40,63	12,00	45,32
Media A.1		88,75	2,75	54,50	42,75	12,35A	46,76B
A. 2	K ₁	90,00	8,75	47,50	43,75	6,40	63,61
	K ₂	97,50	5,00	75,63	19,38	6,64	66,68
	T	93,13	3,75	80,00	16,25	6,82	67,74
	B	84,38	2,50	48,75	48,75	6,38	64,19
	S	85,63	8,75	50,63	40,63	6,87	62,25
Media A.2		90,13	5,75	60,50	33,75	6,62B	64,89A
Media	K ₁	93,13	6,56	47,19c	46,25ab	9,45	55,67
	K ₂	93,13	3,13	68,75ab	28,13bc	9,82	56,59
	T	90,31	1,88	76,56a	21,56c	9,66	58,01
	B	86,25	3,44	41,88c	54,69a	9,07	55,08
	S	84,34	6,25	53,13bc	40,63abc	9,43	53,79
Media total		89,44	4,25	57,50	38,25	9,49	55,83

No se observó un efecto significativo del tratamiento fertilizante sobre la PB ni sobre la FND; Santamaría *et al.* (2009) recalcaron la importancia de considerar un elevado número de años para observar la influencia del fertilizante sobre la producción y la calidad. La fecha de aprovechamiento sí que afectó significativamente a la PB y a la FND, disminuyendo con el tiempo la PB y aumentando la FND (tabla 1), lo cual está en línea con lo constatado por Santamaría *et al.* (2009). Los niveles medios de proteína en los pastos fertilizados con los distintos productos se encuadraron dentro de los valores descritos por Olea *et al.* (1989), quienes fijan valores medios anuales para pastos de dehesa entre el 9 y 12%.

CONCLUSIONES

El momento del aprovechamiento influye en la producción y calidad del pasto, disminuyendo el rendimiento en MS y el porcentaje en fibras y aumentando el contenido en proteína cuando más temprano se realiza. La fertilización con magnesio y potasio en las dosis mayores aumentaron la producción. No se observó un efecto de los tratamientos de fertilización en la calidad del pasto ni en el porcentaje de leguminosas, aunque sí sobre el porcentaje de gramíneas y de otras familias. Podría concluirse que, a falta de más años de estudio, los tratamientos T y K₂ parecen ser los mejores.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMERICAN OIL CHEMISTS'SOCIETY (AOCS) (2005) Ba 6a-05.
- BALOCCHI O., PINOCHET D., WITTEWER F., CONTRERAS P., ECHEVERRÍA R.Y GUZMÁN F. (2001) Rendimiento y composición mineral del forraje de una pradera permanente fertilizada con magnesio. *Pesq. agropec. bras., Brasília*, **36**(10), 1309-1317.
- BELLOWS A. (2001) Nutrient cycling in pastures. National Centre for Appropriate Technology, USDA.
- CAKMAK I. Y YAZICI A. (2010) Magnesium: A forgotten element in crop production. *Better Crops*, **94**, 23-25.
- DÍAZ ZORITA M. (2001) Resumen de estudios de fertilización con azufre en el Oeste Bonaerense. *Publicación Técnica 36*, República Argentina: INTA.
- GAMBAUDO S. (2007) Acidez edáfica: revisión. Información técnica de cultivos. Argentina: INTA.
- JIMÉNEZ MOZO J. Y MARTÍNEZ T. (1982) Fertilización de pastos II: Necesidades nutritivas referentes a macroelementos en pastos de secano de la región extremeña. Curso sobre pastos y Ganadería Extensiva en Extremadura. Badajoz: Publicaciones SEA, Universidad de Extremadura.
- OLEA L., PAREDES J. Y VERDASCO M.P. (1989) Características productivas de los pastos de la dehesa del S.O. de la Península Ibérica. II Reunión ibérica de pastos y forrajes. *Pastos, forrajes y producción animal en condiciones extensivas*. pp. 147-172. Badajoz-Elvas: SEEP.
- OLEA L., LÓPEZ-BELLIDO R.J. Y POBLACIONES M.J. (2005) Europe types of silvopastoral systems in the Mediterranean area: Dehesa. In: Mosquera M.R. *et al.* (eds) *Silvopastoralism and sustainable land management*, , pp. 30-35. Wallingford, Oxfordshire, UK: CABI Publishing.
- OLEA L. Y SAN MIGUEL A. (2006) The Spanish dehesa. A traditional Mediterranean silvopastoral system linking production and nature conservation. *Sustainable Grassland Productivity, Grassland Science in Europe*, **11**, 3-13.
- POBLACIONES M.J. (2003) Efecto de la aplicación de yeso y fósforo sobre la mejora de pastos en aéreas de Rañas y Rañizos de la Siberia Extremeña. Trabajo fin de carrera. Escuela de Ingenierías Agrarias. Badajoz.
- QUINLIVAN B.J. (1981) Mesa redonda sobre trébol subterráneo. *Hoja Técnica 1/81* del INIA.
- SANTAMARÍA O., POBLACIONES M.J., OLEA L., RODRIGO S., VIGUERA F.J. Y GARCÍA-WHITE T. (2009) Influencia de nuevos fertilizantes sobre la producción de biomasa y los parámetros de calidad en pastos de dehesa del S.O. de España. En: *La multifuncionalidad de los pastos: producción ganadera sostenible y gestión de los ecosistemas*. pp: 581-587. Huesca, España: SEEP.

Efecto del régimen hídrico y del número de cortes en la producción de biomasa y la eficiencia en el uso de agua en un cultivo de zulla (*Hedysarum coronarium* L.) en condiciones mediterráneas

Efect of water regime and number of cuttings on biomass production and water use efficiency in a sulla (*Hedysarum coronarium* L.) crop under mediterranean conditions

J. CIFRE / V. GARÍ / J. JAUME / J. GULÍAS

Grupo de Investigación en Biología de las Plantas en Condiciones Mediterráneas UIB. Carretera de Valldemossa, km. 7,5 07122 Palma de Mallorca. pep.cifre@uib.es

Resumen: La producción de rumiantes de alta producción está utilizando actualmente una gran cantidad de insumos externos. Este hecho provoca una fuerte dependencia exterior de las explotaciones y puede tener importantes implicaciones económicas y medioambientales. El objetivo del presente trabajo fue estudiar la producción de biomasa y la eficiencia en el uso de agua en un cultivo de zulla bajo diferentes dosis de riego y evaluar la influencia del número de cortes sobre estos parámetros. Los principales resultados muestran cómo la máxima producción de biomasa se obtuvo con las dosis de riego del 100 y el 50% de las necesidades. Además, durante el primer ciclo, con un único corte en abril se obtuvo similar producción de biomasa que con tres cortes. Igual resultado se obtuvo en segundo ciclo con un único corte en noviembre. La eficiencia en el uso del agua fue mayor cuanto menor fue la dosis de riego, durante el primer ciclo de cultivo. Durante el segundo ciclo de cultivo, los cortes de septiembre y noviembre obtuvieron una máxima producción de biomasa con la dosis de riego del 100%, siendo mucho menores los valores con el resto de dosis.

Palabras clave: zulla, dosis de riego, déficit hídrico, producción, manejo.

Abstract: During the last decades, ruminant production is increasing the use of outer inputs in the farms, especially for food supply. As a consequence, the farms have many problems both in economic aspects and in environmental requirements. The aim of the present work was to study the biomass production and water use efficiency in a sulla crop under different water regimes (0, 30, 50 and 100% of the needs) and to evaluate the influence of the number of cuttings on these parameters. The main results show how the maximum biomass production was obtained with 100% and 50% irrigation dosage. Moreover, during the first growing period, biomass production with a simple cut in April was similar to the one obtained with three cuttings. Similarly, during the second period, the maximum biomass was obtained with a simple cut in November and 100% water regime. On the other hand, maximum water use efficiency was found with 30 and 50% irrigation dosages, during the first growing period. During the second growing period of the crop, September and November cuttings were very important only with 100% dosage, being much lowers the yield with the other water regimes.

Key words: sulla, irrigation dosage, water stress, production, management.

INTRODUCCIÓN

La ganadería en el área mediterránea presenta una problemática destacable, tanto desde un punto de vista medioambiental como económico. Por ello, la producción de alimento para el ganado precisa del estudio de estrategias que, bajo el efecto de condiciones meteorológicas limitantes, como las bajas pluviometrías y las sequías estivales, optimicen la producción de forraje y su calidad a bajo coste (Durá, 2002; Pons *et al.*, 2008). En ese sentido son especialmente interesantes los cultivos de

leguminosas plurianuales, dado el ahorro que suponen en el coste de implantación y la oferta de proteína de alto valor biológico que añaden a la dieta.

En las Islas Baleares la superficie forrajera constituye el 33% de la superficie agrícola útil (Descó y Mas, 2011). Sin embargo, entre estos cultivos predominan los cereales, y cultivos de leguminosas como la zulla tan sólo abarcan el 0,17% de la superficie forrajera total, si bien con una distribución irregular entre islas. El cultivo de la zulla se encuentra localizado en el sur de Mallorca y sobre todo en la isla de Menorca, ligado mayoritariamente a las explotaciones de vacuno lechero. En esta última isla fue introducida en el siglo XVIII por los ingleses según Olives (1969). En estos momentos los estudios sobre la economía de estos cultivos, su manejo y optimización no son abundantes en las islas, si bien cabe destacar el citado estudio de Olives (1969), los trabajos en el Centre de Capacitació i Experiències Agràries de Menorca, así como los trabajos de Estelrich (2001) en Mallorca.

Por todo ello el objetivo del presente trabajo fue estudiar la influencia de la dosis de riego y el número de cortes sobre la producción de biomasa y la eficiencia en el uso del agua en el cultivo de la zulla en una explotación comercial de la isla de Mallorca.

MATERIAL Y MÉTODOS

La parcela donde se desarrolló el estudio se encuentra en el sur de la isla de Mallorca, en el término municipal de Ses Salines. El estudio se realizó sobre una superficie de 500 m², dividiéndose en 4 tratamientos de riego y 6 tratamientos de frecuencia de corte. Se realizaron 4 repeticiones por tratamiento.

Antes de la siembra toda la parcela se labró adecuadamente y se aplicó un abonado de cobertera a base de superfosfato triple (45%) a razón de 250 kg/ha. El análisis de suelo inicial mostró cómo éste tenía un pH de 7,66, no era salino y todos los parámetros de fertilidad fueron normales salvo el potasio que se encontraba en exceso. La siembra se realizó a principios de octubre del año anterior, con la variedad Carmen, con semilla previamente inoculada, y con una dosis de 22 kg/ha (Bustamante *et al.*, 1998 y 1999). Después de la siembra se pasó un rulo para nivelar y compactar el terreno. En el segundo ciclo de cultivo no se realizó resiembra ni aporte de abonado extra.

Se instaló un sistema de riego por microaspersión para aplicar los diferentes tratamientos de riego, calculándose las necesidades hídricas del cultivo a partir de Montalvo (2003). Se aplicaron las dosis de 100% de las necesidades, 50%, 30% y 0%. Los tratamientos realizados respecto al número de cortes fueron: GMA (cortes en enero, marzo y abril), MA (cortes en marzo y abril), A (corte sólo en abril), para el primer ciclo de cultivo; JSN (cortes en junio, septiembre y noviembre), SN (cortes en septiembre y noviembre) y N (corte sólo en noviembre), para el segundo ciclo de cultivo. Cabe señalar aquí que todas las parcelas fueron segadas en abril para iniciar el segundo ciclo de cultivo.

Se determinó la biomasa producida en cada parcela en función de la dosis de riego y el número de cortes, posteriormente se secaron las muestras en estufa hasta

peso constante. Para ello se realizaron siegas en los momentos citados en cuadrados de 0,25 m² a una altura de 3 cm. Se determinó también la eficiencia en el uso del agua por estimación a través del cociente entre la biomasa seca producida y el agua aportada (pluviometría y riego), dado que en condiciones de campo no es posible obtenerla de un modo más preciso (Medrano *et al.*, 2007).

El análisis estadístico de los datos se realizó mediante el paquete estadístico SPSS 16.0 para Windows. Las diferencias entre las medias fueron evaluadas mediante el test de Duncan con una p del 5%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la figura 1 se presenta la evolución mensual de la precipitación durante el experimento, así como su valor en una serie histórica de los últimos 25 años. Se observa una irregularidad importante en la distribución de la precipitación, existiendo un máximo en otoño y principios de invierno, así como la ausencia total durante los meses centrales del verano. En primavera la precipitación se muestra irregular y escasa tal y como ocurre en la región mediterránea (Paredes *et al.*, 2006).

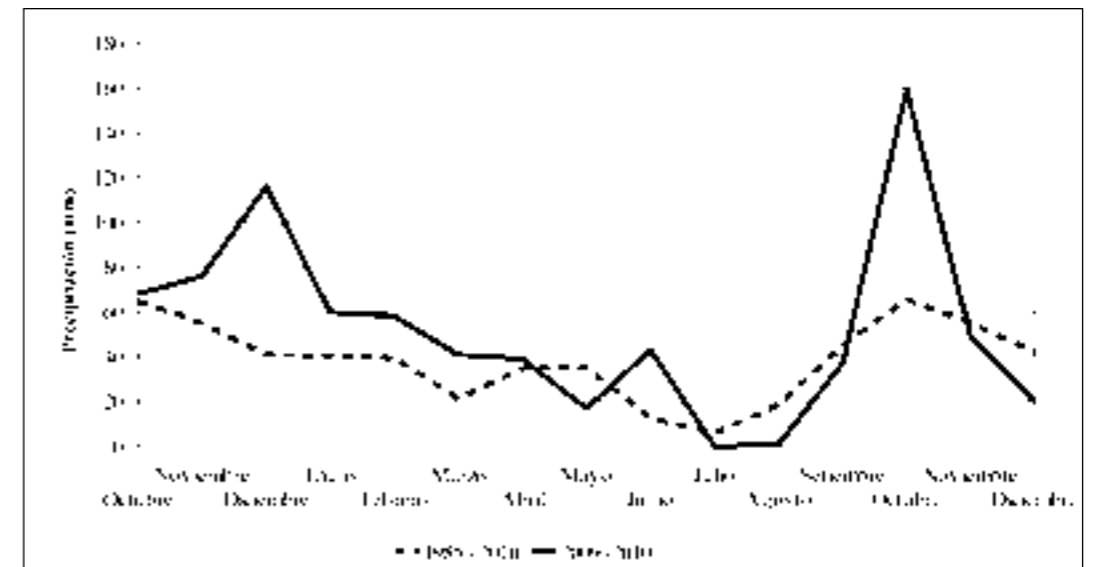


Figura 1. Evolución de la precipitación mensual histórica (1985-2010) y a lo largo del experimento.

La figura 2 muestra la biomasa obtenida a lo largo del primer ciclo de cultivo en función de la dosis de riego y el número de cortes practicados. Como se puede observar, los valores de biomasa obtenidos son importantes, llegando a valores cercanos a 16 000 kg de MS/ha, en consonancia con los obtenidos por otros autores en condiciones semejantes (Estelrich, 2001). Además, se observa como la biomasa obtenida aumenta con la dosis de riego, si bien los valores obtenidos para las dosis de 100% y 50%, no son

distintos significativamente. Este hecho puede ser debido a que los métodos de cálculo sobrestimen las necesidades o bien a que la zulla use el agua disponible en el suelo al iniciar el experimento. Con todo, este resultado resulta de mucho interés ya que pone de manifiesto la posibilidad de un gran ahorro económico y de agua en el cultivo de la zulla. Por último, se observa también la fuerte interacción entre la dosis de riego y el número de cortes, ya que para las dosis de riego de 0 y 30%, la biomasa producida aumenta con el número de cortes, mientras que para las dosis de 50 y 100%, un solo corte en abril maximiza los resultados. Este último resultado es también muy importante puesto que Bustamante *et al.* (2000a) recomiendan realizar un solo corte durante el primer año para maximizar el éxito en la supervivencia de la plantación, así como no realizar aprovechamientos en épocas de frío ya que reducen el rebrote.

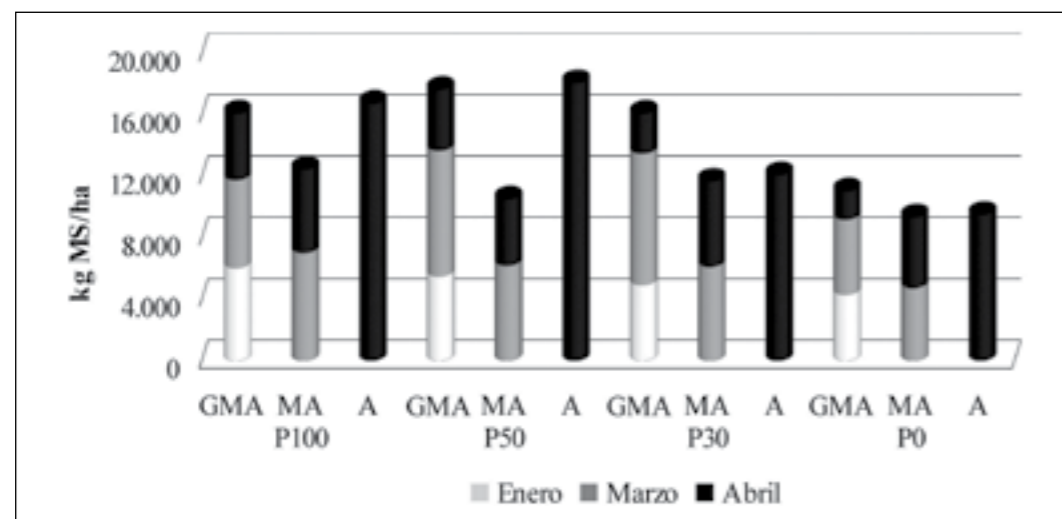


Figura 2. Influencia de la dosis de riego y el número de cortes sobre la producción de biomasa de un cultivo de zulla durante el primer ciclo de cultivo. Dosis de riego: P100 (100% de las necesidades), P50 (50%), P30 (30%), P0 (control). Número de cortes: A (un solo corte en abril), MA (cortes en marzo y abril), GMA (cortes en enero, marzo y abril).

En la figura 3 se presentan los resultados relativos al segundo ciclo de cultivo. Como se puede observar, y a diferencia del primer ciclo, las mayores producciones se obtienen con la máxima dosis de riego (100% de las necesidades). Los valores de producción obtenidos concuerdan con los autores consultados, y alcanzan los 9000 kg de materia seca por hectárea con la dosis máxima de riego y un solo corte en noviembre (Bustamante *et al.*, 2000c). En este segundo ciclo de cultivo también se observa cómo un solo corte realizado en noviembre maximiza la producción para todas las dosis de riego, a excepción de la dosis del 50%, donde no existe influencia del número de cortes sobre la biomasa obtenida. Este resultado difiere del obtenido para el primer ciclo. Se concluye por tanto que para el cultivo de segundo ciclo no es

necesario realizar resiembra ni abonado extra, si se cuidan al máximo las prácticas culturales durante el primer ciclo, tal y como ya apuntan algunos autores en el pasado (Bustamante *et al.*, 2000b).

En relación a estos resultados, en un ensayo realizado en Cádiz en suelo calcáreo, donde se sometió el cultivo de zulla a 4 frecuencias de siega desde mediados de invierno hasta finales de primavera, también se observó cómo las siegas frecuentes (mensuales) provocaron una degeneración del cultivo a partir del segundo corte, mientras que la siega cada dos meses obtuvo mayores rendimientos, de alrededor de 9000 kg de materia seca por hectárea (González de Tanago *et al.*, 1980).

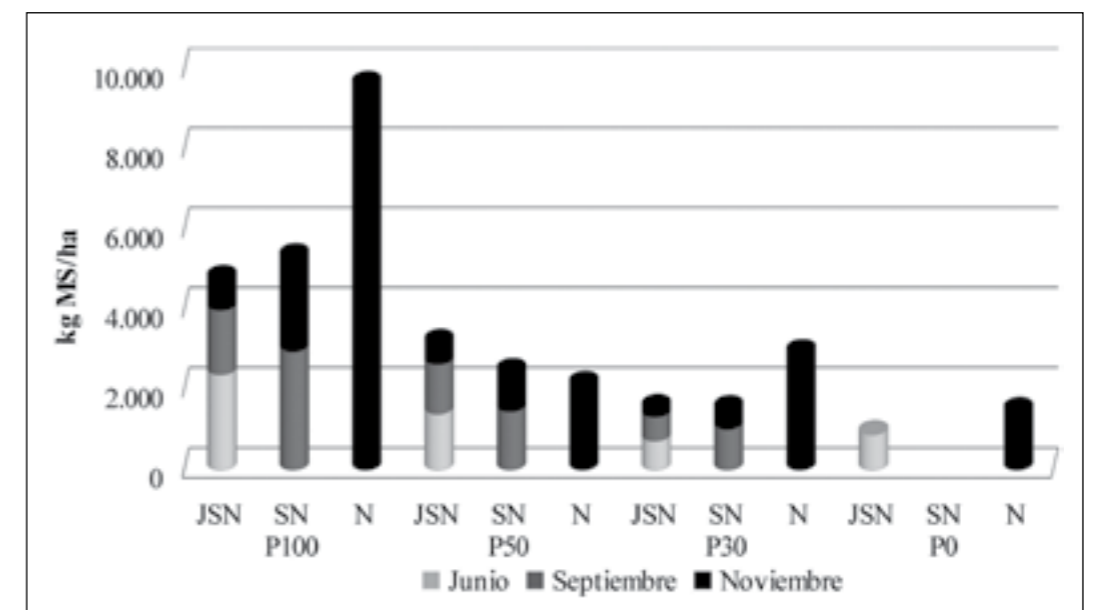


Figura 3. Influencia de la dosis de riego y el número de cortes sobre la producción de biomasa de un cultivo de zulla durante el rebrote de segundo ciclo. Dosis de riego: P100 (100% de las necesidades), P50 (50%), P30 (30%), P0 (control). Número de cortes: N (un solo corte en noviembre), SN (cortes en septiembre y noviembre), JSN (cortes en junio, septiembre y noviembre).

En la figura 4 se presentan los resultados relativos a la influencia del número de cortes y la dosis de riego sobre la eficiencia en el uso del agua para el cultivo de zulla durante el primer ciclo. Esta eficiencia se ha medido como la biomasa aérea seca producida (en gramos) por litro de agua aportada (riego y pluviometría); se trata por tanto de un parámetro estimado y de difícil cálculo en condiciones de campo (Moreno *et al.*, 2008). Se observa cómo la eficiencia en el uso del agua es menor con el tratamiento de un solo corte para todas las dosis de riego, y en general aquella tiende a ser mayor cuanto mayor es el número de cortes. También se observa cómo la eficiencia en el uso del agua tiende a ser mayor cuanto menor es la dosis de riego, lo que resulta muy habitual en la literatura (Medrano *et al.*, 2007; Moreno *et al.*, 2008).

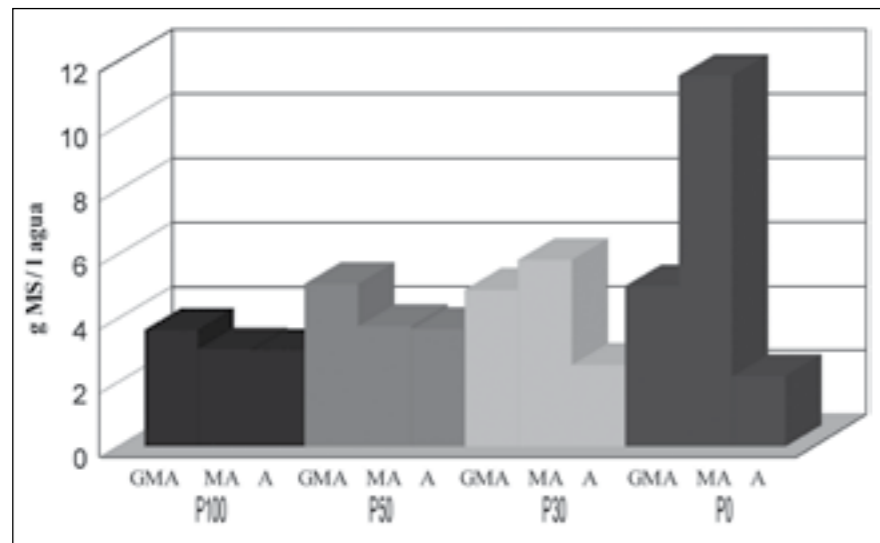


Figura 4. Eficiencia en el uso del agua de un cultivo de zulla durante el primer ciclo de cultivo en función de la dosis de riego y el número de cortes. Dosis de riego: P100 (100% de las necesidades), P50 (50%), P30 (30%), P0 (control). Número de cortes: A (un solo corte en abril), MA (cortes en marzo y abril), GMA (cortes en enero, marzo y abril).

CONCLUSIONES

El cultivo de la zulla en condiciones mediterráneas y bajo una dosis de riego moderada (50% de las necesidades) constituye una alternativa viable para las explotaciones ganaderas, puesto que permite aumentar la oferta de proteína en base forrajera y reducir así la fuerte dependencia actual de los alimentos externos a la explotación. La productividad obtenida y la eficiencia en el uso del agua estimada durante el primer ciclo de cultivo constituyen valores razonables para este cultivo en el área mediterránea.

AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer a IBABSA los análisis de las muestras, y a J.F. Moragues la ayuda en las labores de campo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BUSTAMANTE J., ALLES M., ESPADAS M. Y MUÑOZ J. (1998) El cultivo de la zulla en Menorca (I). *Información Técnica del CCEA 5*. Mahón.
- BUSTAMANTE J., ALLES M., ESPADAS M. Y MUÑOZ J. (1999) El cultivo de la zulla en Menorca (II). *Información Técnica del CCEA 10*. Mahón.
- BUSTAMANTE J., ALLES M., ESPADAS M. Y MUÑOZ J. (2000a) El cultivo de la zulla en Menorca (III). *Zulla de primer año. Información Técnica del CCEA 20*. Mahón.

- BUSTAMANTE J., ALLES M., ESPADAS M. Y MUÑOZ J. (2000b) El cultivo de la zulla en Menorca (V). La resiembra. *Información Técnica del CCEA 22*. Mahón.
- BUSTAMANTE J., ALLES M., ESPADAS M. Y MUÑOZ J. (2000c) El cultivo de la zulla en Menorca (VI). Zulla de segundo año. *Información Técnica del CCEA 23*. Mahón.
- DESCO Y. Y MAS LL. (2011) *Estadístiques bàsiques de l'agricultura, la ramaderia i la pesca a les Illes Balears 2010*. Palma de Mallorca: Edita Secció d'Estadística de la Conselleria d'Agricultura i Pesca, Govern de les Illes Balears.
- DURÀ A. (2002) *Herbacs de secà*. I Congrés Rural. Documents de Treball, pp. 43-50. Palma de Mallorca: Ed. Conselleria d'Agricultura i Pesca, Govern de les Illes Balears.
- ESTELRICH M. (2001) Farratgeres. Quinze anys d'experimentació a la comarca de Manacor. *Quaderns d'Agricultura*, 5. Govern de les Illes Balears. Palma de Mallorca.
- GONZÁLEZ DE TANAGO A., RUIZ CORNEJO J.A. Y ORTIZ F. (1980) *Ensayos sobre comportamiento productivo de la zulla (Hedysarum coronarium L.)*. Sevilla: Publicaciones de la Agencia de Desarrollo Ganadero.
- MEDRANO H., BOTA J., CIFRE J., FLEXAS J., RIBAS-CARBO M. Y GULIAS J. (2007) Eficiencia en el uso del agua por las plantas. *Investigaciones geográficas*, 43, 63-84.
- MONTALVO T. (2003) Riego localizado. Diseño de instalaciones. Ed. Intertécnica.
- MORENO M., GULIAS J., LAZARIDOU M., MEDRANO H. Y CIFRE J. (2008) Ecophysiological strategies to overcome water deficit in herbaceous species under Mediterranean conditions. *Cahiers Options Méditerranéens*, 79, 247-256.
- OLIVES, R (1969) *La alfalfa arbórea*. Publicaciones de Capacitación Agraria. Madrid: Ministerio de Agricultura, Serie Técnica.
- PAREDES D., TRIGO R.M., GARCIA-HERRERA R. Y FRANCO-TORRIGO I. (2006) Understanding precipitation changes in Iberia in early spring: Weather typing and storm-tracking approaches. *Journal of Hydrometeorology*, 7, 101-113.
- PONS P.J., GULIAS J., JAUME J., CONESA M.A., MORENO M., MEDRANO H. Y CIFRE J. (2009) Estudio agronómico comparativo de dos mezclas de praderas para el pastoreo de ganado ovino en sistemas agroganaderos del área mediterránea. En: Reiné R. et al. (Eds) *La multifuncionalidad de los pastos: producción ganadera sostenible y gestión de los ecosistemas*, pp 343-349. Huesca, España: Sociedad Española para el Estudio de los Pastos.

Pastoreo *versus* siega de una pradera de esparceta en regadío

Grazing *versus* hay making in an irrigated sainfoin crop

I. DELGADO / F. MUÑOZ / S. DEMDOUM

Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA)
Avda. Montañana 930. 50059 Zaragoza (España)
idelgado@aragon.es

Resumen: Se comparó la producción de forraje, composición química y persistencia de una pradera de esparceta, aprovechada a diente por ganado ovino en dos estados fenológicos, inicio (IF) y plena floración (PF), con la producción para heno, en regadío, en Zaragoza, durante 2010 y 2011. Se hicieron seis aprovechamientos en 2010 y tres en 2011, hasta que la densidad de plantas se redujo de 149 a 17 plantas m⁻². Destacó por producción de materia seca (MS) el aprovechamiento a diente en PF con 14 846 kg MS ha⁻¹ en 2010 y 8185 kg MS ha⁻¹ en 2011 (P<0,05). El primer corte supuso el 40% de la producción total del año en IF y el 49% en PF. El rehusado medio por pastoreo fue el 20,6% de la oferta en 2010 y el 10,1% en 2011, y el rastrojo por siega el 8,7% y 6,6%, respectivamente. El contenido en proteína bruta osciló entre el 14% en el primer aprovechamiento de PF y 23,3% en el último de IF.

Palabras clave: *Onobrychis viciifolia* Scop., producción de forraje, estados fenológicos, composición química, persistencia.

Abstract: Forage yield, chemical composition and persistence of a sainfoin crop were compared when grazed by sheep at two phenological stages, early (EB) and full bloom (FB), or harvested for hay under irrigated conditions in Zaragoza (Spain) in 2010 and 2011. Six grazings or cuts were done in 2010 and three in 2011. Plant population decreased from 149 plants m⁻² at the beginning, to 17 plants m⁻² at the end of the trial. The highest yield was achieved at FB: 14 846 kg DM ha⁻¹ in 2010 and 8185 kg DM ha⁻¹ in 2011 (P<0.05). First grazing yield accounted for 40% of annual yield at EB and 49% at FB. The average refusal in grazing treatment was 20.6% in 2010 and 10.1% in 2011, and the stubble in hay making 8.7% and 6.6% respectively. Crude protein contents ranged from 14% in the first FB grazing to 23.3% in the last EB one.

Key words: *Onobrychis viciifolia* Scop., forage yield, phenological stages, chemical composition, persistence.

INTRODUCCIÓN

La esparceta (*Onobrychis viciifolia* Scop.) es una leguminosa forrajera plurianual que destaca por su adaptación a los climas fríos, semiáridos y suelos calcáreos (Buendía-Lázaro y García-Salmerón, 1965), y por el valor nutritivo de su forraje, dado que contiene taninos condensados que reducen la degradación de las proteínas en el rumen favoreciendo la absorción de los aminoácidos en el intestino delgado (Nguyen *et al.*, 2005) y son la causa de no provocar meteorismo en el ganado (Min *et al.*, 2003).

Tradicionalmente el primer corte se henifica, debido a que concentra hasta el 67% de la producción anual, mientras que los siguientes rebrotes se aprovechan mediante pastoreo (Delgado *et al.*, 2002 y 2008a). El henificado supone gastos de mecanización y riesgo de pérdida de calidad por la posibilidad de lluvias en primavera, periodo en el cual se realiza el proceso. Para evitar el riesgo de las lluvias puede recurrirse a su conservación en microsilos, pero es más costoso.

Buscando reducir costes en la alimentación del ganado, se han propuesto alternativas de cultivo basadas en el pastoreo directo de praderas y cultivos forrajeros durante todo el año, tanto en regadío (Urbieta y Delgado, 1987) como en secano (Delgado *et al.*, 2004). La esparceta es un cultivo que podría formar parte de dichas alternativas por su interés agronómico y cualidades nutritivas ya expuestas. Diversos trabajos han mostrado que no existen diferencias en producción y persistencia atribuibles al pastoreo, cuando se efectúa un pastoreo rotacional con vacuno en regadío (Mowrey y Matches, 1991) o en secano (Mowrey y Volesky, 1993; Iwaasa *et al.*, 2006), y con ovino en regadío (Karnezos *et al.*, 1994; Delgado *et al.*, 2009) o en secano (Pecetti *et al.*, 2009).

El presente trabajo tiene por finalidad evaluar el pastoreo directo sobre la productividad y persistencia del cultivo en el regadío del valle del Ebro.

MATERIAL Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en una parcela de 6000 m² preparada para riego por inundación, en la finca experimental del CITA en Zaragoza, durante el periodo 2010-2011. La siembra se realizó el 16 de septiembre de 2009 a la dosis de 100 kg ha⁻¹, utilizando semilla de Reznos (Soria), que responde al tipo de “dos cortes” (Delgado *et al.*, 2008). Como abonado de fondo se aportaron 400 kg ha⁻¹ del complejo 8-24-8. La parcela se regó por inundación cada 24 días durante el periodo de marzo a agosto.

Las temperaturas medias mensuales en los 21 meses de duración del experimento (Octubre de 2009-Junio de 2011) fueron 19,5 °C de máxima y 6,9 °C de mínima; la mínima extrema diaria fue de -7,2 °C, el 27 de diciembre de 2010, y la precipitación total 511,3 mm. Las características edafológicas medias de las parcelas a 0-30 cm de profundidad correspondieron a un suelo de textura franco-arcillo-arenosa, pH al agua 8,44, salinidad (C.E. 1:5) 0,27 dSm⁻¹, contenido en materia orgánica por espectroscopia 1,66%, fósforo Olsen por espectroscopia 5,44 mg kg⁻¹, y potasio (extracto en acetato amónico) 48,0 mg kg⁻¹.

Se compararon tres tratamientos: pastoreo en dos estados fenológicos, inicio (IF) y plena floración (PF), y siega para producción de heno en PF. Para ello, la parcela se dividió en seis subparcelas de 1000 m², valladas perimetralmente, destinándose al azar dos subparcelas para cada tratamiento. Antes de comenzar el experimento se comprobó que no había diferencias significativas (P>0,05) entre subparcelas, tanto en densidad de plantas al mes de la siembra como en la oferta de forraje, tres días antes del primer aprovechamiento, mediante el lanzamiento de cinco marcos de 0,5 m² por subparcela, distribuidos al azar. El pastoreo se efectuó con un rebaño de ovejas “Rasa aragonesa”, que se mantuvieron permanentemente en la pradera entre uno y tres días, habiéndose estimado la carga a razón de 2 kg MS oveja⁻¹día⁻¹.

Al inicio de cada pastoreo o siega, se evaluó la oferta de forraje y, después del aprovechamiento, el rehusado dejado por los animales o el rastrojo de la siega en cinco marcos de 0,5 m² por subparcela, distribuidos al azar; las muestras se pesaron y secaron a 60 °C en estufa de ventilación forzada hasta peso constante; una parte de las mismas

se molió y analizó el contenido en proteína bruta (PB) y fibra neutro detergente (FND), mediante la técnica NIRS.

La persistencia de las plantas se determinó por comparación del número de plantas presentes al mes de siembra, en diciembre de 2010 y al concluir el experimento, julio de 2011, mediante el arranque de las plantas de cinco cuadros de 0,5 m² por subparcela.

Las evaluaciones realizadas se compararon mediante el análisis de la varianza por el procedimiento ANOVA y el test LSD, con el paquete estadístico SAS (2003).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se efectuaron seis aprovechamientos en 2010 y tres en 2011, hasta que la pérdida de persistencia del cultivo aconsejó su alzado. El henificado se realizó únicamente en los tres primeros aprovechamientos; los tres últimos se pastorearon a la vez que el tratamiento “pastoreo en PF”, debido a la escasez de forraje. Durante el proceso de henificado del primer corte en 2010, hubo 25,9 L m⁻² de lluvia distribuida en 8 días, 34,5 L m⁻² en el segundo en 5 días, y 6,3 L m⁻² en el tercero en un día, que ocasionaron la pérdida total del primer corte y, previsiblemente, mermas de calidad debidas a la lluvia en los restantes. En 2011, la lluvia afectó al segundo corte, cayendo 20,1 L m⁻² en 5 días.

La oferta de MS, el porcentaje de rehusado o rastrojo dejado en campo en cada aprovechamiento y la distribución proporcional de la oferta, a lo largo de 2010, se presentan en la tabla 1 y los correspondientes a 2011 en la tabla 2.

Tabla 1. Oferta de materia seca (MS), rehusado/rastrojo (%) y distribución de la oferta entre los diferentes aprovechamientos (C) realizados a un cultivo de esparceta, en 2010.

Tratamiento	C1	C2	C3	C4	C5	C6	Total
Fecha	26/04-3/05	4/06-7/06	7/07-9/07	6/08-9/08	16/09	18/11v	2010
Oferta (kg MS ha⁻¹)							
Pastoreo IF	5163 b	2542	1895 a	1390 a	1205 a	708 ab	12 903 b
Pastoreo PF	7275 a	2841	2063 a	923 b	914 a	830 a	14 846 a
Siega	7298 a	2508	1576 b	960 b	725 b	538 b	13 605 ab
Significación	**	ns	***	***	***	*	*
% MS rehusada o rastrojo							
Pastoreo IF	43,2	15,4	17	/	/	/	22,9
Pastoreo PF	28,7	11,9	13,2	/	/	/	18,3
Siega	8,2	11,1	20,8	/	/	/	8,7
Reparto de la oferta (%)							
Pastoreo IF	40	19,7	14,7	10,8	9,3	5,5	100
Pastoreo PF	49	19,1	13,9	6,2	6,2	5,6	100
Siega	53,6	18,4	11,6	7,1	5,3	4	100

IF = Inicio de floración; PF = Plena floración; ns = P>0,05, * = P<0,05, ** = P<0,01, *** = P<0,001. Las cifras con diferente letra dentro de cada columna difieren significativamente (P<0,05). / = Producción despreciable

Tabla 2. Oferta de materia seca (MS), rehusado/rastrojo (%) y distribución de la oferta entre los diferentes aprovechamientos (C) realizados a un cultivo de esparceta, en 2011.

Tratamiento	C1	C2	C3	Total
Fecha	11-18/04	23-30/05	23-27/06	2011
Oferta (kg MS ha⁻¹)				
Pastoreo IF	3789 ab	1542 b	455 b	5786 b
Pastoreo PF	4415 a	2762 a	1009 a	8185 a
Siega	3253 b	1653 b	561 b	5648 b
Significación	*	***	***	***
% MS rehusada o rastrojo				
Pastoreo IF	6,1	0,8	9,1	4,9
Pastoreo PF	23,8	4,8	6,1	15,2
Siega	6,8	6,4	6	6,6
Reparto de la oferta (%)				
Pastoreo IF	65,5	26,7	7,9	100
Pastoreo PF	53,9	33,7	12,3	100
Siega	57,6	29,3	13,1	100

IF = Inicio de floración; PF = Plena floración; ns = P>0,05, * = P<0,05, ** = P<0,01, *** = P<0,001. Las cifras con diferente letra dentro de cada columna difieren significativamente (P<0,05).

La oferta anual de forraje fue significativamente diferente entre tratamientos, destacando el pastoreo en plena floración, con 14 846 kg de MS ha⁻¹ en 2010 y 8185 kg de MS ha⁻¹ en los tres aprovechamientos de 2011. El rehusado medio en 2010 fue del 20,6% vs 8,7% del rastrojo y, en 2011, del 10,1% vs 6,6%, respectivamente. El primer aprovechamiento supuso, de media, el 47,5% de la oferta de forraje de 2010.

La tabla 3 recoge los contenidos en PB y FND de las diferentes ofertas, rehusados y rastrojos evaluados. El contenido en PB fue incrementándose progresivamente desde el 14% en el primer aprovechamiento de PF hasta el 23,3% en el último de IF; el contenido en FND se redujo inversamente, del 51% al 26,8%, en los mismos tratamientos. Las mayores diferencias de PB entre tratamientos se dieron en el primer aprovechamiento entre IF y PF, siendo de 2,6% en 2010 y 3,8% en 2011.

El número de plantas presentes al mes de la siembra fue de 159 plántulas m⁻²; descendió a 39 plantas m⁻² en otoño de 2010 y a 19 plantas m⁻² en julio de 2011, cuando se procedió a su alzado. No hubo diferencias significativas (P>0,05) entre tratamientos, en ninguna de las fechas.

Los resultados muestran la tolerancia de la esparceta al pastoreo con ovino, coincidiendo con los presentados en otros trabajos (Karnezos *et al.*, 1994; Delgado *et al.*, 2009; Pecetti *et al.*, 2009). El pastoreo efectuado en inicio o plena floración afectó únicamente al primer aprovechamiento, tanto a la producción como a la calidad el forraje, pero no a la persistencia, que fue similar en todos los tratamientos. Se obtuvo menor producción con el pastoreo en IF, pero mayor calidad, y los resultados finales se equilibraron.

Tabla 3. Porcentaje de proteína bruta (PB) y fibra neutro detergente (FND) de la oferta de materia seca y del rehusado o rastrojo en los diferentes aprovechamientos (C) realizados a un cultivo de esparceta, en 2010 y 2011.

	PB						FND					
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C1	C2	C3	C4	C5	C6
Oferta 2010												
Pastoreo IF	17	17	17	17	20	23	43,3	45	44	42	39	27
Pastoreo PF	14	17	16	17	20	23	51	45	48	40	37	29
Siega	14	18	18	17	20	20	51	43	42	40	38	36
Rehusado/rastrojo 2010												
Pastoreo IF	11	7,1	10	-	-	-	62,8	72	62	-	-	-
Pastoreo PF	-	6,8	9,7	-	-	-	-	74	68	-	-	-
Siega	8,3	9	-	-	-	-	62,4	63	-	-	-	-
Oferta 2011												
Pastoreo IF	19	18	19	-	-	-	36,4	39	31	-	-	-
Pastoreo PF	15	14	19	-	-	-	43,8	49	40	-	-	-
Siega	16	17	16	-	-	-	40,1	42	42	-	-	-
Rehusado/rastrojo 2011												
Pastoreo IF	10	9,6	6,7	-	-	-	60,8	50	56	-	-	-
Pastoreo PF	7,8	7,4	7	-	-	-	71,5	71	52	-	-	-
Siega	9,7	6,9	8,2	-	-	-	53,2	74	64	-	-	-

El rehusado puede considerarse alto, sobre todo en el primer aprovechamiento, donde el ganado rechazó la parte gruesa de los tallos. Sin embargo, en la globalidad de los seis aprovechamientos de 2010, dicho resultado fue inferior al pastoreo de alfalfa por ovino estimado en un 26% por Delgado *et al.* (1992). Las pérdidas atribuidas al proceso del henificado no son inferiores; Amella *et al.* (1984) las estimó en el 38% de la MS en la esparceta y Jounou *et al.* (2000) en el 19,4% en la alfalfa y, en general, en leguminosas Dulphy (1987) las estimó en un 25% de la oferta.

La escasa persistencia apreciada en el cultivo la atribuyen Kallenbach *et al.* (1996) a que, durante episodios de temperaturas altas, la respiración supera a la fotosíntesis, lo que conlleva a un estrés metabólico y a la disminución de las reservas de la planta, pudiéndole ocasionar la muerte. Ello se agrava en localizaciones de baja altitud, con temperaturas altas y prolongadas en verano, lo que acentuado por el aprovechamiento intensivo del pasto, conduce a la pérdida de persistencia. Ello podría no ser importante si sembramos la esparceta como un cultivo anual o bianual, al igual que otros cultivos forrajeros como el trébol violeta, el raigrás italiano o la veza sativa, pero con las ventajas de tener igual o mayor producción de forraje, capacidad de ingestión voluntaria superior a la de otras leguminosas como la alfalfa o el trébol violeta (Karnezos *et al.*, 1994), y un valor nutritivo más elevado, debido al contenido en taninos condensados (Min *et al.*, 2003; Nguyen *et al.*, 2005). Por otra parte, la alta producción del primer aprovechamiento posibilita también su ensilado o deshidratación.

El reparto anual de la producción ya fue estudiado en Aragón, en condiciones de seco y regadío. Los resultados obtenidos mostraron un reparto similar de la producción anual de forraje en ambas condiciones, siendo en seco de 66,9%, 21,4% y 11,7% en el primero, segundo y tercer cortes, y en regadío de 67,2%, 19,4%, 9,9% y 3,5% en el primero, segundo, tercer y cuarto cortes, respectivamente (Delgado *et al.*, 2008).

CONCLUSIONES

El pastoreo no afectó a la producción de MS ni a la persistencia del cultivo, con respecto al henificado. Comparando el pastoreo en IF y PF, la oferta de MS en el primer corte fue 29% menor en IF, pero el contenido en PB fue 2,6% más elevado. El rehusado medio dejado por el ganado ovino fue el 20,6% de la oferta vs. el 8,7% el rastrojo de la siega. El primer aprovechamiento supuso, de media, el 47,3% de la oferta anual de forraje.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por el M^o de Ciencia e Innovación y FEDER, dentro del proyecto RTA2009-00063-C02-01.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMELLA A., FERRER C., MAESTRO M. Y BROCA A. (1984) Henificación en la depresión media pirenaica: producciones, mermas y calidad. *Pastos*, **XIV**(1), 77-91.
- BUENDÍA-LÁZARO F. Y GARCÍA-SALMERÓN S. (1965) Monografía del género *Onobrychis*. En: *Estudio botánico, ecológico y pascícola de las principales especies espontáneas de los pastizales de montaña de nuestras regiones semiáridas*. Madrid, España: Ministerio de Agricultura.
- DELGADO I., RAMON J. Y VALDERRABANO J. (1992) Efecto del pastoreo directo sobre un cultivo de alfalfa. *Investigación Agraria: Producción y Sanidad Animales*, **7**(1), 71-80.
- DELGADO I., ANDRÉS C., SIN E. Y OCHOA M.J. (2002). Estado actual del cultivo de la esparceta (*Onobrychis viciifolia* Scop.). Encuesta realizada a agricultores productores de semilla. *Pastos*, **XXXII** (2), 235-247.
- DELGADO I., ANDUEZA D., MUÑOZ F. Y LAHOZ F. (2004) Forage system to replace marginal rainfed cereal areas by sheep production. An experimental study. *Options Méditerranéennes, Serie A: Séminaires Méditerranéens*, **60**, 263-266.
- DELGADO I., ANDRÉS C. Y MUÑOZ, F. (2008) Effect of the environmental conditions on different morphological and agronomical characteristics of sainfoin. *Options Méditerranéennes, Serie A*, **79**, 199-202.
- DELGADO I., SALVIA J., BUIL I. Y ANDRES C. (2008) The agronomic variability of a collection of sainfoin accessions. *Spanish Journal of Agricultural Research*, **6** (3), 401-407.
- DELGADO I., DEMDOUM S., MUÑOZ F. Y VALDERRABANO J. (2009) Pastoreo con ovino de un cultivo de esparceta. Primeros resultados. XXXIV Congreso Nacional de la SEOC, 475-479. Barbastro, Huesca, España. ISBN: 978-84-933556-3-0.
- DULPHY J.P. (1987) Fenaison: pertes en cours de récolte et de conservation. En: *Les fourrages secs: récolte, traitement, utilisation*, 103-124. Paris, Francia: INRA.
- KALLENBACH R., MATCHES A. Y MAHAN J. (1996) Sainfoin regrowth declines as metabolic rate increases with temperature. *Crop Science*, **36**, 91-97.
- KARNEZOS T., MATCHES A. Y BROWN C. (1994) Spring lamb production on alfalfa, sainfoin, and wheatgrass pastures. *Agronomy Journal*, **86**, 497-502.
- IWAASA A.D., JEFFERSON P.G. Y LEMKE R. (2006) Beef cattle grazing and forage production comparisons of alfalfa-grass versus sainfoin pastures. *Journal of Animal Science*, **84**, 163-164
- JOUNOU R., LLOVERAS J., FERRÁN J., SANTIVERI P. Y TORRES L. (2000) Efecto de henificado en la producción y calidad de la alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Pastos*, **XXX** (1), 115-127.
- MIN B.R., BARRY T.N., ATTWOOD G.T. Y MC NABB W.C. (2003) The effect of condensed tannins on the nutrition and health of ruminants fed fresh temperate forages: a review. *Animal Feed Science and Technology*, **106**, 3-19.
- MOWREY D. Y MATCHES A. (1991) Persistence of sainfoin under different grazing regimes. *Agronomy Journal*, **83**, 714-716.
- MOWREY D. Y VOLESKY J. (1993) Feasibility of grazing sainfoin on the southern great plains. *Journal of Range Management*, **46**, 539-542.
- NGUYEN T.M., BINH D.V. Y ORSKOV E. (2005) Effect of foliages containing condensed tannins and on gastrointestinal parasites. *Animal Feed Science and Technology*, **121**, 77-87.
- PECETTI L., ANNICCHIARICO P., BATTINI F. Y CAPELLI S. (2009) Adaptation of forage legume species and cultivars under grazing in two extensive livestock systems in Italy. *European Journal of Agronomy*, **30**, 199-204.
- SAS (2003) *SAS user's guide: Statistics version 9.1*. Cary, NC, USA: SAS Institute Inc.
- URBIETA J. Y DELGADO I. (1987) *Praderas y cultivos forrajeros de interés para el regadío*. Zaragoza, España: DGA. Información Técnica nº 2.

Potencial agronómico y ambiental de las mezclas forrajeras

Agronomic and environmental potential of forage mixtures

R. LLURBA¹ / A. RIBAS^{1,2} / N. ALTIMIR¹ / C. BOUBEKEUR¹ / F. GOURIVEAU¹ / J. PLAIXATS² / D. VENTURA¹ / J. CONNOLLY³ / M.T. SEBASTIÀ^{1,4}

¹ Centre Tecnològic Forestal de Catalunya

² BABVE, Universitat Autònoma de Barcelona

³UCD, University College Dublin, School of Mathematical Sciences

⁴ ETSEA-Universitat de Lleida. rosa.llurba@ctfc.cat

Resumen: Con el objetivo de evaluar el potencial agronómico y ambiental del uso de cubiertas forrajeras mixtas, se estableció un experimento en el que se manipuló la diversidad vegetal de cubiertas forrajeras, incluyendo monocultivos y mezclas de tres especies forrajeras: una gramínea (*Festuca arundinacea*), una leguminosa (*Medicago sativa*) y una forbia (*Cichorium intybus*). A lo largo de tres años de desarrollo de las cubiertas se recogieron datos de productividad, calidad forrajera, nitrógeno (N) exportado por la vegetación y N perdido por lixiviación, obteniéndose modelos de estas respuestas en función de la composición y diversidad cultivada. Se detectó un efecto de la diversidad en todas las funciones estudiadas que provocó un incremento de la productividad, de la cantidad de proteína en el forraje (%) y del N exportado por la vegetación. Por otro lado, la diversidad provocó una reducción de la lixiviación en las cubiertas mixtas.

Palabras clave: diversidad, producción, calidad forrajera, lixiviación, chicoria.

Abstract: A diversity experiment was established in order to assess the agronomic and environmental potential of mixed forage swards. Monocultures and a range of 3-species mixtures containing a grass (*Festuca arundinacea*), a legume (*Medicago sativa*) and a forb (*Cichorium intybus*), were sown and the following variables were studied: yield, forage quality, N exported by the aboveground biomass, soil N, N leaching, and N₂O emission. Diversity was found to affect all of these variables, enhancing productivity and protein content (%), increasing exported N by the vegetation (%), modulating the nitrate-N in the soil profile and N₂O emission and decreasing N leaching (ammonium). We conclude that increasing diversity in forage swards may result in reduced N losses to the environment with increased agronomic potential.

Key words: diversity, productivity, forage quality, leaching, chicory.

INTRODUCCIÓN

En el contexto del cambio global y el escenario energético presentes, es esencial el desarrollo de estrategias productivas que permitan mantener la función de provisión de los agroecosistemas (en cantidad y calidad), reducir las necesidades de N exógeno así como sus pérdidas por lixiviación y emisión (Erisman *et al.*, 2011). Estudios desarrollados en las últimas décadas han demostrado que el incremento de la diversidad lleva asociado un incremento de varias funciones ecosistémicas (Hooper *et al.*, 2005; Eisenhauer *et al.*, 2011), sin embargo su uso en sistemas agrícolas continúa siendo limitado (Nyfeler *et al.*, 2011). El desarrollo de sistemas de cultivo mixto precisa del estudio del uso de la diversidad en un contexto productivo con un enfoque multifuncional (Connolly *et al.*, 2009). Por otro lado, es necesaria la evaluación de estrategias de gestión que permitan mejorar la estabilidad de las cubiertas mixtas de gramíneas y leguminosas, como su composición en siembra o la inclusión de otros grupos funcionales (forbias o dicotiledóneas no leguminosas). La inclusión de forbias como

la chicoria (*Cichorium intybus*) en las mezclas de gramínea-leguminosa puede resultar interesante por la complementación en niveles de proteína en los momentos en que la proporción de leguminosa en la mezcla es más baja (Beleski *et al.*, 2001; Høgh-Jensen *et al.*, 2006). Además esta especie, de la que se tiene poca información a nivel peninsular, proporciona un elevado contenido en minerales (Beleski *et al.*, 2001; Høgh-Jensen *et al.*, 2006). Por otro lado, se ha detectado un efecto de la diversidad en el incremento de la eficiencia del uso del N, con un incremento de N capturado por la cubierta vegetal (Nyfeler *et al.*, 2011), y una reducción de pérdidas por lixiviación (Scherer-Lorenzen *et al.*, 2003). Con el objetivo de abordar estas cuestiones se estableció un experimento en el que se manipuló la diversidad de cubiertas forrajeras mixtas, para analizar su potencial agronómico y ambiental, y determinar el efecto de la diversidad sobre: 1) la productividad del forraje y su estabilidad a lo largo de tres años de desarrollo de la cubierta; 2) la calidad del forraje producido; 3) la eficiencia del uso del N, evaluando el N exportado por la vegetación y el N lixiviado.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las cubiertas forrajeras experimentales se establecieron en abril de 2008, en una zona semi-árida de la Depresión Central Catalana, con 13.9 °C y 428.4 mm de temperatura y precipitación medias. Al desarrollarse el experimento durante la puesta en regadío de la zona (canal Segarra-Garrigues) se dieron irregularidades en el riego que produjeron episodios puntuales de déficit hídrico.

El tratamiento de diversidad incluía monocultivos y mezclas de 3 especies: una gramínea (*Festuca arundinacea*) y una leguminosa (*Medicago sativa*) ambas de amplio uso en la península, y una forbia (*Cichorium intybus*), común en Australia o EEUU pero poco utilizada en la península pese a su origen mediterráneo. La composición de las cubiertas sembradas siguió un diseño simplex (Kirwan *et al.*, 2009), incluyendo los tres monocultivos, tres mezclas dominadas por cada una de las tres especies (80% en siembra) y una mezcla centroide, con una proporción equitativa de cada componente. Este diseño se duplicó a dos densidades de siembra, escogidas de acuerdo con las dosis aplicadas en la zona y con la densidad baja conteniendo un 60% de la alta, y se triplicó (para posteriores tratamientos de fertilización) dando un total de 42 parcelas de 12 × 12 m² totalmente aleatorizadas.

En este trabajo se recoge el comportamiento de las cubiertas forrajeras en el período 2008-2010 evaluado a lo largo de los cortes realizados: dos en el año de establecimiento y cuatro en cada uno de los dos años siguientes. Para cada parcela experimental y cada corte se determinó: 1) la producción total en 9,4 m²; 2) el porcentaje de materia seca (secado a 60° C) y su contenido de N, a partir de una submuestra del forraje pesado; y 3) la composición botánica a partir de una muestra de 0,5 × 0,5 m². En tres de los cortes (otoño en 2009 y primavera y otoño en 2010) se utilizó una submuestra del forraje producido para el análisis de su contenido en proteína bruta y minerales, siguiendo la metodología de AOAC (2005).

Para el seguimiento de la solución lixiviada se instalaron lisímetros que consistían en depósitos de 1 m³, enterrados en cada parcela y dotados de tres capas de grava y arena de distintas granulometrías y de un colector. En 2010, el lixiviado que drenó a través del bloque de suelo durante el período de desarrollo vegetativo se recogió periódicamente para su cuantificación y se obtuvo una muestra acumulada para el análisis de su contenido de nitrógeno inorgánico (formas nítrica y amoniacal).

Las distintas variables dependientes estudiadas se modelaron (GLM, SAS) como una función lineal [1] de la densidad de siembra (M), las proporciones de las 3 especies (P_i) y las tres interacciones dos a dos de las especies incluidas (P_iP_j).

$$y = \alpha M - \sum_i \beta_i P_i + \sum_{i < j} \beta_{ij} P_i P_j \quad [1]$$

Alternativamente, las tres interacciones pueden agruparse en un único término que corresponde al efecto global de la diversidad (Kirwan *et al.*, 2009). Este diseño permite la separación de los efectos identidad, es decir, de los valores esperados según la contribución relativa de cada especie, del efecto de la diversidad que conduce a valores superiores (o inferiores) de los esperados. Para las variables estudiadas como medidas repetidas a lo largo de los 3 años (productividad y contenido de N en %), este modelo se extendió para evaluar si el efecto de la diversidad persistía (MIXED, SAS). Las proporciones de las especies pueden corresponder a las iniciales (de siembra) o a las alcanzadas en un momento dado, en función de las variables estudiadas y el enfoque de las preguntas. La producción se modelizó en función de las proporciones iniciales, dando respuesta al efecto histórico o acumulado de la diversidad sembrada. Para el resto de variables, en cambio, se utilizaron las proporciones existentes. Como la densidad no mostró efectos significativos, los resultados que siguen surgen de la estimación para un densidad media entre las dos utilizadas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Producción y estabilidad

La producción total acumulada entre 2008 y 2010 (10 cortes) fue superior en las mezclas que en los monocultivos, debido al efecto de la diversidad sembrada (P<0,0001), que en términos globales (3 años) incrementó en un 49.3% la biomasa en la mezcla centroide respecto al promedio de los tres monocultivos. A partir del primer corte, el efecto de la diversidad sembrada se mantuvo positivo y significativo (P<0,05), incrementando la producción por encima de los valores de la producción media de los monocultivos (fig. 1). Este efecto se mantuvo incluso después de un episodio de déficit hídrico que produjo un descenso notable en la producción (fig. 1).

La composición de la cubierta vegetal varió a lo largo de los cortes, dándose un relevo en la contribución de las distintas especies e interacciones en la producción total

obtenida, que puede ser clave en la estabilidad productiva. Aunque la chicoria mostró una proporción en la biomasa aérea muy elevada en el primer año, la proporción de esta especie se vio muy reducida a lo largo de los tres años de desarrollo de la cubierta, como se ha encontrado en otros trabajos (Belesky *et al.*, 2001), mostrando un desarrollo muy elevado en post-establecimiento pero cayendo del 44 % (inicio 2009) al 1 % (finales de 2010).

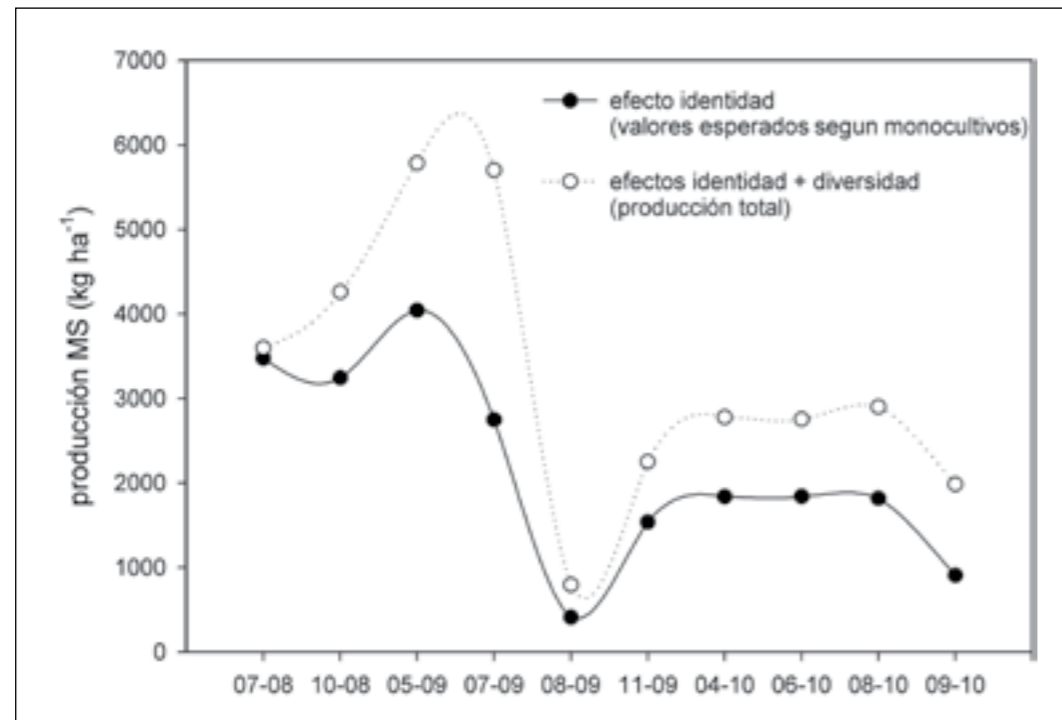


Figura 1. Valores estimados de producción (en 10 cortes), según la contribución relativa de cada especie (efecto identidad) e incluyendo el efecto diversidad (MS:materia seca).

Calidad forrajera: proteína bruta y minerales

Las variables de calidad forrajera se modelizaron en función de las proporciones existentes en el corte analizado, de manera que los coeficientes asignados a las proporciones (efectos identidad) corresponden a la concentración de proteína y minerales de los monocultivos en el momento de análisis, mientras que los coeficientes de las interacciones indican el incremento o decremento relativo de la mezcla debido a la interacción interespecífica. Los valores esperados de proteína bruta (%) difirieron para las tres especies sembradas con un aporte de proteína superior en monocultivos de alfalfa (fig. 2, izquierda). Por otro lado, mientras que para el corte primaveral no se detectó un efecto significativo de la diversidad, en los cortes de otoño estudiados éste fue significativo ($P = 0,021$) y condujo a valores de proteína (%) en las mezclas superiores a los

esperados según la contribución relativa de las 3 especies, es decir, superiores a la media de los monocultivos, y similares al monocultivo de leguminosa (fig. 2, izquierda).

Respecto al contenido en minerales del forraje, la chicoria mostró un valor muy superior al proporcionado por las otras dos especies (fig. 2, derecha), coincidiendo con los resultados de Belesky *et al.* (2001). Sin embargo, en primavera éste se vio considerablemente reducido en las mezclas (fig. 2, derecha), debido al efecto diversidad ($P = 0,0075$). Una de las posibles causas de tal reducción podría derivar del efecto de “dilución” de los minerales absorbidos provocado por un aumento de producción (Belesky *et al.*, 2001).

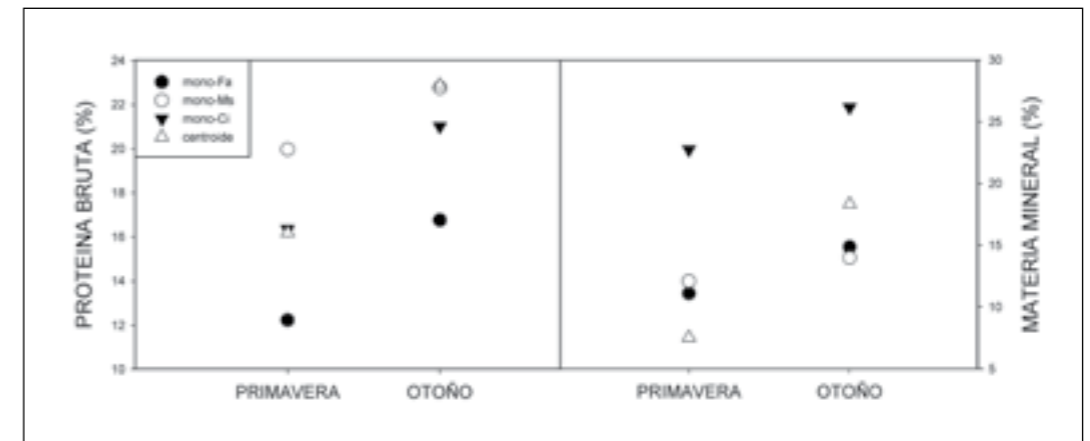


Figura 2. Valores estimados de proteína bruta (% / MS) (izquierda) y materia mineral (% / MS) (derecha), para las distintas cubiertas vegetales.

Nitrógeno en la biomasa aérea, N exportado y pérdidas de N por lixiviación

De forma paralela al contenido de proteína, la diversidad (utilizando en el modelo las proporciones existentes) tuvo un efecto positivo en el contenido de N en la biomasa aérea (%) a lo largo de los tres años de estudio ($P = 0,0067$), debido a la interacción de la leguminosa con las otras dos especies. Por otro lado, el N exportado por la vegetación en cada corte (kg N ha^{-1}), modelizado también en función de las proporciones existentes, incrementó con la diversidad, debido a la interacción entre las no-leguminosas ($P=0,0245$, figura 3 izquierda) que actuaron como sumideros de N; este efecto fue muy significativo en los dos primeros años de desarrollo ($P = 0,0022$), antes del descenso drástico de la proporción de chicoria.

Resulta interesante destacar que la lixiviación de N-amoniaco en el tercer año mostró una respuesta negativa y significativa a la interacción entre las no-leguminosas existente en el segundo año. Esta relación sugiere que el efecto positivo que la interacción entre no-leguminosas ejerció en la exportación de N puede estar relacionada con una menor pérdida por lixiviación en el último año, probablemente a través de la

complementariedad en la absorción de N entre las no-leguminosas. La estabilidad en la proporción de chicoria en las mezclas puede ser clave en el secuestro de N inorgánico y la reducción de lixiviación. La concentración de nitrato lixiviado no mostró una respuesta significativa a la diversidad, pudiendo haber influenciado el límite de detección utilizado y el hecho de que no se aplicó fertilizante.

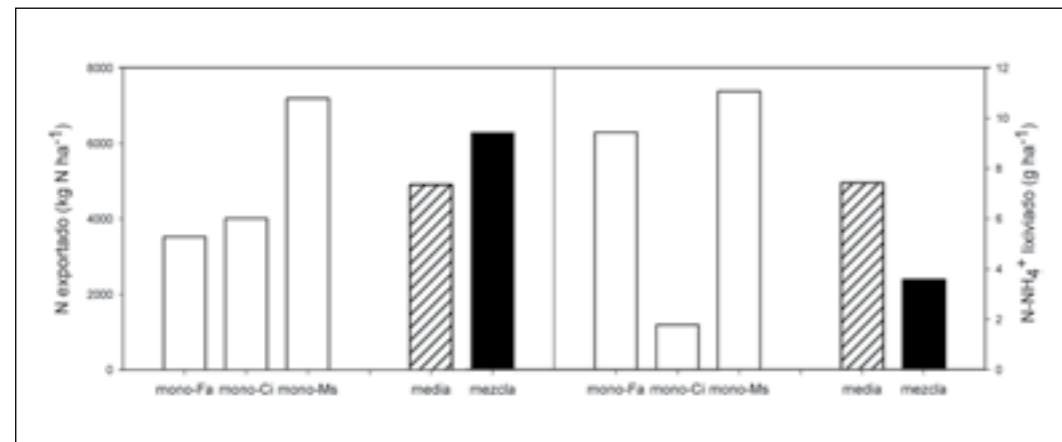


Figura 3. Valores estimados de N exportado en tres años (izquierda) y N-amoniaco lixiviado en 2010, para los monocultivos de festuca, chicoria y alfalfa (mono-Fa, -Ci y -Ms respectivamente) y la mezcla centroide sin incluir el efecto de la diversidad (media) e incluyendo este efecto (mezcla).

CONCLUSIONES

Un modesto aumento de la diversidad en cubiertas forrajeras afectó todas las variables estudiadas, subrayando el elevado potencial agronómico y ambiental de las cubiertas mixtas. La inclusión de leguminosas en las mezclas resultó clave como fuente de N, incrementando el contenido proteico del forraje producido. En cambio, la interacción entre no-leguminosas parece estar implicado en el incremento de N exportado por la biomasa aérea así como en la reducción de la lixiviación de N amoniacal.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos la colaboración de Faustina Torri, Josep Bobet y Josep Ripoll. Este trabajo ha sido posible gracias a la financiación del MMA (proyecto OPS), MICINN (proyecto CARBOAGROPAS), Interreg IV-A (proyecto FLUXPYR) y del DAR.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AOAC (2005). Official Methods of Analysis of the Association of Official Agricultural Chemist, 18th AOAC International, Gaithersburg, MD.

- BELESKY D.P., TURNER K.E., FEDDERS, J.M. Y RUCKLE, J.M. (2001) Mineral composition of swards containing forage chicory. *Agronomy Journal*, **93**, 468-475.
- CONOLLY J., FINN J., BLACK A.D., KIRWAN L., BROPHY C. Y LÜSCHER A. (2009) Effects of multi-species swards on dry matter production and the incidence of unsown species at the three Irish sites. *Irish Journal of Agricultural and Food Research*, **48**, 243-260.
- EISENHAUER N., MILCU A., SABAI S.A.C.W., BESSLER H., BRENNER J., ENGELS C., KLARNER B., MARAUN M., PARTSCH S., ROSCHER C., SCHONERT F., TEMPERTON V.M., THOMISCH K., WEIGELT A., WEISSER W.W. Y SCHEU S. (2011) Plant diversity surpasses plant functional groups and plant productivity as driver of soil biota in the long term. *PLoS ONE*, **6**(1).
- ERISMAN J.W., GALLOWAY J., SEITZINGER S, BLEEKER A.Y BUTTERBACH-BAHL K. (2011) Reactive nitrogen in the environment and its effect on climate change. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, **3**(5), 281-290.
- HØGH-JENSEN H., NIELSEN B. Y THAMSBORG, S.M. (2006) Productivity and quality, competition and facilitation of chicory in ryegrass/legume-based pastures under various nitrogen supply levels. *European Journal of Agronomy*, **24**, 247-256.
- HOOPER D.U., CHAPIN F.S., EWEL J.J., HECTOR A., INCHAUSTI P., LAVOREL S., LAWTON J.H., LODGE D.M., LOREAU M., NAEEM S., SCHMIDT B., SETALA H., SYMSTAD A.J., VANDERMEER J. Y WARDLE D.A. (2005) The effects of biodiversity on ecosystem functioning: A consensus of current knowledge. *Ecological Monographs*, **75**, 3-35.
- KIRWAN L., CONNOLLY J., FINN J.A., BROPHY C., LÜSCHER A., NYFELER D. Y SEBASTIÀ, M.T. (2009) Diversity-interaction modelling - estimating contributions of species identities and interactions to ecosystem function. *Ecology*, **90**, 2032-2038
- NYFELER D., HUGUENIN-ELIE O., SUTER M., FROSSARD E. Y LÜSCHER A. (2011) Grass-legume mixtures can yield more nitrogen than legume pure stands due to mutual stimulation of nitrogen uptake from symbiotic and non-symbiotic sources. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, **140**, 155-163.
- SCHERER-LORENZEN M., PALMBORG C., PRINZ A. Y SCHULZE, E. (2003) The role of plant diversity and composition for nitrate leaching in grasslands. *Ecology*, **84**, 1539-1552.

Evaluación de la aptitud combinatoria específica de líneas (EC136 x EC151)F2 para la producción de maíz forrajero

Evaluation of specific combining ability of (EC136 x EC151)F2 derived lines for forage yield

L. CAMPO / A. MONTEAGUDO / J. MORENO-GONZÁLEZ

Centro de Investigaciones Agrarias de Mabegondo (CIAM). Instituto Galego de Calidade Alimentaria (INGACAL). Apartado 10. 15080. A Coruña
laura.campo.ramirez@xunta.es

Resumen: El objetivo de este trabajo fue evaluar la Aptitud Combinatoria Específica de varias líneas aleatorias derivadas de la población (EC136xEC151)F2 mediante cruzamientos con un tester heterótico EC214. Trescientos treinta y cinco cruces de líneas (EC136 x EC151)F2 por la línea pura EC214, cuatro híbridos experimentales del CIAM y siete híbridos comerciales testigos fueron evaluados en tres años de ensayos, para la producción de materia seca (PMS) y otros caracteres agronómicos con el fin de determinar las líneas con mejor aptitud para la producción de maíz forrajero. La mayoría de los cruces (EC136xEC151)F2 x EC214 fueron más precoces en cuanto a floración y con mayor vigor temprano que los testigos, mientras que las diferencias en la sensibilidad al encamado y el contenido de materia seca no fueron significativas. El 32,8% de los cruces (EC136xEC151)F2 x EC214 evaluados alcanzaron PMS superiores a la media de los testigos (13,49 tMS/ha), destacando por su alto rendimiento el cruce de la línea 306 con 18,55 tMS/ha. Las líneas derivadas de la población (EC136xEC151)F2 presentaron en general buena aptitud combinatoria para la producción de maíz forrajero. Las líneas parentales de los cruces con mayor producción se utilizarán para desarrollar híbridos y poblaciones de maíz forrajero adaptadas a las condiciones de Galicia.

Palabras clave: *Zea mays* L., materia seca, híbridos.

Abstract: The objective of this work was to evaluate the specific combining ability of several random S3, S4 and S5 lines derived from the (EC136 x EC151)F2 population crossed to the heterotic flint inbred tester EC214. Three hundred thirty five testcrosses, four experimental hybrids of CIAM and seven adapted commercial hybrids were evaluated in three years for the dry matter forage yield (DMY) and other agronomic traits to determine the lines with the best specific combining ability for forage yield.

Most of the testcrosses (EC136xEC151)F2 x EC214 were more early about flowering and with greater vigor early of the commercial hybrids, while the differences in susceptibility to lodging and dry matter were not significant. 32.8% of the testcross (EC136xEC151)F2 x EC214 were superior to the forage yield mean of the commercial hybrids (13.49 tDM/ha), noted for its high forage yield of the top cross 306 with 18.55 tDM/ha. The lines derived from the population (EC136xEC151)F2 show a high specific combining ability for forage yield. The parental lines of testcrosses with increased forage yield will be used to develop hybrids and forage maize populations adapted to the conditions of Galicia.

Key words: *Zea mays* L., dry matter, hybrids.

INTRODUCCIÓN

En el Centro de Investigaciones Agrarias de Mabegondo (CIAM) se lleva trabajando desde hace años mejora de maíz en base al forraje y a su valor nutritivo, con el fin de poder ofertar híbridos forrajeros adaptados a las condiciones húmedas del norte de España y especialmente a las de Galicia. Se han desarrollado poblaciones avanzadas procedentes del cruce de líneas puras de material americano y material autóctono gallego. Las líneas puras americanas (*Reid Yellow Dent* o *Lancaster Sure Crop*) introducen las características de mayor producción y resistencia al encamado, mientras

que las líneas puras gallegas (*Flint* o *Liso europeo*) proporcionan vigor temprano, precocidad y adaptación al medio (Moreno-González, 1988; Moreno-González *et al.*, 1997; Malvar *et al.*, 1996). A partir de estos dos grupos de poblaciones se busca obtener líneas puras que manifestasen una alta heterosis entre ambos grupos heteróticos, es decir "*Liso europeo x Reid Yellow Dent*", que ha demostrado tener un buen comportamiento para producción en las condiciones gallegas donde se cultivan híbridos precoces (Moreno-González, 1988). La aptitud combinatoria de las líneas se prueba cruzándolas con un "*tester*". La evaluación de estos cruces se realiza en ensayos repetidos en varios ambientes. Este material de mejora conlleva el desarrollo de nuevas variedades altamente productivas, adaptados a fotoperiodo y con bajo encamado.

MATERIAL Y MÉTODOS

Material vegetal

El material vegetal utilizado partía de una población F2 derivada del cruce entre dos líneas puras del CIAM, el híbrido EC136xEC151. La línea EC136 es una selección precoz de la B73, después de cruzarla con la población precoz SSS-M del CIAM. B73 es la línea pura más valiosa existente actualmente y de la cual se han derivado muchas otras líneas puras utilizadas actualmente en los híbridos comerciales de maíz disponibles en el mercado. La línea EC151 proviene del cruce entre la A632 y la población precoz BS10-M del CIAM. Además esta línea ha mostrado ser la más resistente a la inoculación del hongo *Fusarium graminearum* Schwabe causante de la podredumbre de raíz (Moreno-González *et al.*, 2004), mientras que la línea pura EC136 ha mostrado tener una resistencia intermedia.

Este cruce EC136xEC151 fue elegido porque ambas líneas parentales pertenecen al mismo grupo heterótico "*Reid yellow dent*" y, por tanto, los genotipos derivados de esta población muestran una buena aptitud combinatoria cuando son cruzados con un *tester* del grupo heterótico recíproco, bien los de tipo "*Lancaster*" o los "*Flint*", manteniendo una razonable distancia genética entre ellos (Campo *et al.*, 2009).

En el año 2007, 2009 y 2010 se realizaron los cruces *testcross* de las 346 líneas de sus respectivas generaciones de autofecundación derivadas de la población EC136 x EC151F2 por el tester heterótico EC214, perteneciente a germoplasma liso. Las líneas S3, S4 y S5 fueron utilizadas como hembras y polinizadas en campos aislados utilizando como macho la línea pura EC214 que produce híbridos resistentes al encamado. Tanto los cruces como los híbridos experimentales y testigos pertenecen a ciclos 300.

Diseño de experimentos y evaluación fenotípica

Se realizaron tres ensayos en campo para la evaluación fenotípica en los años 2008, 2010 y 2011 en Mabegondo (A Coruña). El diseño experimental utilizado en el año 2008 fue un Látice 7x7 con tres repeticiones y 39 cruces (EC136xEC151)F2-S3 x EC214, tres híbridos experimentales del CIAM y siete híbridos testigos. En el año

2010 el diseño experimental fue un Látice rectangular 8x9 con tres repeticiones y 66 cruces (EC136xEC151)F2-S4 x EC214, un híbrido experimental y cinco híbridos testigos. En el año 2011 un diseño de bloques incompletos α -Látice 8x30 con dos repeticiones, 236 cruces (EC136xEC151)F2-S5 x EC214, un híbrido experimental y tres híbridos testigos. Todos los testigos son híbridos comerciales de alta adaptación en Galicia con ciclos 300. Tres de ellos, Anjou290, NKthermo y LG3303 fueron evaluadas en los tres años y seis cruces (EC136xEC151)F2-S5 x EC214 fueron evaluados en 2008 y 2010.

En los tres ensayos el tamaño de la parcela elemental fue de 7,2 m² y la densidad de siembra de 9 pl/m². El maíz se sembró la primera semana de mayo y la recolección a mediados de septiembre cuando se estimaba un contenido de materia seca en planta entera entre 35 y 38%. En ninguno de los años se regó y el abonado mineral aplicado fue de 125 kgN/ha en siembra y 75 kg N/ha en cobertera, cuando la planta de maíz presentaba de 4 a 5 hojas. El herbicida aplicado en siembra fue Lanceiro (acetacloro 35% + terbutilazina 17,5%) en el año 2009 a una dosis de 4,5 l/ha y Harness GTZ (acetacloro 45% + terbutilazina 21,4%) a una dosis de 4 l/ha en los años 2010 y 2008.

Los datos que se tomaron en las diferentes fases del desarrollo y en la recolección fueron: vigor temprano (VTE), floración femenina y masculina (FFEM y FMAS), número de plantas por parcela (Npl), porcentaje de plantas caídas o encamado (ENC), contenido de materia seca (MS) y la producción de materia seca (PMS). Se realizó un análisis estadístico combinado con los datos recogidos en los tres años de ensayos mediante el paquete estadístico SAS (SAS System, v.9.2). El análisis de varianza del porcentaje de encamado (ENC) se analizó con los valores transformados según la expresión $(ENC+0,5)^{1/2}$ para ajustarlo a una distribución normal (Steel and Torrie, 1985).

El conjunto de datos de los tres ensayos se analizaron mediante el procedimiento (PROC GLM), en el que los híbridos, 335 cruces de líneas derivadas de la población (EC136xEC151)F2 x EC214, más los cuatro híbridos experimentales, más los siete testigos, fueron el factor fijo mientras que los años, las repeticiones y los bloques dentro de las repeticiones fueron los factores aleatorios. Se estimaron las medias por mínimos cuadrados (LS). Para incrementar la precisión del análisis, las medias de producción de cada ensayo individual se ajustaron a la variable concomitante número de plantas ya que ligeras variaciones en el número de plantas de unas parcelas a otras pueden tener un efecto en el rendimiento. Además se estimó el error residual de cada año con el fin de realizar un análisis de varianza combinado, que fuera ponderado, por el inverso de la raíz cuadrada del error asociado al año. Esto nos permitió obtener medias LS con menor error asociado.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de PMS en el análisis de varianza combinado se expone en la tabla 1. Este análisis muestra que las diferencias entre los años y entre las medias

ajustadas por mínimos cuadrados de los híbridos fueron altamente significativas ($P < 0,0001$). También la variable Npl fue altamente significativa, lo que ayudó a obtener una mayor precisión en la estimación de las medias LS de RMS dentro del análisis combinado.

Tabla 1. Cuadrados medios de la producción de materia seca (PMS) de 335 cruces de maíz forrajero (EC136xEC151) F2 x EC214 más 4 híbridos experimentales y 7 testigos evaluados en tres años.

Fuente de variación	gl	CM	F	Pr>F
Año	2	382,00	375,63	<0,0001
Repetición(año)	5	36,20	35,60	<0,0001
Bloque(año*repetición)	100	4,24	4,17	<0,0001
Híbridos	345	1,19	3,14	<0,0001
Npl(año)	3	13,73	13,50	<0,0001
Error	387	1,02		
LS(5%)año		0,09		
LS(5%)híbridos		0,99		

Npl: nº de plantas. LS: mínimas diferencias significativas entre años e híbridos al 5%. gl: grados libertad.

Los resultados de PMS de las medias LS para los mejores híbridos aparecen en la tabla 2. La PMS media de los 335 cruces (EC136xEC151)F2 x EC214 fue de 12,93 tMS/ha; 14,3 tMS/ha para los híbridos experimentales y 13,49 tMS/ha para los testigos. 110 cruces (EC136xEC151)F2 x EC214 alcanzaron producciones superiores a la media de los híbridos testados. El cruce con mayor rendimiento fue el de la línea 306 con 18,55 tMS/ha. Otros ocho cruces (el de las líneas 256, 325, 229, 300, 30, 48, 170 y 209) superaron las 16 tMS/ha. La PMS media de las líneas (EC136xEC151)F2 x EC214 fue superior al conseguido por los ancestros (plantas F2) de estas líneas cruzadas por EC214 en otro estudio anterior, con rendimiento medio de 11,5 tMS/ha (Salleres, 2010).

Los cruces (EC136xEC151)F2 x EC214 fueron más precoces tanto en FFEM (82,3 días en los cruces vs 85,5 días en los testigos), como en FMAS (81,3 vs 86,3 días en los cruces y testigos respectivamente), y más vigorosos 3,7 vs 3,1 en cruces y testigos respectivamente. Las diferencias entre las medias del ENC y MS no fueron significativas entre cruces y testigos con valores de 2,3 y 2 en el ENC y 37 y 37,1% en MS (tabla 2).

Tabla 2. Medias ajustadas de la producción de materia seca en tMS/ha (PMS) y los caracteres agronómicos de 346 híbridos de maíz forrajero: 335 cruces (EC136xEC151)F2 x EC214 más 4 híbridos experimentales, más 7 testigos, evaluados en tres años.

Híbridos	PMS	MS	VTE	FFEM	FMAS	ENC	Híbridos	PMS	MS	VTE	FFEM	FMAS	ENC
306	18,55	35,8	4,3	86,4	85,1	2,2	76	14,37	34,2	3,0	82,0	80,5	1,9
256	16,92	38,6	4,0	81,4	81,0	2,3	299	14,37	40,8	4,2	80,3	81,1	2,5
325	16,85	36,4	3,4	86,3	83,0	2,6	267	14,37	37,3	2,9	87,4	85,7	3,0
229	16,75	41,6	4,6	81,6	81,1	2,3	349	14,25	38,8	3,6	81,6	81,1	2,0
300	16,72	42,1	4,2	83,6	83,0	2,2	61	14,25	41,6	4,7	81,3	80,5	2,8
30	16,42	41,2	3,2	86,1	84,5	2,3	93	14,17	35,3	4,0	81,7	79,9	2,5
48	16,24	35,4	3,2	83,9	82,8	1,8	195	14,15	40,7	3,9	80,8	80,2	2,3
170	16,14	38,8	4,3	81,2	80,2	2,1	139	14,15	37,1	4,1	80,1	78,7	2,1
209	16,13	38,3	4,0	82,9	81,8	2,2	249	14,12	41,1	3,6	82,6	82,2	2,3
53	15,88	38,7	3,8	83,3	82,1	2,7	207	14,10	35,1	3,8	81,8	79,9	2,0
237	15,87	39,0	4,1	81,2	81,2	2,6	134	14,09	39,3	3,8	81,8	80,6	2,3
275	15,86	35,3	4,2	80,8	80,3	2,1	51	14,08	32,8	3,7	85,8	84,6	2,2
116	15,74	39,0	4,4	81,7	82,0	2,2	165	14,08	35,9	3,6	80,8	79,9	2,0
52	15,70	37,1	3,9	86,5	84,8	2,2	219	14,07	39,1	4,6	79,2	78,2	2,2
224	15,56	34,8	3,5	82,8	82,4	2,2	77	14,06	34,3	3,6	82,5	80,1	2,2
308	15,50	34,9	2,7	83,4	82,3	2,7	22	14,06	39,8	4,4	80,6	80,4	2,3
340	15,49	36,0	4,0	85,2	85,0	2,3	113	14,04	38,2	4,3	79,9	79,2	2,2
149	15,47	39,5	4,3	84,1	83,5	2,3	319	14,03	37,3	3,9	82,5	81,7	2,2
240	15,46	40,4	4,7	80,4	80,4	2,3	181	14,02	34,5	3,9	84,5	82,9	3,4
298	15,43	36,4	4,4	81,1	79,4	2,3	255	14,00	36,2	4,2	85,7	83,8	2,7
163	15,42	36,3	4,5	80,2	80,3	2,1	201	13,99	38,8	4,2	80,6	80,9	2,2
17	15,40	36,3	4,2	80,7	80,5	2,2	98	13,96	37,0	4,2	82,5	80,6	1,8
147	15,22	37,1	5,0	82,7	82,1	2,6	89	13,94	34,8	3,8	86,7	85,5	2,3
118	15,21	35,3	4,5	83,1	83,6	2,4	276	13,93	34,3	4,3	82,8	82,1	2,1
210	15,11	39,5	5,0	81,2	80,9	2,2	277	13,92	39,6	4,4	82,3	80,9	2,2
167	15,10	36,0	3,2	81,0	79,1	2,0	127	13,90	36,1	3,7	80,5	80,4	3,1
283	15,09	34,3	3,9	83,3	82,2	2,3	245	13,89	37,2	4,0	83,3	82,6	2,3
268	15,08	33,4	3,0	83,4	83,4	2,8	239	13,88	38,6	5,0	81,0	80,1	2,7
115	15,07	36,8	3,6	84,5	83,7	2,2	153	13,86	36,8	3,0	82,7	82,8	2,2
7	15,04	35,2	3,0	83,4	82,4	2,0	141	13,84	38,2	4,2	84,2	83,7	2,9
192	15,00	36,7	3,7	81,6	81,5	2,3	73	13,83	40,0	3,3	81,7	81,3	2,3
185	14,97	40,1	4,0	81,4	80,3	1,9	327	13,82	36,6	3,9	83,6	82,1	2,6
197	14,82	38,2	4,4	81,6	80,9	2,8	265	13,79	35,0	2,6	84,5	82,1	1,9
136	14,80	34,3	3,4	83,8	83,1	2,4	251	13,79	39,1	4,1	82,1	81,8	2,3
216	14,74	31,1	3,1	85,3	84,8	1,9	122	13,77	34,9	4,2	84,0	83,4	2,6
43	14,74	36,1	4,5	81,0	79,7	2,4	142	13,75	34,4	4,0	82,1	80,7	2,0
64	14,70	33,7	3,7	83,7	81,9	2,2	290	13,74	34,2	3,1	83,3	80,0	2,5
44	14,64	40,5	4,4	81,2	81,0	2,2	326	13,71	40,5	4,8	81,0	80,3	2,7
57	14,61	36,9	4,5	83,2	82,4	2,3	9	13,71	38,8	3,5	83,9	83,6	2,2
342	14,60	36,0	4,0	81,4	81,0	3,1	280	13,69	34,4	3,2	83,7	79,9	1,9
351	14,60	35,2	3,6	80,7	79,1	2,5	125	13,68	37,9	3,2	80,9	79,9	2,2
160	14,59	34,4	2,7	83,3	82,3	3,1	175	13,67	37,4	3,8	81,3	80,2	2,2
72	14,57	36,6	3,6	83,0	81,8	2,2	157	13,67	34,1	4,5	82,2	81,6	2,6
179	14,52	33,9	3,1	83,7	81,4	2,3	232	13,64	36,8	4,0	84,2	84,8	2,2
259	14,49	38,0	4,1	82,4	81,2	2,3	62	13,64	35,5	4,3	81,7	79,7	2,5
10	14,48	42,6	4,5	80,4	79,9	2,2	95	13,64	38,2	4,6	82,3	79,9	2,2
146	14,47	37,4	4,4	79,6	79,4	2,5	272	13,63	34,6	3,5	81,7	80,1	2,9
287	14,46	36,4	3,2	83,3	81,5	2,3	Med.cruz	12,93	37,0	3,7	82,3	81,3	2,3
143	14,44	35,8	3,9	82,6	82,7	2,9	Med.tes	13,49	37,1	3,1	85,5	86,3	2,0
11	14,40	39,7	4,0	81,9	80,6	2,2	Med.h.exp	14,30	35,4	3,9	83,2	82,7	2,0
15	14,39	38,5	3,5	84,2	83,6	2,2	LS(5%)h	0,99	1,0	1,0	1,0	1,1	1,2
56	14,38	41,5	2,7	80,3	80,0	2,6	LS(5%)m	0,28	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3

PMS: rendimiento de materia seca (tMS/ha); MS: materia seca (%); VTE: vigor temprano (escala 1 a 5); FFEM, FMAS: floración femenina y masculina (días); ENC: Encamado transformado ($ENC - 0,5$)^{1/2}. LS: mínimas diferencias significativas entre híbridos (h) y entre la media de los cruces (EC136xEC151)F2S5)xEC214, testigos e híbridos experimentales (m). Med: media de los cruces (cruz), los híbridos experimentales (h exp) y los testigos (tes). Sólo se presentan los resultados de los 99 cruces con mayores producciones de los 335 cruces (EC136xEC151)F2)xEC214 evaluados.

CONCLUSIONES

Se han generado 335 cruces derivados de la población (EC136xEC151)F2, que han sido evaluados con el tester heterótico EC214. Se han encontrado varios cruces cuya producción forrajera supera las 16 tMS/ha. Estos cruces corresponden a las líneas 306, 256, 325, 229, 300, 30, 48, 170 y 209 (EC136xEC151)F2, con 18,55, 16,92, 16,85, 16,75, 16,72, 16,42, 16,24, 16,14 y 16,13 tMS/ha respectivamente. Estas producciones fueron superiores a la media (13,49 tMS/ha) de los siete híbridos comerciales utilizados como testigos. La identificación de estas líneas parentales de los cruces que han presentado mayor producción servirá para desarrollar híbridos y poblaciones de maíz forrajero adaptadas a las condiciones edafoclimáticas de Galicia.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la financiación recibida del INIA, Proyecto RTA2008-00104, así como al contrato de doctores del Sistema INIA-CCAA (L. Campo).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CAMPO L., MONTEAGUDO A.B. Y MORENO-GONZÁLEZ, J. (2009) Evaluación de híbridos experimentales para la producción de maíz grano. En: Reiné R. *et al.* (Eds) *La multifuncionalidad de los pastos: producción ganadera sostenible y gestión de los ecosistemas*, pp 407-412. Huesca, España: Sociedad Española para el Estudio de los Pastos
- MALVAR R.A., ORDÁS A., REVILLA P. Y CARTEA M.E. (1996) Estimates of genetic variances in two Spanish populations of maize. *Crop Science*, **36**, 239-242.
- MORENO-GONZÁLEZ J. 1988 Diallel Crossing System in Sets of Flint and Dent Inbred Lines of Maize (*Zea mays* L). *Maydica*, **33**, 37-49.
- MORENO-GONZÁLEZ J., ANDRÉS ARES J.L., ALONSO FERRO R. Y CAMPO RAMÍREZ L. (2004) Genetic and statistical models for estimating genetic parameters for maize seedling resistance to *Fusarium graminearum* Schwabe. *Euphytica*, **137**, 55-61.
- MORENO-GONZÁLEZ J., RAMOS-GOURCY F. Y LOSADA E. (1997) Breeding Potential of european flint and earliness-selected US Corn Belt dent maize populations. *Crop Science*, **37**, 1475-1481.
- SALLERES NEIRA M.B. (2010) *Utilización de marcadores moleculares para la selección y disección de caracteres cuantitativos de maíz grano y forrajero en las zonas húmedas de España*. Tesis doctoral. Universidad de A Coruña, España.
- SAS Institute Inc. (2008) *SAS/Stat User's Guide, Version 9.2*, Cary INC, NC, USA: SAS Institute Inc.
- STEEL, R.G.D. Y TORRIE, J.H. (1985) *Bioestadística: principios y procedimientos*. México DF, México: McGraw-Hill 2ª ed.

Evaluación de la aptitud combinatoria específica de líneas (EC136 x EC151)F2 para la producción de maíz grano

Evaluation of specific combining ability of (EC136 x EC151)F2 derived lines for maize grain yield

L. CAMPO / J. MORENO-GONZÁLEZ

Centro de Investigaciones Agrarias de Mabegondo (CIAM). Instituto Galego de Calidade Alimentaria (INGACAL). Apartado 10. 15080. A Coruña
laura.campo.ramirez@xunta.es

Resumen: El objetivo de este trabajo fue evaluar la Aptitud Combinatoria Específica de trescientas veinticuatro líneas aleatorias derivadas de la población (EC136xEC151)F2 mediante cruzamientos con un probador tester heterótico EC214. Estos cruzamientos más cinco híbridos experimentales y siete testigos fueron evaluados en tres años, estimándose los parámetros de rendimiento grano (REND) y valor agronómico con el fin de determinar las líneas con mejor índice de selección (IS) para producción de maíz grano. Sólo se han encontrado diferencias significativas entre las medias de los cruces (EC136xEC151)F2 x EC214 y los testigos para el REND y la floración femenina, siendo los cruces más precoces y menos productivos que los testigos. A pesar de ello 105 de los cruzamientos evaluados alcanzaron REND superiores a la media de los testigos (8,81 tMS/ha). Respecto al parámetro IS, el 34,6% de los cruces (EC136xEC151)F2 x EC214 superó la media de los testigos. Los cruces de las líneas parentales 288, 138, 54, 77, 65 y 118, así como el híbrido experimental EC215AxB73 superaron en más de un 20% a la media IS de los testigos. En vista de los resultados obtenidos podemos concluir que en general las líneas derivadas de la población (EC136xEC151)F2 presentaron buena aptitud combinatoria para la producción de maíz grano.

Palabras clave: *Zea mays* L., índice de selección grano, híbrido.

Abstract: The objective of this work was to evaluate the specific combining ability of 324 lines derived from the (EC136 x EC151)F2 population crossed to the heterotic inbred tester EC214. These testcrosses, five experimental hybrids and seven commercial hybrids were evaluated in three years for grain yield and other important agronomic traits, which were combined in a selection index (SI) to determine the lines with the best specific combining ability for hybrid performance. One hundred and five testcrosses yielded higher than the commercial hybrid mean (8,81 tDM/h), whereas 34.6% of the testcrosses were superior to the commercial hybrids mean for the SI trait. Testcrosses involving lines 288, 138, 54, 77, 65 and 118 and the experimental hybrid EC215AxB73, exceeded by more than 20% the commercial hybrid mean for SI. They can be considered as good hybrids for grain yield and lines derived from population (EC136 x EC151)F2 showed a good specific combining ability with tester EC214.

Key words: *Zea mays* L., grain selection index, hybrids.

INTRODUCCIÓN

En los últimos 40 años se han llevado a cabo procesos de mejora de maíz (*Zea mays* L.) donde a partir de la selección de material autóctono adecuado a las condiciones de la zona y material foráneo de alto rendimiento, se han desarrollado genotipos de maíz con caracteres favorables de interés, como son el rendimiento (Romay *et al.*, 2008), la resistencia a enfermedades, especialmente el vuelco o encamado (Moreno-González *et al.*, 2004), el taladro o la polilla (Sandoya *et al.*, 2010), y la maduración precoz o floración (Alvarez *et al.*, 2002), para su utilización en la zona húmeda del norte de España.

Los caracteres de naturaleza cuantitativa como el rendimiento, poseen muy baja heredabilidad y, por lo tanto, muestran dificultad en mostrar un proceso continuado

y sostenible de selección. El objetivo de los diferentes programas de selección es aumentar la frecuencia de alelos favorables que son responsables de los caracteres seleccionados. Una vez fijados estos alelos hay que cruzar poblaciones o líneas puras que combinen bien entre ellas, es decir, que muestren heterosis, y probarlas en ensayos con repeticiones y diferentes ambientes a fin de obtener híbridos altamente productivos y adaptados a la zona de producción.

MATERIAL Y MÉTODOS

346 poblaciones F2 del híbrido EC136xEC151 fueron utilizadas como material vegetal de partida. Las líneas puras EC136 y EC151 fueron descritas por Campo *et al.* (2009). En el año 2007, 2009 y 2010 se realizaron progresivamente los cruces *testcross* de las 346 líneas de sus respectivas generaciones de autofecundación derivadas de la población EC136 x EC151F2 por el tester heterótico EC214, perteneciente a germoplasma liso. Las líneas S3, S4 y S5 fueron utilizadas como hembras y polinizadas en campos aislados utilizando como macho la línea pura EC214 que produce híbridos resistentes al encamado. Este paso es necesario para producir suficiente cantidad de semilla del híbrido heterótico a fin de realizar los ensayos de evaluación.

Los ensayos se evaluaron en Puebla de Brollón (Lugo) durante tres años. En el año 2008 el diseño experimental fue un Látice 6x7 con tres repeticiones donde se evaluaron 32 cruces (EC136xEC151)F2-S3 x EC214, tres híbridos experimentales del CIAM y siete híbridos testigos. En el año 2010 el diseño experimental fue un Látice rectangular 8x9 con tres repeticiones y 66 cruces (EC136xEC151)F2-S4 x EC214, un híbrido experimental y cinco híbridos testigos, y en el año 2011 un diseño de bloques incompletos con dos repeticiones donde se evaluaron 232 cruces (EC136xEC151)F2-S5 x EC214, dos híbridos experimentales y tres híbridos testigos. Los híbridos comerciales Anjou290, NKthermo y LG3303, utilizados como testigos, fueron evaluadas en los tres años de ensayos y seis cruces (EC136xEC151)F2-S3 x EC214 más un híbrido experimental fueron evaluados en los años 2008 y 2010. En los tres ensayos el tamaño de la parcela elemental fue de 6,4 m² y la densidad de siembra de 7 pl/m².

En vegetación se tomaron datos de vigor temprano (VTE), días hasta la floración femenina (FFEM), porcentaje de encamado (ENC), porcentaje de humedad del grano en la recolección (HUM) y rendimiento grano (REND). El análisis de varianza del porcentaje de encamado (ENC) se realizó con los valores transformados según la expresión $(ENC+0,5)^{1/2}$ para ajustarlo a una distribución normal. El índice de selección (IS) fue calculado teniendo en cuenta el REND en porcentaje sobre la media del ensayo como efecto positivo, y las desviaciones ponderadas de ENC, HUM y FFEM respecto a sus medias respectivas como efectos negativos (Campo *et al.*, 2009).

El análisis de varianza se realizó mediante el procedimiento (PROC GLM) del programa estadístico SAS (SAS System, v.9.2) donde los híbridos, 324 cruces (EC136xEC151)F2 x EC214, más los 5 híbridos experimentales, más los 7 testigos, fueron considerados como factor fijo, mientras que los años, las repeticiones y los bloques dentro de las repeticiones fueron factores aleatorios. Las medias de cada híbrido fueron obtenidas por mínimos cuadrados (LSD). Para incrementar la precisión del análisis en

las medias de la producción de cada ensayo individual, se ajustaron a la variable concomitante número de plantas (Npl), a fin que las variaciones en el número de plantas por parcela no pueda afectar al rendimiento final. Además se estimó el error residual de cada año con el fin de realizar un análisis de varianza combinado, que fuera ponderado, por el inverso de la raíz cuadrada del error asociado al año. Esto nos permitió obtener medias LSD con menor error asociado.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el análisis de varianza combinado se han encontrado diferencias significativas entre los híbridos tanto para rendimiento como para el resto de caracteres agronómicos excepto en encamado (tabla 1). También hubo diferencias significativas entre los años de ensayos para REND, HUM, FFEM y ENC, pero no para VTE.

Las medias de los caracteres agronómicos y de rendimiento de los cruces de las líneas (EC136xEC151)F2 evaluadas son mostradas en la tabla 2. La producción media de los cruces fue de 8,2 t/ha frente a las 8,28 y 8,81 t/ha de los híbridos experimentales y testigos respectivamente, siendo estas diferencias significativas. A pesar de ello 105 cruces consiguieron REND superiores a la media de los testigos y 19 cruces obtuvieron producciones superiores a las 10 t/ha, destacando el cruce 288 con 11,63 t/ha. El REND medio de los 324 cruces evaluados fue superior al conseguido por varias líneas (EC136xEC151)F2-S3 cruzadas por EC214 en otro estudio anterior, ya que en este caso el rendimiento medio alcanzado fue de 6,81 tMS/ha (Campo *et al.*, 2009).

Tabla 1. Cuadrados medios del rendimiento grano (REND) y los caracteres agronómicos de 324 híbridos de maíz grano (EC136xEC151) F2 x EC214 más 5 híbridos experimentales y 7 testigos evaluados en tres años.

Fuente	gl	REND	HUM	VTE	FFEM	ENC
Año	2	27,02 ***	178,85 ***	2,22 ns	43,30 ***	9,74 ***
Repetición(Año)	5	5,09 ***	39,75 ***	166,41 ***	8,26 ***	2,10 ns
Bloque(año*repetición)	100	6,28 ***	7,20 ***	4,25 ***	4,66 ***	1,68 ***
híbridos	335	2,19 ***	3,04 ***	1,40 ***	1,87 ***	1,13 ns
Npl(año)	3	24,93 ***				
Error	376 [†]	0,99	1,04	0,99	1,00	0,99
LSD(5%)híbridos		0,98	1,00	0,98	1,20	0,98

REND: rendimiento grano (t/ha); HUM: humedad (%); VTE: vigor temprano (1-5); FFEM: floración femenina (días); ENC: encamado transformado $(ENC+0,5)^{1/2}$. [†] grados de libertad del error para REND (376) para resto caracteres (379). LSD: mínimas diferencias significativas entre híbridos al 5%. NPL: n° de plantas por parcela. Significación estadística *P<0,05; **P<0,01; ***P<0,001; ns: no significativo (P>0,05).

En cuanto a los caracteres agronómicos evaluados no se han encontrado diferencias significativas entre las medias de los cruces y los testigos excepto para la FFEM siendo más precoces los cruces (70,6 días) que los testigos (71,3 días). Los valores medios de vigor, humedad del grano en recolección y encamado fueron de 3,31, 28,93 y 1,36 para los cruces y 3,12, 28,72 y 1,31 para los testigos. En estudios anteriores (Campo *et al.*, 2009), no se encontraron diferencias significativas entre las medias de los cruces (EC136xEC151)F2-S3 x EC214 y la media de los testigos para los caracteres agronómicos de VTE, FFEM, ENC y HUM.

Tabla 2. Medias ajustadas del rendimiento, los caracteres agronómicos e índice de selección (IS) de 336 híbridos de maíz grano: 324 cruces (EC136xEC151)F2 x EC214, 5 híbridos experimentales, más 7 testigos, evaluados en tres años.

Híbrido	REND	HUM	VTE	FFEM	ENC	IS	Híbrido	REND	HUM	VTE	FFEM	ENC	IS
288	11,63	31,4	3,8	71,0	1,26	136	64	9,65	28,2	4,0	72,9	1,58	109
138	10,84	31,0	4,2	69,8	1,26	127	265	9,43	29,7	3,2	71,8	1,28	109
54	10,86	30,5	3,1	72,9	1,26	126	197	9,29	31,7	3,2	73,5	1,26	109
77	10,85	29,0	4,1	70,6	1,28	125	266	9,14	32,2	3,3	71,0	1,26	108
65	10,70	29,4	3,2	68,7	0,81	124	295	9,09	31,1	4,3	68,4	1,26	107
118	10,45	30,9	2,8	73,4	1,26	121	114	9,29	30,2	3,3	72,2	1,39	107
349	10,45	26,7	3,7	68,1	0,40	119	153	9,53	27,9	4,1	73,7	1,43	107
135	10,33	27,9	3,3	66,5	1,26	119	258	9,23	29,6	3,4	69,0	1,26	107
303	10,40	28,6	3,6	71,9	1,26	119	90	9,04	32,6	3,3	72,1	1,26	107
353	10,32	28,5	2,9	70,9	1,26	118	78	9,33	29,9	2,6	76,6	0,81	107
60	10,21	28,6	3,5	68,8	1,26	117	56	9,26	28,6	3,4	67,6	1,40	107
304	10,20	29,6	3,1	72,2	1,26	117	216	9,56	29,6	3,1	72,9	2,79	107
324	10,20	28,9	2,6	71,6	1,26	117	309	9,58	27,5	4,0	70,7	2,41	106
245	10,03	30,5	3,5	71,1	1,26	117	82	9,27	28,6	3,2	69,3	1,53	106
94	9,98	30,2	2,9	67,8	1,49	116	323	9,33	28,4	2,8	72,1	1,26	106
225	10,15	28,7	4,4	70,5	1,26	116	102	9,11	30,9	3,1	71,9	1,26	106
136	10,23	27,0	3,5	70,1	1,25	116	52	9,12	29,7	3,8	68,5	1,26	106
99	9,96	29,7	4,0	69,1	1,26	116	180	9,16	30,1	3,5	69,8	1,81	106
267	9,75	32,1	3,1	69,1	1,53	115	73	9,36	26,4	3,8	68,5	1,26	106
91	9,97	29,4	3,4	71,3	1,26	115	271	9,12	30,4	3,4	73,0	1,26	106
313	10,14	26,8	3,0	69,5	1,26	115	15	9,08	29,8	3,2	70,4	1,26	105
113	9,89	30,0	3,6	72,0	1,26	114	290	9,34	27,3	3,8	71,7	1,43	105
293	9,66	31,9	3,8	70,1	1,26	114	268	9,33	28,3	3,0	72,0	1,90	105
143	9,83	30,3	3,3	71,5	1,26	114	204	9,04	30,8	2,4	72,5	1,26	105
251	10,03	27,9	3,9	71,0	1,26	114	163	9,21	27,5	3,9	68,3	1,26	105
76	10,18	29,2	3,9	69,5	2,95	114	280	9,03	29,7	3,4	72,0	0,37	105
273	9,68	31,9	3,6	71,7	1,26	114	92	8,83	31,9	3,4	70,0	1,40	104
105	9,45	34,2	2,3	71,8	1,26	113	320	9,33	27,2	3,0	73,5	1,39	104
302	9,79	29,1	3,8	69,9	0,69	113	115	8,98	30,1	3,0	71,0	1,26	104
192	9,71	29,4	4,0	67,5	1,26	113	321	9,23	27,6	3,2	72,7	1,26	104
259	9,83	29,0	3,4	71,2	1,26	113	48	9,09	28,5	3,3	71,8	0,93	104
141	9,80	29,5	3,5	71,8	1,26	113	350	8,82	30,9	2,8	69,1	1,26	104
222	9,89	27,6	3,1	71,0	1,25	112	69	9,12	29,5	2,8	74,4	1,67	104
8	9,57	30,6	3,5	69,4	1,26	112	122	9,16	27,6	3,3	71,7	1,26	104
36	9,78	28,9	3,5	73,2	0,81	112	17	8,92	29,8	3,8	70,1	1,26	104
209	9,75	27,6	4,1	67,9	1,26	111	155	8,70	32,1	3,4	69,1	1,26	104
276	9,59	30,6	3,7	72,7	1,26	111	159	9,15	28,6	2,9	74,2	1,38	103
224	9,77	27,6	3,7	70,6	0,97	111	165	9,16	27,8	3,8	71,5	1,75	103
244	9,60	30,0	3,1	71,6	1,26	111	132	8,81	30,3	3,3	69,1	1,26	103
139	9,56	28,9	3,3	67,6	1,26	111	93	8,86	29,4	3,2	69,9	0,66	103
49	9,67	29,0	4,0	72,5	1,26	111	343	8,74	31,5	3,0	70,8	1,26	103
237	9,87	25,9	4,0	70,0	1,26	110	297	8,84	28,7	3,2	66,7	1,26	103
51	9,46	30,9	3,1	71,2	1,26	110	217	8,87	28,3	4,4	66,9	1,26	102
61	9,41	29,9	4,4	66,6	1,26	110	296	9,03	26,4	4,1	67,1	1,26	102
212	9,87	27,8	2,8	68,9	2,57	110	46	8,95	27,8	3,1	68,6	1,26	102
333	9,77	29,2	3,5	72,1	2,40	110	260	8,68	30,7	2,8	67,6	1,39	102
12	9,52	29,3	2,5	69,6	1,26	110	261	9,00	28,1	2,9	71,7	1,26	102
294	9,86	28,2	3,7	69,3	2,86	110	med. cruces	8,20	28,93	3,31	70,64	1,36	
116	9,34	30,9	2,8	70,6	1,26	109	med.hib.exp.	8,28	30,94	3,30	71,94	1,51	
62	9,48	29,1	3,1	71,1	1,02	109	med. testigos	8,81	28,72	3,12	71,28	1,31	
249	9,47	29,1	3,4	69,8	1,26	109	LSD(5%)h	0,98	1,00	0,98	1,20	0,98	
1	9,59	27,8	3,0	70,1	1,26	109	LSD(5%)m	0,24	0,24	0,24	0,29	0,24	
315	9,45	29,8	3,4	71,6	1,39	109	s.e	*	ns	ns	*	ns	

REND: rendimiento grano (t/ha); HUM: humedad (%); VTE: vigor temprano (escala 1 a 5); FFEM: floración femenina (días); ENC: encamado transformado (ENC%+05)^{1/2}. LSD: mínimas diferencias significativas entre híbridos (h) y entre la media de cruces, testigos e híbridos experimentales (m). s.e.: significación estadística *P<0,05; ns: no significativo (P>0,05). Sólo se presentan los resultados de los 100 cruces con mayores índices de selección de los 335 cruces (EC136xEC151F2)xEC214 evaluados.

El 34,6% de los cruces evaluados superaron el índice de selección de los testigos, y los cruces 288, 138, 54, 77, 65 y 118, superaron en más de un 20% a los híbridos testigos. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Campo *et al.* (2009), donde las líneas 77 y 65 evaluadas también alcanzaron altos IS (120 y 125 respectivamente). Los cruces 288, 138, 54, 77, 65 y 118 presentaron encamados nulos o muy bajos (inferiores en todos los casos al 1,2%) y fueron más precoces que la media de los testigos (71,3 días), excepto los cruces 54 y 118 que fueron más tardíos (72,9 y 73,4 días respectivamente). Estas líneas presentan cambios positivos en los caracteres de rendimiento grano, vigor, encamado y, en general, de precocidad, lo que ha contribuido a incrementar su índice de selección.

CONCLUSIONES

112 cruces (EC136xEC151)F2 x EC214 de los 324 evaluados alcanzaron IS para la producción de grano superior a los híbridos testados, lo que indica que, en general, las líneas (EC136xEC151)F2 presentan buena aptitud combinatoria. Han destacado por sus altos IS (superiores a 120), y por sus caracteres favorables de buen vigor temprano, bajo encamado y precocidad, las líneas 288, 138, 54, 77, 65 y 118, resultando buenas candidatas al proceso de selección de híbridos de alto rendimiento de grano. Partiendo de estas líneas con buena aptitud para la producción de grano, el siguiente paso consistiría en realizar más ensayos en diferentes ambientes con el fin de elegir con mayor precisión las líneas candidatas para formar los híbridos de alta producción.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación ha sido financiada por el INIA, Proyecto RTA2008-00104.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVAREZ A., COSTAR A., RUIZ DE GALARRETA J.I. Y ZURBANO D. (2002) Selección masal divergente para precocidad en una población sintética de maíz (*Zea mays*, L.). *Actas de Horticultura*, **34**, 387-392.
- CAMPO L., MONTEAGUDO A.B. Y MORENO-GONZÁLEZ J. (2009) Evaluación de híbridos experimentales para la producción de maíz grano. En: Reiné R. *et al.* (Eds) *La multifuncionalidad de los pastos: producción ganadera sostenible y gestión de los ecosistemas*, pp 407-412. Huesca, España, Sociedad Española para el Estudio de los Pastos
- MORENO-GONZÁLEZ J., ANDRÉS ARES J.L., ALONSO FERRO R. Y CAMPO RAMÍREZ L. (2004) Genetic and statistical models for estimating genetic parameters for maize seedling resistance to *Fusarium graminearum* Schwabe root rot. *Euphytica*, **137**, 55-61.
- ROMAY M.C., SANDOYA G., RODRIGUEZ V.M. Y ORDÁS, A. (2008) Selección recurrente recíproca en dos poblaciones españolas de maíz. *Actas de Horticultura*, **51**, 181-182.
- SANDOYA G., MALVAR R.A., SANTIAGO R., ALVAREZ A., REVILLA P. Y BUTRÓN A. (2010) Effects of selection for resistance to *Sesamia nonagrioides* on maize yield, performance and stability under infestation with *Sesamia nonagrioides* and *Ostrinia nubilalis* in Spain. *Annals of Applied Biology*, **156**, 377-386.
- SAS Institute Inc. (2008) *SAS/Stat User's Guide, Version 9.2*, Cary INC, NC, USA: SAS Institute Inc.

Respuesta de la cebada a la inoculación con micorrizas combinada con la fertilización mineral

Response of barley to mycorrhiza inoculation combined with mineral fertilization

A. GARCÍA-CIUDAD / M.A. JIMÉNEZ MATEOS / B.R. VÁZQUEZ-DE-ALDANA /
L. GARCÍA-CRIADO / B. GARCÍA-CRIADO

Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Salamanca (IRNASA-CSIC), Apdo. 257, 37071, Salamanca
antonia.gciudad@irna.csic.es

Resumen: Se ha realizado un ensayo en una zona semiárida de la provincia de Salamanca, para estudiar la respuesta de la cebada, como planta forrajera, a la inoculación con micorrizas, combinada con la fertilización mineral. Se controlaron los parámetros: producción de biomasa aérea (forraje), concentraciones de N, P y K, y extracciones de los tres elementos por la planta, referidas a unidad de superficie, en la fase fenológica de grano lechoso. Se consideraron dos dosis de fertilizante mineral, dos formulaciones comerciales en polvo como inoculantes, y un testigo sin aporte alguno. Los resultados mostraron que la adición de fertilizante mineral combinada con inoculantes micorrícicos, incrementó significativamente la producción de biomasa aérea y extracción de los tres elementos. Asimismo, se apreció un cierto efecto positivo por parte de la micorriza integrada por un mayor número de especies fúngicas. La fertilización no influyó de manera significativa ($p > 0,05$) en la concentración de N en la planta, pero dio lugar a una disminución en la de P.

Palabras clave: *Hordeum vulgare*, producción biomasa aérea, concentración nutrientes, extracción nutrientes.

Abstract: An experiment was established in a semiarid Mediterranean environment (Salamanca province) to determine the effect of mycorrhizal inoculants and mineral fertilization on barley crop. Dry matter (DM), N, P and K concentrations and N, P and K extractions were controlled at medium-milk phenological stage. A total of five treatments were considered: witness fertilization treatment (no fertilizer input), and two doses of NPK combined with the addition of two different mycorrhizal inoculants. The results showed that the addition of fertilizer combined with mycorrhizal inoculants significantly increased DM biomass and N, P and K extractions. A positive effect of the mycorrhizal with greater fungal species number and spores concentration was detected. Fertilization treatment did not produce significant effect on N concentration but it decreased P concentration.

Key words: *Hordeum vulgare*, biomass yield, nutrient concentrations, nutrient extractions.

INTRODUCCIÓN

El cultivo de la cebada (*Hordeum vulgare* L.) es el de mayor extensión de Castilla y León, tiene una gran diversidad de aplicaciones, entre las que cabe citar la utilización en alimentación animal como forraje asociada generalmente con avena o una leguminosa, o formando parte de las dietas en forma de pienso.

Los fertilizantes químicos nitrogenados incrementan significativamente la producción forrajera y de grano, pero el uso excesivo puede generar problemas medioambientales (Rivera *et al.*, 2010; Velázquez *et al.*, 2010). Además, el coste de este tipo de fertilizantes se ha ido incrementando, por lo que han surgido nuevas alternativas como la utilización de productos biológicos (biofertilizantes), que incluyen microorganismos como hongos micorrícicos (micorrizas). Éstos pueden jugar un papel importante para la sostenibilidad

de los ecosistemas y además tienen cierto potencial para favorecer la asimilación de nutrientes por las plantas (Johansen *et al.*, 1994), que facilita un aumento de la producción y mayor calidad biológica de ésta (Gárate y Bonilla, 2001). Asimismo, Fernández y Maldonado (2001) indican que las micorrizas mejoran la capacidad de la raíz para absorber iones de difusión lenta o iones que la planta requiere en cantidades elevadas, como fosfato, amonio, nitrato y K. Otro efecto beneficioso de las micorrizas es que contribuyen a la protección de las plantas frente a patógenos del suelo (Guerra Sierra, 2008).

En un ensayo realizado por nuestro grupo, sobre la influencia de las micorrizas asociadas a la fertilización mineral, en el estado nutricional de la planta (concentraciones de N, P y K de la hoja bandera), no se obtuvo una respuesta neta a las micorrizas aunque sí a los fertilizantes minerales (García-Ciudad *et al.*, 2011). Continuando con la investigación, en este trabajo se ha realizado un nuevo ensayo, simplificando los tratamientos de fertilización (mineral y micorrícicos). El objetivo fue estudiar el efecto de dos inoculantes micorrícicos asociados a dos niveles de fertilización mineral, sobre la producción de biomasa aérea y concentraciones y extracciones de N, P y K de la cebada cultivada en secano semiárido.

MATERIAL Y MÉTODOS

El experimento se llevó a cabo en una parcela de secano de zona semiárida, Finca experimental Muñovela del IRNASA-CSIC (Barbadillo, Salamanca). El suelo, clasificado según FAO como luvisol crómico, posee una textura areno-arcillosa y pH ácido (5,1).

La siembra se realizó en otoño de 2010, empleando 205 kg ha⁻¹ de semilla de cebada de dos carreras (*Hordeum vulgare* L. cv Volley), en líneas separadas entre sí aproximadamente 13 cm. En el diseño experimental se utilizaron parcelas elementales de 200 m x 12 m para cada tratamiento, separadas entre sí por un pasillo de 0,20 m. Cada parcela elemental se dividió en cuatro subparcelas (aproximadamente 600 m² cada una), separadas entre sí 0,50 m, que actuaron como repeticiones de cada tratamiento.

Se ensayaron dos tratamientos de fertilización mineral: a) F1, consistente en la adición en sementera de 100 kg ha⁻¹ de N-P-K (10-5-20) y en cobertera 400 kg ha⁻¹ de un fertilizante nitrogenado mixto (27% N; 29% SO₃). b) F2, que supuso una aplicación en sementera de 300 kg ha⁻¹ de N-P-K (10-5-20) y en cobertera 400 kg ha⁻¹ del mismo fertilizante nitrogenado mixto que en F1. Como inoculantes micorrícicos, se consideraron dos formulaciones comerciales en polvo: a) M1, inoculante compuesto por esporas de *Glomus intraradices* y *Glomus mosseae* y b) M2 que incluyó cinco especies de hongos, *G. intraradices*, *G. mosseae*, *G. claroideum*, *G. etunicatum* y *G. microaggregatum*. La cantidad total de inoculante aportada en los dos tratamientos (M1 y M2), fue la misma: 4 kg ha⁻¹, con una concentración total, en ambos tratamientos, de 200 esporas g⁻¹. La adición de ambos inoculantes se realizó directamente en la semilla, inmediatamente antes de la siembra. Cada tratamiento mineral (F1 y F2) se combinó con cada uno de los dos inoculantes M1 y M2 y, además, se consideró un tratamiento sin aporte alguno, como testigo (F0).

A mediados de la primavera de 2011 (19 de mayo) se tomaron muestras de biomasa aérea en las cuatro subparcelas de cada tratamiento, en la fase fenológica de grano en estado lechoso. Para ello se utilizó un cuadrado de 0,5 m de lado lanzado tres veces al azar y se cortaron las plantas contenidas en su interior, aproximadamente a 2 cm del suelo. Se determinó la producción de biomasa seca, por secado de las muestras a 60 °C en estufa de aire forzado. En las muestras, secas y molidas se analizó la concentración de N por el método clásico de destilación Kjeldahl, la de P espectrofotométricamente mediante el método del amarillo de vanado-molibdofosfórico y K por emisión en un equipo de absorción atómica. Se determinó la extracción de N, P y K, por la planta, multiplicando la producción de biomasa por la concentración de cada uno de ellos.

Los datos se analizaron mediante un análisis de la varianza (ANOVA) para determinar el efecto del tratamiento de fertilización sobre las concentraciones y extracciones de N, P y K (SPSS Statistics 19,0). Se utilizó el test de Duncan para la comparación de medias.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La fertilización mineral aplicada conjuntamente con inoculantes micorrícicos, incrementa significativamente ($p < 0,05$) la producción de materia seca de forraje de cebada (tabla 1). Las producciones llegan a cuadruplicarse con los aportes más altos de fertilizante mineral y que incluyen M2 (F2M2 = 711 g m⁻²) respecto al testigo (F0 = 179 g m⁻²).

Tabla 1. Efecto de la fertilización en la producción de forraje de cebada en la fase fenológica de grano lechoso.

Tratamiento	Producción de biomasa seca (g m ⁻²)			
	Rango	Valor medio	D.E.	C.V. (%)
F0	106 - 242	179 ^a	56,5	31,59
F1M1	492 - 600	534 ^b	46,2	8,66
F1M2	564 - 700	609 ^{bc}	61,7	10,14
F2M1	548 - 712	655 ^c	73,0	11,14
F2M2	552 - 828	711 ^c	115,3	16,21
Total	106 - 828	538	204,4	38,01

F0 = no adición de fertilizante; F1, F2 = fertilizante mineral; M1, M2 = micorrizas
Diferentes superíndices a, b, c indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos de fertilización.

Considerando la misma dosis de fertilizante mineral, se aprecia un cierto efecto positivo (aunque no estadísticamente significativo) de la micorriza M2 en la producción de forraje, que puede ser debido a que esta micorriza incluye mayor número de especies de hongos. El efecto positivo de M2 da lugar a que el incremento de fertilización mineral F2 no produzca efecto significativo respecto al F1M2, pero sí respecto al trata-

miento que lleva el otro inoculante (F1M1). Esto indica que el inoculante M2 tiene un potencial beneficioso para el cultivo que conllevaría la disminución de la aportación de abono mineral y supondría no solo un abaratamiento de los costes, sino también contribuiría a una mayor protección del medio ambiente. Estos resultados concuerdan con las afirmaciones de Gárate y Bonilla (2001) sobre el efecto positivo de la inoculación con micorrizas en el crecimiento de las plantas.

Respecto a la concentración de N no se aprecian diferencias significativas ($p > 0,05$) entre tratamientos (tabla 2). Ello puede ser debido a que el incremento en la dosis de fertilización nitrogenada lleva consigo un aumento en la producción de biomasa y por el efecto de dilución, no se traduce en un aumento en la concentración del elemento. No obstante, igual que ocurría con la producción de biomasa, los tratamientos que incluyen la micorriza M2 dan lugar a concentraciones de N ligeramente más altas que los correspondientes a M1. Se obtienen valores medios de 1,29 %-1,43 %.

Tabla 2. Efecto de la fertilización en las concentraciones de N, P y K, en forraje de cebada en la fase fenológica de grano lechoso.

T	N (%)			P (%)			K (%)		
	Rango	Media	C.V.	Rango	Media	C.V.	Rango	Media	C.V.
F0	1,00 - 1,43	1,29 ^a	15,67	0,18 - 0,27	0,23 ^b	16,27	0,92 - 1,12	0,99 ^c	9,50
F1M1	1,20 - 1,32	1,25 ^a	3,96	0,14 - 0,18	0,17 ^a	11,76	0,73 - 0,89	0,81 ^{ab}	8,89
F1M2	1,24 - 1,58	1,41 ^a	11,84	0,15 - 0,16	0,16 ^a	3,72	0,73 - 0,84	0,78 ^a	5,99
F2M1	1,21 - 1,43	1,34 ^a	7,18	0,12 - 0,16	0,14 ^a	11,98	0,82 - 1,16	0,94 ^{bc}	16,78
F2M2	1,36 - 1,54	1,43 ^a	5,58	0,14 - 0,16	0,15 ^a	6,49	0,94 - 1,06	0,98 ^c	5,80
Total	1,00 - 1,58	1,34	10,13	0,12 - 0,27	0,17	22,30	0,73 - 1,16	0,90	13,51

F0 = no adición de fertilizante; F1, F2 = fertilizante mineral; M1, M2 = micorrizas
Diferentes superíndices a, b, c indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos de fertilización.

La extracción de N por la planta, como cabía esperar, sigue una tendencia similar a la de producción de biomasa (tabla 3). Se obtienen también diferencias significativas ($P < 0,05$) entre F0 y el resto de los tratamientos. En este caso, el efecto de la dosis es mayor que en el de producción de biomasa, así, se obtienen extracciones de N 4,5 veces superiores con la dosis más alta de fertilizante, respecto al tratamiento sin aporte alguno ($10,08 \text{ g m}^{-2}$ vs. $2,25 \text{ g m}^{-2}$). En este parámetro se ve más claro el efecto de la micorriza M2 respecto a M1, de forma que para el mismo nivel de fertilización mineral, se obtienen extracciones de N significativamente más altas con el inoculante M2. Además, con el tratamiento F1M2 se consiguen extracciones similares a las de F2M1; ello indica que con una inoculación adecuada, puede disminuirse en cierta medida, el aporte de fertilización mineral. Los resultados concuerdan con Gárate y Bonilla (2001) en relación a que las micorrizas tienen potencial para mejorar la capacidad de la raíz para absorber determinados iones como fosfato, amonio, nitrato y potasio.

La fertilización produce un efecto depresivo significativo ($p < 0,05$) en la concentración de P de la planta (tabla 2). El valor medio obtenido sin aporte de fertilizante

(0,23%) es significativamente superior a los obtenidos con todos los tratamientos fertilizantes, no habiendo diferencias significativas entre dosis (valores medios comprendidos entre 0,14 % y 0,17%). Se confirma el efecto depresivo, al comparar los resultados entre tratamientos: las dosis más altas de fertilización mineral dan lugar a concentraciones de P más bajas, aunque las diferencias no lleguen a ser significativas.

Tabla 3. Efecto de la fertilización en las extracciones de N, P y K por la planta de cebada en la fase fenológica de grano lechoso.

T	N (g m^{-2})			P (g m^{-2})			K (g m^{-2})		
	Rango	Media	C.V.	Rango	Media	C.V.	Rango	Media	C.V.
F0	1,50 - 2,78	2,25 ^a	23,95	0,29 - 0,45	0,40 ^a	18,91	1,04 - 2,26	1,77 ^a	32,46
F1M1	6,03 - 7,89	6,68 ^b	12,53	0,73 - 1,08	0,91 ^b	15,70	3,58 - 5,32	4,35 ^b	17,00
F1M2	7,64 - 9,16	8,51 ^c	7,50	0,85 - 1,12	0,95 ^b	12,80	4,23 - 5,43	4,77 ^b	10,35
F2M1	7,81 - 9,36	8,70 ^c	7,79	0,82 - 1,08	0,93 ^b	12,63	5,62 - 6,48	6,10 ^c	6,57
F2M2	8,50 - 11,26	10,08 ^d	11,47	0,77 - 1,17	1,05 ^b	17,86	5,86 - 7,74	6,90 ^c	11,28
Total	1,50 - 11,26	7,24	39,77	0,29 - 1,17	0,85	31,24	1,04 - 7,74	4,78	39,49

F0 = no adición de fertilizante; F1, F2 = fertilizante mineral; M1, M2 = micorrizas
Diferentes superíndices a, b, c indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos de fertilización.

Al considerar la extracción de P por la planta, se produce el efecto contrario que en la concentración, la fertilización induce un aumento significativo en la extracción de este elemento, pero no de la magnitud que se producía con la extracción de N (tabla 3). Así, las de P consiguen ser dos veces y media superiores (valores medios $0,40 \text{ g m}^{-2}$ y $1,05 \text{ g m}^{-2}$). Sin embargo, no existen diferencias significativas entre tratamientos, aunque para un mismo nivel de fertilización mineral, M2 da lugar a extracciones de P ligeramente superiores a las de M1, de forma análoga a como ocurría con la producción de biomasa y extracción de N. Los resultados relativos a la extracción de este elemento, pueden justificarse por la interacción de los distintos factores que intervienen; por un lado las micorrizas favorecen la absorción de nutrientes (Johansen *et al.*, 1994; Fernández y Maldonado, 2001), pero altos niveles de NPK pueden afectar a la eficiencia de las mismas (Gianinazzi y Schüepp, 1994).

La fertilización no muestra una tendencia definida en la concentración de K (tabla 2). El tratamiento sin aporte alguno de fertilizante, da lugar a una concentración media del mismo orden de magnitud (0,99%) que los tratamientos más altos (0,98%). Los tratamientos con F1 disminuyen de forma significativa la concentración de K respecto del control. La extracción de este elemento por la planta, sigue una tendencia similar a la del N, pero más nítida (tabla 3), con diferencias significativas entre el tratamiento testigo con los demás, y entre dosis de fertilizante mineral. La extracción originada por las dosis más altas es aproximadamente cuatro veces superior ($6,90 \text{ g m}^{-2}$) a la obtenida con el tratamiento testigo ($1,77 \text{ g m}^{-2}$). También en este caso se pone de manifiesto la mayor efectividad de la micorriza M2 frente a la M1: al considerar el mismo tratamiento de fertilización mineral, las extracciones de K se ven favorecidas por M2.

CONCLUSIONES

La adición de fertilizante mineral combinado con inoculantes micorrícicos incrementa significativamente la producción de biomasa forrajera de cebada, así como la extracción de los elementos N, P y K. Se observa un cierto efecto positivo de la micorriza M2, compuesta por un mayor número de especies fúngicas, aunque el efecto sólo es significativo en la producción de biomasa aérea. La concentración de N no se ve afectada por la fertilización, la de P disminuye con el aumento de fertilizante, aunque la diferencia es sólo significativa con el testigo y con respecto a la de K no aparece una tendencia clara.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido subvencionado por la Empresa MIRAT Fertilizantes S.L.U. (Proy. Ref.: 080102_000020). La participación de M.A. Jiménez Mateos fue posible gracias a una beca de Titulado Superior en Prácticas, de la Junta de Castilla y León y Fondo Social Europeo, a través de la Fundación General de la Universidad de Salamanca. Se agradece la colaboración técnica de V.O. González y R. Muñoz Cenual.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- FERNÁNDEZ J.A. Y MALDONADO J.M. (2001) Absorción y transporte de nutrientes minerales. En: Azcón-Bieto J. y Talón M. (Eds) *Fundamentos de Fisiología Vegetal*, pp. 99-112. Madrid y Barcelona, España: McGraw-Hill/Interamericana de España.
- GARATE A. Y BONILLA I. (2001) Nutrición mineral y producción vegetal. En: Azcón-Bieto J. y Talón M. (Eds) *Fundamentos de Fisiología Vegetal*, pp. 113-130. Madrid y Barcelona, España: McGraw-Hill/Interamericana de España.
- GARCÍA-CIUDAD A., PETISCO C., VÁZQUEZ-DE-ALDANA B.R., JIMÉNEZ MATEOS M.A., GONZÁLEZ V.O., GARCÍA-CRIADO L. Y GARCÍA-CRIADO B. (2011) Influencia de micorrizas y fertilización mineral en el estado nutricional de la cebada. En: López-Carrasco C. *et al.* (Eds) *Pastos, paisajes culturales entre tradición y nuevos paradigmas del siglo XXI*, pp. 293-298. Getafe, Madrid, Sociedad Española para el Estudio de los Pastos.
- GIANINAZZI S.Y SCHÜEPP H. (1994) *Impact of arbuscular mycorrhizas on sustainable agriculture and natural ecosystems*. Basel, Switzerland: Birkhäuser Verlag.
- GUERRA SIERRA B.E. (2008) Micorriza arbuscular. Recurso microbiológico en la agricultura sostenible. *Tecnología en marcha*, **21**, 191-201.
- JOHANSEN A., JACOBSEN I. Y JENSSEN E.S. (1994) Hyphal N transport by a vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus associated with cucumber grown at three nitrogen levels. *Plant and Soil*, **160**, 1-9.
- RIVERA L.P., ROBLEDO M., MENÉNDEZ E. Y MATEOS P.F. (2010) Biofertilizantes... ¿En cereales? *Tierras: Agricultura*, **173**, 52-57.
- VELÁZQUEZ E., MATEOS P.F., PEIX A., RIVAS R., TRUJILLO-TOLEDO M.E., IGUAL ARROYO J.M. Y MARTÍNEZ-MOLINA E. (2010) Los rhizobia: biofertilizantes para leguminosas y no leguminosas. *Tierras: Agricultura*, **173**, 78-85.

La producción y el valor nutritivo del primer corte de la alfalfa crecida en invernaderos de gradiente térmico en condiciones de cambio climático varían con la cepa de *Sinorhizobium meliloti*

Yield and nutritional value of first-cutting alfalfa grown in temperature gradient greenhouses under future climate change scenarios depend on *Sinorhizobium meliloti* strain

A. SANZ-SÁEZ¹ / G. ERICE¹ / J. AGUIRREOLEA¹ / F. MUÑOZ² / M. SÁNCHEZ-DÍAZ¹ / J.J. IRIGOYEN¹

¹Departamento de Biología Vegetal, Sección Biología Vegetal (Unidad Asociada al CSIC, EEAD, Zaragoza e ICWV, Logroño) Facultades de Ciencias y Farmacia, Universidad de Navarra, c/Iruñiarrea 1, 31008 Pamplona, Spain
²Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón, Avda. de Montañana 930, 50059 Zaragoza, Spain. alvaro_ss@hotmail.com

Resumen: El objetivo del estudio fue analizar bajo distintos escenarios de simulación de cambio climático (CO₂ y temperatura elevados), el efecto de tres cepas de *Sinorhizobium meliloti*, en la producción, calidad y digestibilidad *in-vitro* de la alfalfa. Las alfalfas más productivas en su primer corte durante el mes de noviembre fueron las inoculadas con la cepa 102F34, seguidas por la 102F78 y la 1032GMI. El CO₂ y la temperatura elevados aumentaron el contenido en fibras, disminuyendo la digestibilidad *in-vitro* de la materia seca en las plantas inoculadas con las cepas 102F78 y 1032GMI. La proteína bruta, un indicador de la calidad del forraje, descendió en condiciones de CO₂ y temperatura elevados, independientemente de la cepa inoculada. Si bien las plantas inoculadas con la cepa 102F78 produjeron forraje con mayor concentración de proteína bruta, la mayor digestibilidad obtenida con la cepa 102F34, hizo que de las tres cepas analizadas, sea ésta la más adecuada en el escenario de cambio climático estudiado.

Palabras clave: dióxido de carbono, alta temperatura, invernaderos de gradiente térmico, digestibilidad *in-vitro* de la materia seca.

Abstract: Elevated CO₂ may decrease alfalfa forage quality and *in-vitro* digestibility through a drop in crude protein and an enhancement of fibre content. The aim of the present study was to analyze the effect of elevated CO₂, elevated temperature and *Sinorhizobium meliloti* strains on alfalfa yield, forage quality and *in-vitro* dry matter digestibility. Shoot dry matter under elevated CO₂ and temperature was different depending on the *S. meliloti* strain, with 102F34 inoculated plants being the most productive, followed by 102F78, and then 1032GMI. Plants inoculated with the 102F34 strain did not enhance neutral or acid detergent fibre under elevated CO₂ or temperature and hence, *in-vitro* dry matter digestibility was unaffected. Crude protein content, an indicator of forage quality, was negatively related to shoot yield. Plants inoculated with 102F78 showed a similar shoot yield to those inoculated with 102F34, but had higher crude protein content at elevated CO₂ and temperature. Under these climate change conditions, 102F78 inoculated plants produced more quality forage. However, the higher digestibility of plants inoculated with the 102F34 strain under any CO₂ or temperature conditions, makes them more suitable for growing under applied experimental climate change conditions.

Key words: carbon dioxide, high temperature, temperature gradient greenhouses, *in-vitro* dry matter digestibility.

INTRODUCCIÓN

Según el IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) la concentración atmosférica de CO₂ pasará de 392 µmol mol⁻¹ a 700 µmol mol⁻¹ para finales de siglo. Asimismo, el calentamiento global producido por el incremento del CO₂ podría aumentar la temperatura media del planeta en 4 °C (IPCC, 2007).

Las plantas en ambientes con CO₂ elevado durante largos periodos de tiempo disminuyen la fotosíntesis (aclimatación fotosintética) y, como consecuencia, la producción. Sin embargo, se ha descrito que la respuesta al CO₂ elevado depende de diversos factores, como disponibilidad de N, temperatura, intensidad de luz, etc. (Aranjuelo *et al.*, 2005); observándose que la alta temperatura aumenta la producción de alfalfa expuesta a CO₂ elevado. La disponibilidad de N es otro factor crítico, que limita la fotosíntesis y el crecimiento en condiciones de CO₂ elevado. Así, un aporte extra de N puede evitar la aparición de la aclimatación fotosintética (Sanz-Sáez *et al.*, 2010). La disminución del contenido de N de la parte aérea crecida en una atmósfera de CO₂ elevado, se correlaciona con la calidad del forraje, ya que un descenso en el contenido de N, implica una caída en el contenido de proteína bruta (CP) (Campbell *et al.*, 2000). El CO₂ elevado también incrementa el contenido en fibras, disminuyendo su digestibilidad *in-vitro* para el ganado y, por tanto, su calidad.

La alfalfa en simbiosis con bacterias del género *Sinorhizobium*, al poseer una fuente extra de N, suele mostrar mayor estimulación de la fotosíntesis y crecimiento en CO₂ elevado (Aranjuelo *et al.*, 2005). Por lo tanto, la inoculación con cepas de *S. meliloti* altamente eficientes, podría inhibir la aparición de la aclimatación fotosintética y aumentar la producción y calidad de la alfalfa crecida en CO₂ elevado (Bertrand *et al.*, 2007).

El objetivo de este trabajo, fue analizar el efecto del CO₂ elevado, la alta temperatura y la cepa de *S. meliloti* en la producción, calidad y digestibilidad *in-vitro* del primer corte de plantas de alfalfa en su primer año de crecimiento.

MATERIAL Y MÉTODOS

Material biológico y diseño experimental

El experimento se llevó a cabo entre el 20 de septiembre (siembra) y el 20 de noviembre de 2009 (cosecha final) en invernaderos de gradiente térmico (IGT) (Aranjuelo *et al.*, 2005). Se sembraron plántulas de *Medicago sativa* cv. Aragón en macetas de 13 L y se inocularon con las diferentes cepas de *S. meliloti*. A plántulas de 30 días de edad se les aplicaron doce tratamientos resultantes de la combinación lineal de: CO₂ (ambiente vs 700 μmol mol⁻¹), temperatura ambiente vs ambiente + 4 °C y cepa de *S. meliloti* (102F78, 102F34 y 1032GMI). La temperatura media del periodo luminoso durante todo el experimento fue de 13,9°C en el tratamiento ambiente (correspondiendo a 750 grados-día) y de 4°C más en el tratamiento de temperatura elevada (870 grados-día). El fotoperiodo osciló entre 12,18 horas el 20 de septiembre a 9,36 horas el 20 de noviembre. Las plantas con una altura media de 50 cm, se cosecharon al inicio de la floración (67 días de edad). Se analizó el primer corte y el experimento se repitió dos años consecutivos, utilizándose 4 macetas por tratamiento/año.

Crecimiento, contenido en fibras, digestibilidad *in-vitro* de la materia seca, contenido en N y carbohidratos no estructurales

Hojas y tallos se cosecharon, se secaron a 60 °C en estufa y se determinó la materia seca de la parte aérea (SDM). Para los análisis de fibra neutro detergente (NDF)

y fibra ácido detergente (ADF) se utilizó espectroscopia de reflectancia de infrarrojo cercano (NIRS, FOSSNIR Systems 6500, Silver Spring, MD, USA). Más detalles sobre la técnica y calibración en Van Soest *et al.*, 1991. La digestibilidad *in-vitro* de la materia seca (IVDMD) se determinó mediante el método de la pepsina-celulasa (Aufrère y Demarquilly, 1989). El N se determinó con un analizador elemental (EA1108, Series 1, Carlo Erba Instrumentazione, Milan, Italy), y expresó como mg g SDM⁻¹. El contenido de proteína bruta (CP) se calculó como el contenido en N x 6,5. Los carbohidratos no estructurales (NSC), se calcularon como la suma del contenido de azúcares solubles totales (AST) (Yemm y Willis, 1954) y almidón (Jarvis y Walker, 1993).

Análisis estadístico

Se realizó mediante un ANOVA de tres factores (factorial 2 x 2 x 3) (SPSS v.15.0) (CO₂ primero, temperatura segundo y cepa tercer factor respectivamente).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El CO₂ elevado no aumentó la materia seca de la parte aérea (SDM) en temperatura ambiente. La combinación de CO₂ y temperatura elevados resultó en una mayor SDM (fig. 1). Esto concuerda con estudios previos, en los que se demuestra que el efecto del CO₂ sobre el crecimiento aumenta en alta temperatura (Aranjuelo *et al.*, 2005). La combinación alfalfa-*Sinorhizobium* que más producción presentó, fue la inoculada con la cepa 102F34 (40,5% del total de la SDM producida por todas las plantas), seguida de 102F78 (34,7%) y 1032GMI (24,8%) (fig. 1). Esta diferencia en la SDM producida por las diferentes cepas, pudo deberse a diferencias en el coste de C de la fijación de N₂.

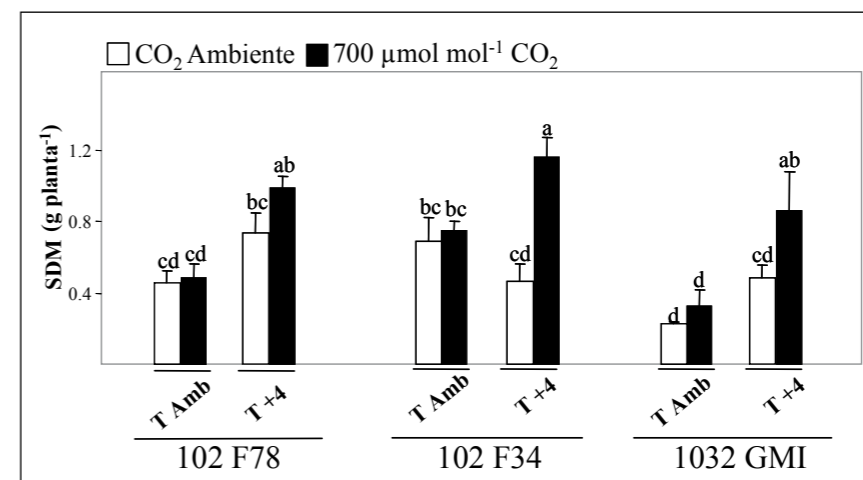


Figura 1. Efecto del CO₂ (ambiente, alrededor de 400 μmol mol⁻¹ o elevado, 700 μmol mol⁻¹), temperatura (ambiente o ambiente +4°C) e inoculación con *S. meliloti* (102F78, 102F34 y 1032GMI) en la materia seca de la parte aérea (SDM, g DM planta⁻¹). Las barras representan la media ± SE; n = 4. Las barras con distinta letra son significativamente diferentes (P ≤ 0,05) de acuerdo con el test LSD.

El CO₂ elevado en temperatura ambiente, aumentó el contenido de NDF y ADF con la cepa 102F78, no mostrándose descenso en la digestibilidad *in-vitro* de la materia seca (IVDMD) (fig. 2). Por el contrario, al someter las plantas al tratamiento de temperatura elevada, el contenido de NDF y ADF aumentó para todas las cepas tanto en CO₂ ambiente como elevado; observándose descenso de la IVDMD con las cepas 102F78 y 1032GMI (fig.2). Estos resultados apoyan los obtenidos por Bertrand *et al.* (2007), que observaron que la variación de ADF y NDF en condiciones de CO₂ elevado, es dependiente de la cepa inoculada. Este aumento en el contenido en fibras con CO₂ y temperatura elevados, se suele asociar a un aumento en el contenido de lignina, principal causante de la baja digestibilidad del forraje (Van Soest, 1994). Con la cepa 102F34 se produjo el forraje más adecuado para el consumo animal desde el punto de vista del contenido de fibras y digestibilidad.

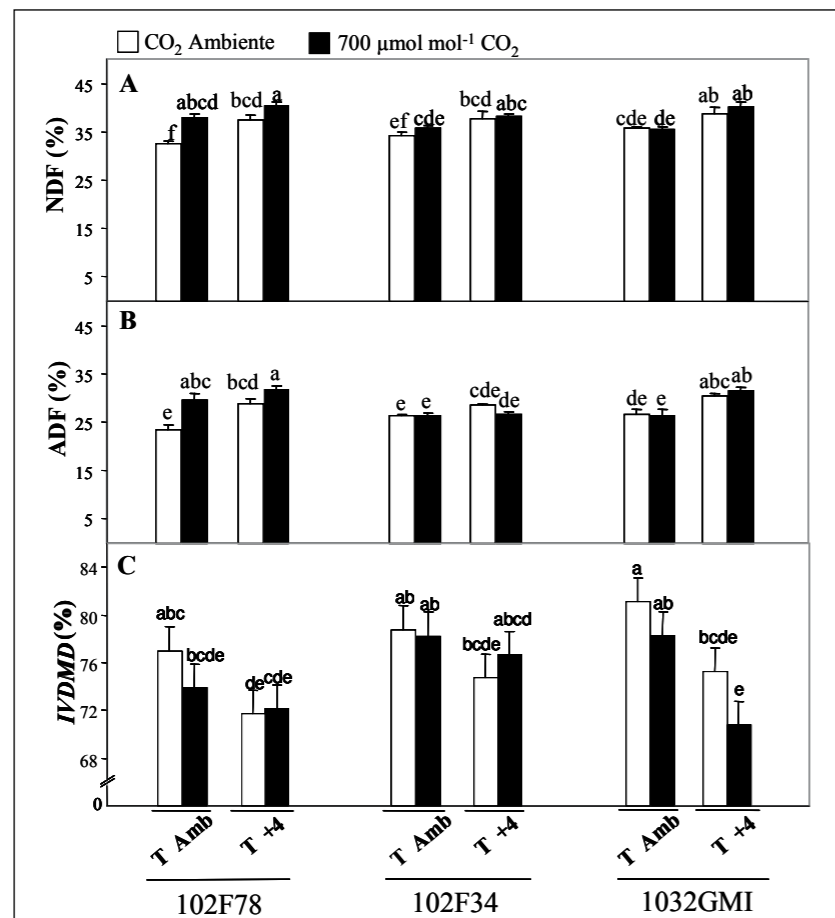


Figura 2. Efecto del CO₂ (ambiente, alrededor de 400 μmol mol⁻¹ o elevado, 700 μmol mol⁻¹), temperatura (ambiente o ambiente +4°C) e inoculación con *S. meliloti* (102F78, 102F34 y 1032GMI) en el contenido fibra neutro detergente (A) (NDF, porcentaje respecto DM), fibra ácido detergente (B) (ADF, porcentaje respecto DM) y digestibilidad *in-vitro* de la materia seca (C) (IVDMD, porcentaje respecto DM). Lo demás como en la figura 1.

Es conocido que el contenido en proteína bruta (CP), es uno de los indicadores de calidad más importantes del forraje. En este estudio, al igual que en el realizado por Milchunas *et al.* (2005), el CO₂ y temperatura elevados descendieron el contenido en CP con todas las cepas, por lo que la calidad del forraje se redujo (fig. 3). La disminución en CP fue debida al efecto directo del CO₂ y no a un efecto de dilución asociado al aumento de carbohidratos no estructurales (NSC). Fisher *et al.* (2002) relacionaron el aumento del contenido de NSC en condiciones de CO₂ elevado, con un aumento de la digestibilidad y calidad del forraje. En el presente estudio, el contenido de NSC permaneció constante en los tratamientos de CO₂ y temperatura elevados (fig. 3), por lo tanto la calidad del forraje no mejoró en este aspecto. El contenido de CP se correlacionó negativamente con la SDM, ya que los tratamientos que más SDM mostraron, fueron los que menor contenido de CP presentaron.

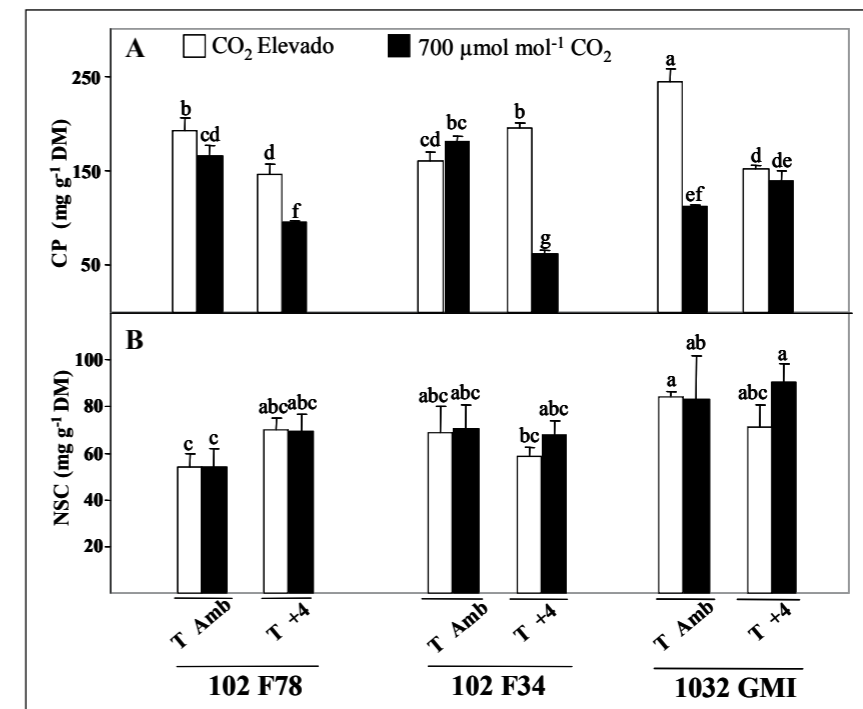


Figura 3. Efecto del CO₂ (ambiente, alrededor de 400 μmol mol⁻¹ o elevado, 700 μmol mol⁻¹), temperatura (ambiente o ambiente +4°C) e inoculación con *S. meliloti* (102F78, 102F34 y 1032GMI) en el contenido de proteína bruta (A) (CP, mg g⁻¹ DM) y carbohidratos no estructurales (B) (NSC, mg g⁻¹ DM). Lo demás como en la figura 1.

CONCLUSIONES

El efecto del CO₂ y la temperatura sobre SDM fue dependiente de la cepa inoculada, siendo las plantas inoculadas con 102F34 las más productivas en su primer corte, seguidas de 102F78 y 1032GMI. La temperatura elevada indujo aumento en NDF y ADF en las plantas inoculadas con 102F78 y 1032GMI, que repercutió en una bajada

de IVDMD; mientras que en las inoculadas con 102F34 este valor no se vio afectado. El contenido en CP disminuyó con el CO₂ y la temperatura elevados, siendo las plantas inoculadas con 102F34 las que menor CP presentaron. En las condiciones estudiadas, las plantas inoculadas con 102F78 presentaron mayor calidad (CP) respecto a la cantidad de forraje producido. Sin embargo, las inoculadas con 102F34 al ser más digeribles bajo cualquier condición de CO₂ o temperatura, fueron más adecuadas para su crecimiento en las condiciones de cambio climático estudiadas

AGRADECIMIENTOS

Ministerio de Ciencia e Innovación (MICINN BFU2008-01405 y BFU2011-26989), Fundación Universitaria de Navarra (PIUNA-2008), Fundación Caja Navarra y Asociación de Amigos de la Universidad de Navarra.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARANJUELO I., IRIGOYEN J.J., PÉREZ P., MARTÍNEZ-CARRASCO R. Y SÁNCHEZ-DÍAZ M. (2005) The use of temperature gradient tunnels for studying the combined effect of CO₂, temperature and water availability in N₂ fixing alfalfa plants. *Annals of Applied Biology*, **146**, 51-60.
- AUFRÈRE J. Y DEMARQUILLY C. (1989). Predicting organic matter digestibility of forage by two pepsin cellulose methods. *Proceedings of the International Grassland Congress*, pp. 877-878. Nice, France.
- BERTRAND A., PRÉVOST D., BIGRAS F.J., LALANDE R., TREMBLAY G.F., CASTONGUAY Y. Y BÉLANGER G. (2007) Alfalfa response to elevated atmospheric CO₂ varies with the symbiotic rhizobial strain. *Plant and Soil*, **301**, 173-187.
- CAMPBELL B.D., STAFFORD-SMITH D.M. Y GCTE. (2000) Pastures and Rangelands Network members. A synthesis of recent global change research on pasture and rangeland production: reduced uncertainties and their management implications. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, **82**, 39-55.
- FISHER D.S., MAYLAND H.F. Y BURNS J.C. (2002) Variation in ruminants preference for tall fescue hays cut either at sundown or at sunup. *Journal of Animal Sciences*, **77**, 762-768.
- IPCC. (2007) Intergovernmental panel on climate change, WMO, UNEP. *Climate change 2007. The physical science basis. Summary for policymakers*. IPCCWGI Fourth Assessment Report. SPM2feb07.
- JARVIS C.E. Y WALKER J.R.L. (1993) Simultaneous, rapid, spectrophotometric determination of total starch, amylose and amylopectin. *Journal of the Science of Food and Agriculture* **63**, 53-57.
- MILCHUNAS D.G., MOISER A.R., MORGAN J.A., LECAIN D.R., KING J.Y. Y NELSON J.A. (2005) Elevated CO₂ and defoliation effects on shortgrass steppe: Forage quality versus quantity for ruminants. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, **111**, 166-184.
- SANZ-SÁEZ A., ERICE G., ARANJUELO I., NOGUES S., IRIGOYEN J.J. Y SÁNCHEZ-DÍAZ M. (2010) Photosynthetic down-regulation under elevated CO₂ exposure can be prevented by nitrogen supply in nodulated alfalfa. *Journal of Plant Physiology*, **167**, 1558-1565.
- UNITED NATIONS POPULATION DIVISION (2010) *World Population Projections to 2150*. New-York: United Nations.
- VAN SOEST P.J. (1994) *Nutritional Ecology of Ruminant*. Ithaca, USA: Cornell University Press.
- VAN SOEST P.J., ROBERTSON J.B. Y LEWIS B.A. (1991) Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and non starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, **74**, 3583-3597.
- YEMM E.W. Y WILLIS A.J. (1954) The estimation of carbohydrates in plant extracts by anthrone. *Biochemical Journal*, **57**, 508-514.

Producción forrajera del cultivo de especies autóctonas de Canarias

Forage crop production of native species from the Canary Islands

E. CHINEA¹ / C. BATISTA¹ / J.L. MORA² / A. GARCÍA-CIUDAD³ / B. GARCÍA-CRIADO³

¹Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agraria, Departamento de Edafología y Geología Universidad de La Laguna, Tenerife, España

²Departamento de Agricultura y Economía Agraria (Universidad de Zaragoza)

³Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Salamanca (IRNASA, CSIC, España) echinea@ull.es

Resumen: Se estudiaron cinco especies autóctonas de la Reserva de Biosfera de Lanzarote (*Atriplex halimus*, *Bituminaria bituminosa* var. *albomarginata*, *Coronilla viminalis*, *Echium decaisnei* y *Lotus lancerottensis*). El ensayo se realizó en una parcela ubicada en el Centro de Día "Zonzamas" (Lanzarote) a unos 105 msnm. Se realizaron tres cortes (invierno y primavera de 2010 e invierno de 2011). Se observó la biometría, la fracción ramoneable, porcentaje de materia seca y producción de materia seca comestible. La especie *L. lancerottensis* fue la de menor supervivencia (30%) y mayor porcentaje de materia seca. La de mayor producción fue *B. bituminosa* var. *albomarginata* (2,11 t/ha y corte) y *C. viminalis* la de menor producción (0,77 t/ha y corte).

Palabras clave: Reserva de la Biosfera, Lanzarote.

Abstract: Five autochthonous species from the Lanzarote Biosphere Reserve have been studied (*Atriplex halimus*, *Bituminaria bituminosa* var. *albomarginata*, *Coronilla viminalis*, *Echium decaisnei* and *Lotus lancerottensis*). The essay was carried out in an area located in the Day Centre "Zonzamas" (Lanzarote) at around 105 m above sea level. Three cuts were made: in winter and spring during 2010 and also in the winter of 2011. Biometry, edible fraction, dry matter percentage and edible dry matter production were studied. *L. lancerottensis* specie was the one with a lower survival ratio (30%) and higher dry matter percentage. The specie with a higher production was *B. bituminosa* var. *albomarginata* (2.11 t/ha and cut) while *C. viminalis* was the one showing the lower production (0.77 t/ha and cut).

Key words: Biosphere Reserve, Lanzarote.

INTRODUCCIÓN

En las Islas Canarias el abandono de las tierras de cultivo y los incendios forestales exigen actuaciones para prevenir la desertificación. La Fundación Canaria para la Reforestación (Foresta) advierte que Canarias es una de las comunidades con más riesgo de desertización, con más del 90% del suelo del Archipiélago considerado en grave riesgo (Europa Press, 2009). Una solución es la revegetación del suelo con cubiertas permanentes para minimizar la erosión y mejorar los valores estéticos y paisajísticos. Las especies autóctonas son las plantas idóneas para estas áreas, por tener una serie de características favorables como: su rápido crecimiento y enraizamiento profundo, alta tolerancia a la sequía, restauran y regeneran el suelo, previniendo su erosión (China *et al.*, 2004) y son fuente de alimento de alta calidad para el ganado en los periodos de escasez de forraje.

El objetivo de este trabajo fue el estudio de cinco especies forrajeras de la Reserva de Biosfera de Lanzarote, en una finca experimental, para proponer un sistema de aprovechamiento de especies autóctonas de interés para regiones áridas y semiáridas.

MATERIAL Y MÉTODOS

Para la recogida de germoplasma de las cinco especies (*Atriplex halimus*, *Bituminaria bituminosa* var. *albomarginata*, *Coronilla viminalis*, *Echium decaisnei* y *Lotus lancerottensis*) se eligieron 16 poblaciones, en su hábitat natural y en zonas de difícil acceso en terreno montañoso. Las propiedades edáficas, climáticas y las especies acompañantes fueron descritas por China *et al.* (2011).

Banco de germoplasma

Tres poblaciones de *A. halimus*. Pie de Famara (UTM X:643.054; Y:3.223.061) a 250 msnm. Punta Mujeres, UTM X:651.442; Y:3.225.411 a 5 msnm. Caletón Blanco, UTM X:652.209; Y:3.232.084 a 5 msnm.

Cuatro poblaciones de *B. bituminosa* var. *albomarginata*. Pie de Famara, UTM X:642.986; Y:3.223.057 a 100 msnm. Cortijo Señor Eusebio, UTM X:644.700; Y:3.221.399 a 559 msnm. Galería Chafarí, UTM X:645.202; Y:3.222.566 a 265 msnm. Barranco de Tenegüime, UTM X: 646.439; Y:3.218.690 a 111 msnm.

Tres poblaciones de *C. viminalis*. Pie de Famara, UTM X:643.024; Y:3.223.052 a 131 msnm. Castillo de Guanapay, UTM X:641.670; Y:3.215.944 a 99 msnm. Los Valles, UTM X:643.535; Y:3.217.715 a 327 msnm.

Tres poblaciones de *E. decaisnei*. Pie de Famara, UTM X:643.034; Y:3.223.033 a 115 msnm. Femés, UTM X:619.268; Y:3.199.156 a 320 msnm. Mácher, UTM X:627.357; Y:3.202.801 a 213 msnm.

Tres poblaciones de *L. lancerottensis*. Galería Chafarí, UTM X:645.102; Y:3.222.545 a 376 msnm. Charco del Palo, UTM X:650.707; Y:3.218.094 a 13 msnm. Uga, UTM X:624.024; Y:3.203.084 a 230 msnm.

Finca experimental

Las semillas fueron recolectadas en julio de 2008 y germinadas en contenedores forestales (febrero 2009). Las plántulas se mantuvieron durante cinco meses en un invernadero. El trasplante a la parcela fue realizado en julio de 2009. La parcela de 1 387 m² ubicada en el Centro de Día "Zonzamas" (Lanzarote) a unos 105 msnm y con unas coordenadas UTM X:640.202; Y:3.208.902. La parcela presentaba un sistema tradicional de enarenado (mulching), consistente en una capa de material basáltico de 20 cm. La plantación se llevó a cabo con un marco de 1,5m x 1,5m con una densidad de plantación de 4 444 plantas/ha y un diseño estadístico de bloques al azar con cuatro repeticiones para cada especie. Las plantas fueron irrigadas con goteros, el primer año con una dosis de 1,33 mm/mes y planta. Y el segundo años la dosis se redujo a la mitad (0,66 mm/mes y planta). La calidad del agua de riego según las normas de Riverside fue C2-S1, con salinidad media apta para el riego. Las condiciones climáticas durante el ensayo (junio 2009 a enero 2011) fue de una temperatura media de 21,1 °C y unas precipitaciones medias de 122 mm (fig. 1). Las plantas anuales se eliminaron con segadora.

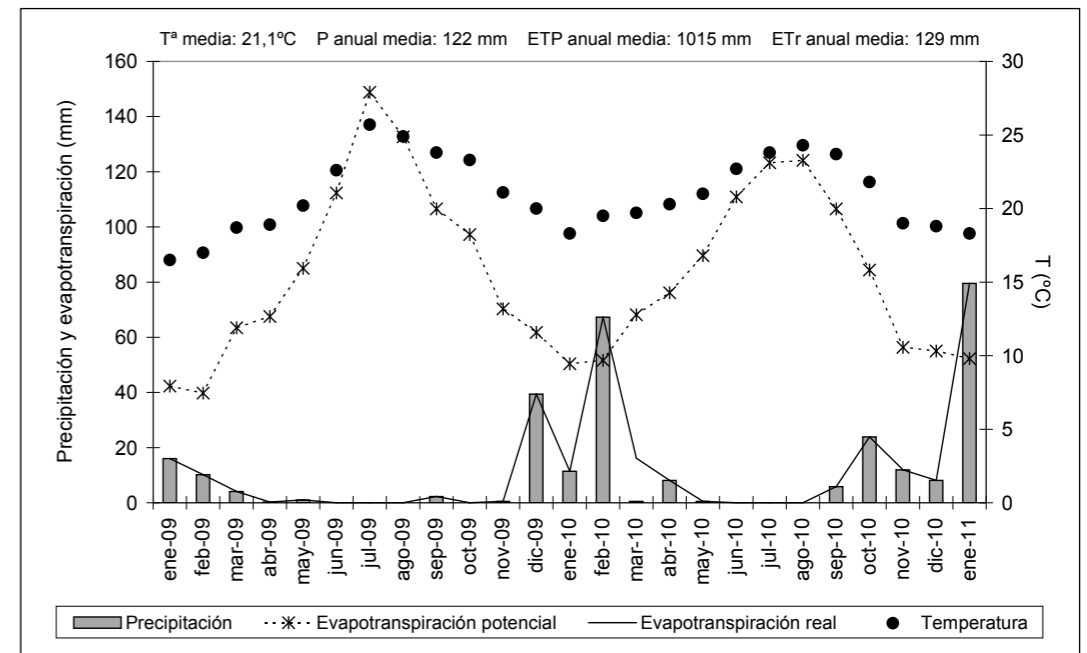


Figura 1. Características climáticas de la finca Centro de Día Zonzamas (Lanzarote).

Análisis de suelos

El suelo de la parcela procede de suelos de vega transportados, clasificados como Fluvisoles eútricos (WRB, 2006). La finca no fue fertilizada durante el experimento (tabla 1). Suelo de textura franco-arcillosa, pH alcalino (8,4), la conductividad eléctrica y la materia orgánica presentaron valores bajos, los niveles de P (Olsen) y cationes asimilables (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ y K^+) eran altos (Hernández-Abreu *et al.*, 1980). Los niveles de microelementos (Fe, Cu, Zn y Mn) fueron aceptables (Sillanpää, 1982).

Tabla 1. Análisis de suelos de la finca del Centro de Día Zonzamas (Lanzarote).

pH	%		dS/m	ppm	Cationes Asimilables (meq/100g)					%		
	PS	MO			Na	K	Ca	Mg	CIC	Arcilla	Limo	Arena
8,4	33,2	0,1	0,35	160	3,9	3,8	17,2	6,2	31,1	37	23	40

Nota: CE = Conductividad Eléctrica; MO = Materia Orgánica; CIC= Capacidad de Intercambio Catiónico. PS= Porcentaje de Saturación.

Material vegetal cultivado

Para todas las especies se programaron los cortes cuando los brotes principales fueron >30cm, se efectuó un total de tres cortes, enero de 2010 (invierno/2010), junio de 2010 (primavera/2010) y enero 2011 (invierno/2011). Antes de hacer los cortes se tomaron datos biométricos de cada planta como altura, diámetro del tronco y la corona. La primera toma de datos biométricos fue en octubre de 2009 y no se realizó

corte. La producción total de biomasa de cada parcela elemental (repetición) se pesó en fresco. De cada repetición se tomó una muestra de 1 kg para separar a mano y pesar la fracción ramoneable (brotes, hojas, inflorescencias, legumbres y ramas de diámetro < 5 mm) (FR) versus fracción no ramoneable (FNR) (leña y palos verdes). La fracción ramoneable se secó a 60 °C durante 48 horas, lo que permitió determinar el porcentaje de materia seca (MS).

Estudios estadísticos

Consistieron en medidas repetidas ANOVA seguido de pruebas de LSD para comparar los valores de la biometría, FR/FNR, porcentaje de materia seca (%MS) y producción de materia seca comestible (MSC t/ha). Anteriormente a esta operación, y con el objetivo de poder llevarla a cabo, se realizó una prueba de homocedasticidad (homogeneidad de varianza) y normalidad, usando el programa SPSS 17.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Después de dos años de la instalación del experimento, la supervivencia de las plantas de las cinco especies fue del 100% salvo en *L. lancerottensis* que presentó solo un 30%. En este periodo controlado las plantas no albergaron ninguna plaga.

Tabla 2. Biometría (cuatro mediciones) y producción (tres cortes) medias de las cinco especies durante el ensayo junio 2009 a enero 2011.

Variable	<i>Atriplex halimus</i>	<i>B.b. var. albomarginata</i>	<i>Coronilla viminalis</i>	<i>Echium decaisnei</i>	<i>Lotus lancerottensis</i>
Alt. Plan. (cm)	40,91±1,29 ^b	40,32±1,31 ^b	24,28±0,59 ^c	49,96±1,61 ^a	13,55±2,08 ^d
Diam. Plan. (cm)	70,08±2,91 ^b	73,03±3,20 ^{ab}	48,05±2,61 ^c	63,75±2,41 ^b	91,98±7,62 ^a
Diam. Tron. (cm)	3,16±0,12 ^{bc}	3,47±0,14 ^b	2,14±0,10 ^d	4,72±0,21 ^a	2,43±0,13 ^c
FR/FNR	3,28±0,39	2,90±0,43	4,39±0,97	5,60±1,88	4,90±2,18
MSC (%)	20,08±1,23 ^c	26,10±0,93 ^b	21,46±1,91 ^c	14,15±0,46 ^d	30,28±3,29 ^a
PMS C (t/ha)	1,65±0,19 ^{bc}	2,11±0,42 ^a	0,77±0,19 ^c	1,69±0,25 ^{ab}	1,42±0,25 ^{abc}

ANOVA. Los valores seguidos en la misma fila por distintos superíndices presentan diferencias significativas (LSD, $P \leq 0,05$).

Nota: Alt. Plan. = Altura de la planta; Diam. Plan. = Diámetro de la copa de la planta; Diam. Tron. = Diámetro del tronco; FR/FNR= Relación entre fracción ramoneable y no ramoneable; MSC= Porcentaje de materia seca comestible; PMS C= Producción de materia seca comestible.

Analizando los distintos valores medios de altura de cada especie, se observa que *E. decaisnei* presentó el valor más alto (49,96±1,61 cm) y *L. lancerottensis* (13,55±2,08 cm) los más bajos, existiendo una significación alta ($P \leq 0,05$) entre ésta y el resto (tabla 2).

Se observa que el mayor diámetro de planta correspondió a *L. lancerottensis* (91,98±7,62 cm), seguida por *B. bituminosa* var. *albomarginata* (73,03±3,20 cm). Por el contrario, *C. viminalis* presentó el valor más bajo (48,05±2,61 cm), que es significativamente menor al resto.

Podemos observar que en *E. decaisnei* se obtuvo el mayor diámetro de tronco (4,72±0,21 cm), presentando diferencias significativas con el resto de especies ($P \leq 0,05$). Por el contrario, *C. viminalis*, presentó, de forma significativa, el menor diámetro medio (2,14±0,10 cm) de las cinco especies estudiadas.

La especie *E. decaisnei* presentó, el mayor valor medio de la relación entre la fracción ramoneable y la no ramoneable (5,60±1,88), seguida por *L. lancerottensis* (4,90±2,18), *C. viminalis* (4,39±0,97), *A. halimus* (3,28±0,39) y *B. bituminosa* var. *albomarginata* (2,90±0,43). No se determinaron diferencias significativas entre ninguna de ellas ($P > 0,05$).

Si analizamos el porcentaje medio de materia seca comestible (% MSC) de cada una de las especies, podemos apreciar un máximo del 30,28±3,29 %, en *L. lancerottensis*, seguida por la especie *B. bituminosa* var. *albomarginata*, que presentó un 26,10±0,93 %. En el extremo opuesto encontramos a *E. decaisnei*, que presentó el mínimo porcentaje de materia seca (14,15±0,46 %).

El % MSC obtenido *A. halimus* es considerablemente inferior a los citados para esta especie por China et al. (2009) (29,7%) y especialmente por Álvarez et al. (2005) (56,6%). En el caso de *B. bituminosa* var. *albomarginata*, el resultado es similar a los citados por China et al. (2009) y Ventura et al. (1995). Si comparamos el porcentaje de materia seca presentado por *C. viminalis* con el rango citado para *C. juncea* por González-Andrés y Cerezuela (1998) (24,7-40,4%), observamos que se queda por debajo de dicho rango. En el caso de *E. decaisnei*, su porcentaje de materia seca es bastante inferior a los citados por China et al. (2009) (19,18%) y por Rodríguez-Marcos et al. (2002) (22,35%). Finalmente, el porcentaje medio de materia seca comestible en *L. lancerottensis* es muy superior al citado por China et al. (2009) para la misma especie.

La producción de materia seca comestible de *B. bituminosa* var. *albomarginata*, presentó el mayor valor (2,11±0,42 t/ha y corte), seguida de *E. decaisnei* (1,69±0,25 t/ha y corte) y de *A. halimus* (1,65±0,19 t/ha y corte). La especie *C. viminalis* (0,77±0,19 t/ha y corte), presentó la menor producción media (tabla 2).

El valor medio de PMSC determinado para la especie *B. bituminosa* var. *albomarginata* es muy inferior a los citados por Méndez (2000) para esta especie (19,2 y 12,9 t/ha), con una dosis total de riegos de 219 l/m² y una densidad de plantación alta (90 000 plantas/ha) comparada con la utilizada en el presente trabajo (4 444 plantas/ha).

CONCLUSIONES

Se propone para Canarias una sistema de recuperación de fincas abandonadas donde exista el sistema tradicional de cultivo en enarenado, para el cultivo de especies autóctonas con interés forrajeros, sin el empleo de fertilizante y pequeñas dosis de agua de riego. Los resultados proporcionan pruebas del gran potencial de estas especies para proporcionar forraje durante todo el año.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido subvencionado por la Fundación Biodiversidad (MARM) y el Excmo. Cabildo Insular de Lanzarote. Los autores agradecen la colaboración prestada por Ana Carrasco Martín, María del Mar Duarte Martín, Alejandro Perdomo Placeres y Francisco Pino López, por su constante asesoramiento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ÁLVAREZ S., MÉNDEZ P., DÍAZ C. Y FRESNO M. (2005) Valoración nutritiva de forrajes adaptados a zonas áridas y su utilización en la alimentación del ganado caprino. En: Osoro K. *et al.* (Eds) *Producciones agroganaderas: Gestión eficiente y conservación del medio natural*, pp 229-235. Gijón, España: Sociedad Española para el Estudio de los Pastos.
- CHINEA E., RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ A. Y MORA J.L. (2004) Control de la erosión del suelo con leguminosas arbustivas forrajeras endémicas de Canarias. *Revista de la Facultad de Agronomía de la Universidad del Zulia*, **21**(4), 363-373.
- CHINEA E., MESA R., MORA J.L. Y RODRÍGUEZ H.A. (2009) Especies forrajeras autóctonas de la Isla de Lanzarote. En: Reiné R. *et al.* (Eds) *La multifuncionalidad de los pastos: producción ganadera sostenible y gestión de los ecosistemas*, pp 359-365. Huesca, España: Sociedad Española para el Estudio de los Pastos.
- CHINEA E., BATISTA C., MESA R., GUERRA J.A. Y RODRÍGUEZ-RODRÍGUEZ A. (2011) Estudio de especies pascícolas de Lanzarote en su hábitat. I Características edafo-climáticas. En: López-Carrasco C. *et al.* (Eds) *Pastos, paisajes culturales entre tradición y nuevos paradigmas del siglo XXI*, pp 79-85. Toledo, España: Sociedad Española para el Estudio de los Pastos.
- EUROPA PRESS (2009) *Foresta. Alerta del peligro de la desertización en Canarias*. Diario de Avisos. (5/06/09).
- GONZÁLEZ-ANDRÉS F. Y CERZUELA J.L. (1998) Chemical composition of some Iberian Mediterranean leguminous shrubs potentially useful for forage in seasonally dry areas. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, **41**, 139-147.
- HERNÁNDEZ-ABREU J.M., MASCAREL J., DUARTE S., PÉREZ-REGALADO A., SANTANA J.L. Y SOCORRO, A.R. (1980) *Seminario sobre interpretación de análisis químicos de suelos, aguas y plantas*. CRIDA de Canarias.
- MÉNDEZ P. (2000) El heno de Tederá (*Bituminaria bituminosa*): un forraje apetecible para el caprino. En: 3 Reunión ibérica de pastos y forrajes. *XL Reunión Científica de la Sociedad Española para el Estudio de los Pastos*, pp 411-414. Braganza-La Coruña-Lugo (España-Portugal): SEEP.
- RODRÍGUEZ-MARCOS R., HERNÁNDEZ-CORDERO A., MÚJICA-PADILLA F., VIERA-VIERA M., RODRÍGUEZ-VENTURA M. Y FLORES-MENGUAL M.P. (2002) Resultados preliminares sobre la evaluación de los recursos pastables de una explotación caprina semiextensiva en el Parque Rural del Nublo, Gran Canaria. En: Chocarro C. *et al.* (Eds) *Producción de pastos, forrajes y céspedes*, pp 609-613. Lleida, España: Sociedad Española para el Estudio de los Pastos.
- SILLANPÄÄ M. (1982) *Micronutrients and the nutrient status of soils: a global study*. FAO Soils Bulletin 48. Roma (Italia).
- SPSS. (2008) *SPSS for Windows V. 17.0*. Chicago, USA. SPSS Inc.
- VENTURA M.R., PIELTAIN M.C., MÉNDEZ P., FLORES M.P. Y CASTAÑÓN J.I.R. (1995) Aproximación al valor nutritivo de arbustos forrajeros canarios: vinagrera (*Rumex lunaria* L.) y tederá común (*Bituminaria bituminosa* ssp. *bituminosa*). En: *Actas de la XXXIV Reunión Científica de la Sociedad Española para el Estudio de los Pastos (SEEP)*, pp 301-303. Tenerife, España: SEEP.
- WRB. (2006) *World Reference Base for Soil Resources*. FAO-ISRIC-ISSS.

Producción y calidad de biomasa del switchgrass (*Panicum virgatum* L.) en Candás (Asturias)

Biomass production and quality of the switchgrass (*Panicum virgatum* L.) in Candás (Asturias)

J.A. OLIVEIRA-PRENDES / E. AFIF-KHOURI / P. PALENCIA-GARCIA / J.J. GORGOSO-VARELA

Departamento de Biología de Organismos y Sistemas. Escuela Politécnica de Mieres. Universidad de Oviedo. C/ Gonzalo Gutiérrez Quirós s/n, 33600 Mieres (España)
oliveira@uniovi.es

Resumen: El objetivo de este trabajo fue obtener información sobre el comportamiento del switchgrass (*Panicum virgatum* L.) en Asturias mediante un estudio agronómico comparando seis cultivares: Nebraska 28, Shawnee, Trailblazer, Pathfinder, Alamo y Blackwell. Se realizó una caracterización agronómica en los años 2010 y 2011 y se determinó la producción, energía bruta, contenido en agua, contenido en N, C y S en los dos años y el contenido en P, K, Ca y Mg en el primer año, dos semanas después de la floración en Candás (Asturias). El ensayo se realizó en bloques completos al azar con 5 réplicas de 6 plantas por cultivar y bloque. El cv Alamo mostró los valores más altos de producción de biomasa, contenido en humedad, energía bruta, contenido en carbono así como valores bajos de cenizas, nitrógeno y azufre.

Palabras clave: bioenergía, composición mineral, cultivar, forraje.

Abstract: The purpose of this work was to obtain information about the switchgrass (*Panicum virgatum* L.) in Asturias using six different cultivars: 'Nebraska 28', 'Shawnee', 'Trailblazer', 'Pathfinder', 'Alamo' and 'Blackwell'. Agronomic evaluation was performed in 2010 and 2011 and biomass production, gross energy concentration, plant water content, ash content and retrieval of N, C, S every year and the content of P, K, Ca, Mg and ash only on the first year, two weeks after anthesis was evaluated in Candás (Asturias). The trial was conducted in a randomized complete block with 5 replicates of 6 plants per cultivar and block. The cv Alamo showed the highest values of biomass production, plant water content, gross energy, carbon content and low levels of ash, nitrogen and sulphur.

Key words: bioenergy, cultivar, forage, mineral composition.

INTRODUCCIÓN

El switchgrass (*Panicum virgatum* L.) es una gramínea forrajera de adaptación a climas subtropical y templados fríos, herbácea de verano, perenne, con rizomas delgados, nativa de las praderas de Norte América, aunque también se encuentra en el norte de México y Canadá, tolerante a la sequía, con un alto potencial de producción de biomasa en una gran diversidad de condiciones de suelo y clima (Parrish y Fike, 2005). Es una planta de tipo C₄, lo que le permite ser más productiva que las plantas de tipo C₃, más habituales en zonas de climas templados y tener una mayor capacidad de almacenamiento de carbono en el suelo (Sanderson, 2008). Es un buen cultivo forrajero debido a su capacidad de crecer en zonas de veranos secos cuando la falta de lluvia limita el crecimiento de la mayoría de las gramíneas de zonas templadas como son las habituales en Europa (Moser y Vogel, 1995). Este cultivo se considera que tiene una alta eficiencia en convertir los nutrientes de los fertilizantes en biomasa cosechable con bajas tasas de extracción de nutrientes (Adler *et al.*, 2006).

Se han descrito los tipos de switchgrass de tierras bajas (lowland) y los de tierras altas (upland) que tienen características agronómicas y genéticas diferentes (Moser y Vogel, 1995). Los tipos lowland que se encuentran en zonas llanas húmedas con poco drenaje, tienen tallos altos, gruesos y bastos con hábito de crecimiento erecto y amacollado, siendo bastante resistentes a las royas (*Puccinia graminis*) y presentan también una buena adaptación en zonas altas del sureste de Estados Unidos, aunque tienen una tolerancia al frío limitada. Los tipos upland están adaptados a zonas de más altitud no sometidas a inundaciones, tienen tallos finos y algunos tienen un hábito de crecimiento semiprostrado y presentan una mayor tolerancia al frío que los tipos lowland (Moser y Vogel, 1995). Según Elbersen *et al.* (2004) y Curt (2008), el cv Alamo dentro de los tipos lowland es el más adaptado a las zonas del Sur de Europa, incluyendo España.

Las producciones de biomasa de switchgrass en algunas localidades del centro y sur de los Estados Unidos oscilan en promedio entre 10 y 20 t MS/ha/año (McLaughlin y Kaszos, 2005). En Europa se han obtenido rendimientos de hasta 20 t MS/ha/año en suelos fértiles (Elbersen *et al.*, 2004) y 10,1-18,2 t MS/ha/año en Grecia e Italia respectivamente (Alexopoulou *et al.*, 2008).

En España, Curt (2008) ensayó el switchgrass en Alcalá de Henares (Madrid), en condiciones limitantes de suelo obteniendo producciones de 1,9 y 7,3 t MS/ha/año en el primer y segundo año de plantación respectivamente. En Asturias, Oliveira y West (2010) lo comenzaron a ensayar en plantas aisladas, mostrando el interés del cv Alamo en el primer año de estudio. El objetivo de este trabajo fue obtener información sobre el comportamiento agronómico, producción y calidad de la biomasa en seis cultivares de switchgrass en Asturias.

MATERIAL Y MÉTODOS

En este estudio se utilizaron seis cultivares de switchgrass, cinco del tipo upland, todos octoploides ($2n=8x=72$): Shawnee, Nebraska 28 (Ne-28), Trailblazer, Blackwell y Pathfinder, y uno del tipo lowland, tetraploide ($2n=4x=36$): Alamo. El estudio agronómico se realizó en la finca "Casero" situada en Candás (43° 35' N, 5° 47' O, 80 metros de altitud) en un suelo tipo Inceptisol con un pH = 6,5, en una parcela utilizada por el Área de Producción Vegetal de la Universidad de Oviedo. El ensayo se distribuyó en bloques completos al azar con 5 repeticiones de 6 plantas por cultivar y repetición (en total 30 plantas por cultivar). El 25/02/2010, se sembraron 60 semillas por cultivar en bandejas de alveolos de 250 cc, en una mezcla de turba y vermiculita (3:1 v:v) en el invernadero del Campus de Mieres. Las plantas se transplantaron el 20/04/2010, separadas 50 cm entre plantas y entre líneas.

Antes de la implantación de los cultivares se realizó un análisis del suelo con el fin de comprobar el estado de fertilidad del mismo y se comprobó que no fue necesario realizar una fertilización de fondo de fósforo (niveles superiores a 30 ppm de P extraído por el método Mehlich 3) y potasio (niveles superiores a 125 ppm de K intercambiable). Con el fin de evitar las malas hierbas en la parcela se colocó una malla antihierbas

de polipropileno trenzado de color verde (densidad 105 g/m²). La parcela no recibió abonado nitrogenado ni riego durante el ensayo.

En los años 2010 y 2011, entre mayo y octubre se evaluaron los siguientes caracteres (Sanderson *et al.*, 1997): Esp, fecha de espigado en número de días desde el 1 de abril; Flo, fecha de antesis o floración en nº de días desde el 1 de abril; Tall, número de tallos por planta, dos semanas después de la antesis; Alt, Altura de la planta medida como la longitud del tallo más largo, incluida la inflorescencia (cm), dos semanas después de la antesis y MS, producción de biomasa seca (kg/ha) dos semanas después de la antesis. Para la determinación de la biomasa seca, primero se determinó el peso fresco en campo cortando seis plantas en conjunto por repetición y cultivar con una hoz, dejando una altura de la planta sobre el suelo de 10 cm. Posteriormente se tomó una muestra al azar de 700 gramos por cada repetición y cultivar, que se secó en estufa de ventilación forzada a 70 °C hasta peso constante, posteriormente se determinó el porcentaje de humedad y el peso de la biomasa seca (kg/ha) teniendo en cuenta que la superficie de la parcela elemental compuesta de 6 plantas fue de 1,5 m² (3 m de longitud x 0,5 m de anchura).

Las muestras secas se molieron y se cribaron en un tamiz de 1 mm de luz de malla para realizar las determinaciones de laboratorio. La energía bruta (MJ/kg) se determinó en el Laboratorio de Nutrición Animal del Servicio Regional de Investigación y Desarrollo Agroalimentario (SERIDA) de Villaviciosa, el porcentaje de cenizas, el contenido en P, K, Ca y Mg, en el laboratorio de Ingeniería Agroforestal de la Escuela Politécnica de Mieres y el contenido en N, C y S (%) en la Unidad de Termocalorimetría y Análisis Elemental de los Servicios Científico-Técnicos de la Universidad de Oviedo en el Campus del Cristo, con un Analizador Elemental CHNS Marca Elementar, Modelo Vario Macro.

Para comparar el efecto de los diferentes cultivares sobre las variables evaluadas, se hizo un análisis de la varianza considerando el siguiente modelo:

$$X_{ijkl} = \mu + A_i + (b A)_{ij} + C_k + (C A)_{ik} + E_{ijkl}$$

Donde X_{ijkl} es el valor de cada una de las variables, μ es la media general, A_i es el factor año ($b A$)_{ij} es la interacción de la repetición con el año, C_k es el factor cultivar ($C A$)_{ik} es la interacción del factor cultivar por el año y E_{ijkl} es el error. El factor repetición se consideró aleatorio y los factores año y cultivar fijos.

Cuando el factor cultivar resultó significativo, la significación de las diferencias entre medias se evaluó mediante el test de las mínimas diferencias significativas (DMS) ($p < 0,05$). Los análisis estadísticos se realizaron con el programa SPSS 19 (SPSS 2011).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Según se puede observar en la tabla 1, el cv Alamo resultó ser el más tardío en espigado y floración, teniendo como fecha media de espigado la de 153 (31 de agosto) y 171 (18 de septiembre) de floración, respectivamente.

Tabla 1. Fechas de espigado (Esp) y floración (Flo) en número de días desde el 1 de abril, número de tallos por planta (Tall), altura de la planta (Alt) en cm, producción de materia seca (Ms) en kg/ha en un corte realizado dos semanas después de la floración y contenido de humedad (Hu) en % en los diferentes cultivares. Medias de 2 años, 5 repeticiones por cultivar y 6 plantas por repetición. Desviación típica entre paréntesis. Diferencias mínimas significativas al nivel de probabilidad del 5% (DMS).

Cultivares	Esp	Flo	Tall	Alt	Ms	Hu
Ne-28	118,7 (18,8)	141,6 (14,6)	36,4 (16,8)	101,4 (41,1)	6623,0 (5759,5)	41,9 (16,4)
Shawnee	123,1 (19,2)	142,3 (16,2)	44,5 (19,7)	141,5 (31,2)	15 982,1 (12 250,8)	43,9 (19,8)
Trailblazer	126,8 (16,6)	143,3 (15,6)	65,2 (31,7)	141,2 (26,0)	12 855,3 (8374,0)	40,9 (22,3)
Pathfinder	120,9 (16,3)	141,9 (14,5)	47,4 (20,8)	138,9 (17,3)	9943,4 (5690,0)	39,0 (19,9)
Alamo	153,2 (12,8)	171,1 (9,7)	57,8 (24,7)	190,5 (23,2)	22 937,3 (11 593,9)	51,8 (12,3)
Blackwell	131,2 (25,4)	149,8 (20,6)	55,9 (27,7)	117,6 (47,5)	12 303,4 (10 987,7)	44,5 (13,1)
DMS (p = 0,05)	3,8	6,4	7,3	16,2	2911,9	1,9

El cv Trailblazer fue el que presentó más número de tallos por planta, no habiéndose observado en ninguno de los cultivares problemas de encamado. El cv Alamo presentó mayor altura, producción de materia seca por ha y porcentaje de humedad a las dos semanas de la floración, teniendo también un número alto de tallos por planta.

Calidad de la biomasa

La calidad de la biomasa puede disminuir drásticamente la producción de energía, limitando la efectividad de la conversión y disminuyendo el poder calorífico (Monti *et al.*, 2008), por lo que cuando la biomasa va a ser usada para combustión se requiere un bajo contenido en cenizas y nutrientes (Elbersen *et al.*, 2001).

Para la energía bruta (tabla 2) se encontraron diferencias reducidas ya que el mayor valor obtenido corresponde al cv Trailblazer con 17,28 MJ/kg y el menor al cv Ne-28 con 16,66 MJ/kg, siendo estos valores similares a los obtenidos por Curt (2008).

Se ha demostrado que los valores caloríficos están relacionados negativamente con el contenido en cenizas, de manera que cuando se incrementa la concentración de cenizas en un 1%, el poder calorífico decrece en 0,2 MJ/kg (Monti *et al.*, 2008).

Para el caso de la combustión directa en plantas de generación de energía, los constituyentes inorgánicos a menudo generan un impacto negativo en los hornos y demás maquinaria, produciendo corrosión o acumulación de escorias. Estos efectos negativos se ven incrementados o reducidos según sea el contenido en cenizas y minerales (Liu y Bi, 2011).

Tabla 2. Energía bruta (EBM) en MJ/kg, Nitrógeno (N) en %, Carbono (C) en %, Azufre (S) en %, Fósforo (P) en g/kg, calcio (Ca) en g/kg, Magnesio (g/kg) y Cenizas en %, en los diferentes cultivares. Medias de 2 años y 3 repeticiones por cultivar. Desviación típica entre paréntesis. Diferencias mínimas significativas al nivel de probabilidad del 5% (DMS). *Datos del primer año.

Cultivares	EBM	N	C	S	P*	Ca*	Mg*	K*	Cenizas*
Ne-28	16,66 (0,21)	1,39 (0,74)	42,35 (0,51)	0,42 (0,07)	2,03 (0,16)	5,06 (0,83)	3,50 (0,81)	15,79 (1,80)	7,97 (0,97)
Shawnee	17,26 (0,18)	1,57 (0,74)	43,74 (0,37)	0,38 (0,04)	1,90 (0,38)	3,34 (1,20)	2,73 (0,29)	14,57 (4,07)	6,82 (0,47)
Trailblazer	17,28 (0,07)	1,63 (0,62)	43,44 (0,48)	0,36 (0,01)	1,85 (0,11)	3,20 (0,65)	2,46 (0,38)	15,14 (5,44)	6,19 (0,18)
Pathfinder	16,91 (0,13)	1,30 (0,76)	43,46 (0,28)	0,34 (0,02)	1,72 (0,17)	3,49 (0,70)	2,44 (0,53)	17,95 (5,44)	6,58 (0,37)
Alamo	17,13 (0,41)	1,25 (0,75)	43,88 (0,40)	0,35 (0,02)	1,70 (0,18)	4,07 (0,95)	2,51 (0,27)	19,73 (10,76)	5,31 (0,45)
Blackwell	17,11 (0,13)	1,20 (0,72)	44,04 (0,43)	0,33 (0,06)	1,52 (0,22)	3,50 (0,69)	1,10 (0,21)	13,24 (0,77)	6,86 (1,13)
DMS (p = 0,05)	0,13	0,05	0,42	0,05	0,38	1,73	0,99	-	1,27

El cultivar que mostró las mejores características tanto para producción de biomasa como en cuanto a la calidad de la misma para usos bioenergéticos fue el cv Alamo, pues mostró los valores más altos de MS, EBM, C, así como valores bajos de cenizas, N y S. Este cultivar fue también el más tardío en cuanto a fecha de espigado y floración, lo que influyó en el alto valor de humedad en el momento de la recolección.

El cv Ne-28, fue el que presentó los peores valores en cuanto a producción y calidad de la biomasa.

Dentro de los sistemas agroforestales que integran árboles y cultivos perennes o anuales, la utilización del switchgrass junto con otros cultivos productores de biomasa podría ser interesante en terrenos no utilizados para la producción de forraje u otros cultivos agrícolas. La recolección anual de biomasa en estos cultivos junto con una especie forestal para madera o biomasa que se corte cada cierto número de años, en el mismo terreno permitiría a los propietarios disponer de unos ingresos anuales por la venta de la biomasa cuando se establezca un mercado para este recurso energético.

Aunque en este trabajo se caracterizó la biomasa total del cultivo obtenida en un solo corte dos semanas después de la floración y por lo tanto para un uso energético, sería posible una utilización dual, mediante dos cortes al año, uno en estado vegetativo en el mes de mayo para aprovechamiento forrajero y otro a finales del otoño, como biomasa para un uso energético (Guretzky *et al.*, 2011).

CONCLUSIONES

El cv Alamo mostró los valores más altos de producción de biomasa, energía bruta, contenido en carbono así como valores bajos de cenizas, nitrógeno y azufre. Este cultivar fue también el más tardío en cuanto a fecha de espigado y floración.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece la ayuda prestada en la toma de datos en el ensayo a D^a Cristina Puertas Martínez y a D^a Cristina Secades Cicero, estudiantes de la Escuela Politécnica de Mieres así como a D^a Adela Martínez Fernández del Servicio Regional de Investigación Agroalimentaria (SERIDA) y a D^a Beatriz Ramajo Escalera de la Unidad de Termocalorimetría y Análisis Elemental de los Servicios Científico-Técnicos de la Universidad de Oviedo por la realización de los análisis de laboratorio de energía bruta y de C, N y S, respectivamente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADLER P.R., SANDERSON M.A., BOATENG A.A., WEIMER P.J. Y JUNG H.G. (2006) Biomass yield and biofuel quality of switchgrass harvested in fall or spring. *Agron. J.*, **98**, 1518-1525.
- ALEXOPOULOU E., SHARMA N., PAPTATHEOHARI Y., CHRISTOU M., PISCIONERI I., PANOUTSOU C. Y PIGNATELLI V. (2008) Biomass yields for upland and lowland switchgrass varieties grown in the Mediterranean region. *Biomass and Bioenergy*, **32**, 926-933.
- CURT M^a D. (2008) Cultivo energético de Switchgrass o Panizo de pradera (*Panicum virgatum* L.). *Hoja divulgadora 2134*. Madrid, España: Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.
- ELBERSEN H.W., CHRISTIAN D.G., EL BASSAM N., SAUERBECK G., ALEXOPOULOU E., SHARMA N. Y PISCIONERI I. (2004) A management guide for planting and production of switchgrass as a biomass crop in Europe. En: *Second World Conference on Biomass and Energy, Industry and Climate Protection*, pp. 140-142. Rome, Italy: Wageningen UR publication.
- ELBERSEN H.W., CHRISTIAN D.G., EL BASSAM N., BACHER W., SAUERBECK G., ALEXOPOULOU E., SHARMA N., PISCIONERI I., DE VISSER P. Y VAN DEN BERG.D. (2001) Switchgrass variety choice in Europe. *Aspects of Applied Biology*, **65**, 21-28.
- GURETZKY J.A., BIERMACHER J.T., COOK B.J., KERING M.K. Y MOSALI J. (2011) Switchgrass for forage and bioenergy: harvest and nitrogen rate effects on biomass yields and nutrient composition. *Plant and Soil*, **1-2**, 69-81.
- LIU X.Y BI X.T. (2011) Removal of inorganic constituents from pine barks and Switchgrass. *Fuel Processing Technology*, **92**, 1273-1279.
- MCLAUGHLIN S.B.Y KASZOS L.A. (2005) Development of switchgrass (*Panicum virgatum*) as a bioenergy feedstock in the United States. *Biomass and Bioenergy*, **28**, 515-535.
- MONTI A., DI VIRGILIO N. Y VENTURI G. (2008) Mineral composition and ash content of six major energy crops. *Biomass and Bioenergy*, **32**, 216-223.
- MOSER L.E. Y VOGEL K.P. (1995) Switchgrass, big bluestem, and indiangrass. En: Barnes R.F. *et al.* (Eds.) *Forages, Vol. 1. An Introduction to Grassland Agriculture*, pp. 409-420. Ames, Iowa, USA: Iowa State University Press.
- OLIVEIRA J.A. Y WEST C. (2010) Caracterización del switchgrass como cultivo productor de biomasa en Asturias. *Agricultura*, **935**, 906-908.
- PARRISH D.J. Y FIKE J.H. (2005) The biology and agronomy of switchgrass for biofuels. *Crit. Rev. Plant Sci.*, **24**, 423-459.
- SANDERSON M.A. (2008) Upland switchgrass yield, nutritive value and soil carbon changes under grazing and clipping. *Agronomy Journal*, **10(3)**, 510-516.
- SANDERSON M.A., WEST C.P., MOORE K.J., STROUP J. Y MORAVEC J. (1997) Comparison of morphological development indexes for switchgrass and bermudagrass. *Crop Sci.*, **37**, 871-878.
- SPSS for Windows (2011) Versión 19.0. SPSS Inc. Chicago, USA.

Calibración y evaluación de dos métodos no destructivos de estimación de la producción en praderas polífitas con *Lolium* sp.

Calibration of two non-destructive methods to estimate herbage mass in *Lolium* sp. grasslands

J.L. SÁEZ ISTILART¹ / I. VERGARA HERNANDEZ¹ / R. M. CANALS TRESSERRAS²

¹Instituto Navarro De Tecnologías e Infraestructuras Agroalimentarias S.A. Avda. Serapio Huici, 22 Edif. Peritos. 31610 Villava. Navarra. jsaez@intiasa.com

²Departamento de Producción Agraria. Universidad Pública de Navarra. Campus de Arrosadía. 31006 Pamplona. Navarra. mcanals@unavarra.es

Resumen: En esta comunicación se expone el trabajo realizado para calibrar y evaluar dos métodos de estimación indirecta de la materia seca presente en praderas polífitas de *Lolium* sp. La comparativa metodológica se realizó entre un herbómetro por capacitancia y un medidor de altura de la cubierta vegetal por señal láser. Los mejores modelos de predicción se obtuvieron con el herbómetro de capacitancia, con R^2 que oscilaron entre 0,579 y 0,798, dependiendo de las variables ambientales incluidas en el modelo, del número de muestras, y del criterio de inclusión de variables en el modelo. La altura de la vegetación medida con la señal láser no intervino como variable independiente en ninguno de los mejores modelos de predicción obtenidos.

Palabras clave: producción de pasto, capacitancia, láser, modelos de regresión, pastoreo.

Abstract: The objective of this study was to calibrate and evaluate two indirect methods of estimation of dry matter in *Lolium* sp temperate grasslands. We used an electronic capacitance meter and a laser to measure the height of the canopy, and related the values obtained to the biomass production determined by a destructive method. The best models were those including data on electronic capacitance, ranging the coefficients of determination between 0,579 and 0,798. The accuracy of the model depended on the inclusion criteria of variables in the regression models, the environmental variables included, and the number of samplings. The measurements of canopy height by laser did not give rise to better fittings.

Key words: grassland biomass, capacitance, laser, regression models grazing.

INTRODUCCIÓN

La necesidad de estimación de biomasa forrajera mediante métodos sencillos, poco costosos y precisos es un tema clásico en la literatura sobre el manejo de pastos (Danelon *et al.*, 2001). Los métodos indirectos o no destructivos estiman la materia vegetal presente por medidas indirectas. Lo más frecuente es encontrar trabajos que comparan o evalúan de forma conjunta unos métodos con otros e incluso combinan varios para crear métodos conjuntos (Murphy *et al.*, 1995; Danelon *et al.*, 2001; Sanderson *et al.*, 2001; Albizu *et al.*, 2002; Paciullo, 2004; Rennie *et al.*, 2009).

El objetivo de esta experiencia ha sido la calibración y la evaluación de la eficacia de dos métodos indirectos, de sencillo empleo, para estimar la materia seca presente en condiciones de pastoreo controlado en praderas de influencia atlántica, para las mezclas de especies pratenses más frecuentes en la zona, fundamentalmente a partir de *Lolium* sp.

Uno de los métodos se ha basado en la estimación a partir de la medición de la variación de la capacitancia de acuerdo a la cantidad de material vegetal circundante. El segundo método ha empleado como medida indirecta la altura de la materia vegetal obtenida por medio de una señal láser, siendo una variante de otros métodos más clásicos basados en la medición de la altura con algún tipo de regla.

MATERIAL Y MÉTODOS

La toma de datos se realizó en praderas de la Finca Experimental de INTIA S.A. en Roncesvalles, Navarra (España). Se tomaron 24 muestras sobre parcelas de raigrás italiano y trébol violeta y 43 en parcelas de raigrás híbrido, raigrás inglés y trébol blanco. Para determinar las superficies de control se utilizó un aro circular de plástico rígido de 0,51 m de diámetro. Para medir la altura del cultivo se empleó un telémetro láser adosado a un fuste y un nivel, de manera que la señal láser rebotaba perpendicular al cultivo y exactamente desde un metro de altura. La altura del pasto en cada punto se calculaba restando a un metro la señal dada por el medidor. Para medir la capacitancia se empleó el herbómetro comercial "GRASS MASTER" de la marca Speedrite. True Test[®].

La toma de muestras se desarrolló durante los meses de junio a octubre de 2010, en condiciones de ambiente seco (51 % de humedad relativa media), velocidad del viento baja (20,3 km/h de media) y sin humedad externa sobre el cultivo. El aro de control se posicionaba sobre el suelo en puntos concretos sobre áreas en las que la masa vegetal estuviera bien representada por las especies que componían cada cultivo. En su interior se medía la altura mediante el láser y seguidamente se medía la capacitancia. Tras la toma de estos datos se cortaba y recogía toda la materia vegetal fresca y se volvía a medir la altura y la capacitancia dentro del círculo de control. Finalmente la materia vegetal de cada muestra se trasladaba al laboratorio de la empresa NASERTIC S.A., se pesaba con una báscula de precisión y se desecaba en estufa a 60 ° C durante 48 horas para determinación de la materia seca.

Además, para cada muestra, se recogió el dato relativo a cada una de las siguientes variables: persona que realiza el muestreo, fecha y hora de muestreo, fecha de secado en estufa, tipo de cultivo, condiciones de humedad externa del cultivo, presencia estimada de malas hierbas, estado fisiológico del cultivo, humedad relativa ambiental y velocidad del viento. Los datos climatológicos se han recogido en la estación meteorológica automática de Gobierno de Navarra en Roncesvalles.

Para el tratamiento estadístico de los datos se utilizó el paquete estadístico PASW Statistics 18, SPSS 18, SPSS Inc. (2009). Primeramente se emplearon los modelos factoriales de análisis de varianza y covarianza, que permiten detectar el efecto individual y conjunto de las variables independientes sobre la materia seca presente (modelo lineal general univariante). De este modo se procedió a determinar qué variable, o conjunto de variables y sus interacciones, tenían un efecto significativo sobre la materia seca

cortada por unidad de superficie. Se consideró un nivel crítico de 0,05. Posteriormente, para cada combinación de variables con efecto significativo se realizaron análisis de regresión lineal y se probó la bondad de su ajuste.

También se afrontó la obtención de modelos de predicción desde otra perspectiva, considerando la inclusión en el análisis de aquellas variables que permitían un mejor ajuste, independientemente de la existencia o no de efecto significativo sobre la variable dependiente. En estos casos se empleó el método de regresión por pasos denominado de pasos sucesivos.

Para elegir los mejores modelos de predicción, por una u otra vía, no sólo se tuvieron en cuenta los parámetros de bondad de ajuste del modelo (R^2 , R^2 corregida, Error Típico) sino también la eficiencia en la obtención de las variables independientes y la simplicidad de cada modelo.

RESULTADOS

En prácticamente todas las muestras el cultivo se encontraba en estado vegetativo. El promedio de la altura, medida mediante la señal láser, fue de 10,68 cm y entre 1,1 y 3,8 cm tras el corte. Las mediciones de los controles promediaron 1361,1 kg M.S./ha. Para las variables ambientales obtenidas a partir de la estación meteorológica automática en la propia finca se contó sólo con 48 registros con datos climáticos por una avería en las instalaciones.

Modelos de predicción a partir de variables con efecto significativo sobre la materia seca

En los principales análisis de varianza y covarianza no se detectó un efecto significativo del tipo de pradera, por lo que los datos obtenidos con las distintas mezclas pratenses fueron tratados en su conjunto. En la tabla 1 se detallan los tres modelos más destacados que se obtuvieron mediante el herbómetro de capacitancia con este criterio de inclusión de variables. Respecto a los modelos B y C, durante el desarrollo de los análisis estadísticos, se detectó que la humedad relativa (HR) por sí misma no tenía efecto sobre la materia seca pero sí sobre la lectura de la capacitancia antes de cortar el cultivo (CMRA). Detectado este efecto significativo, se elaboró un modelo de regresión con una R^2 de 0,179 relacionando CMRA y HR y se generó una nueva variable, la CMRA calculada (CMRACAL), $CMRACAL = 2952,757 + (HR \times 46,028)$. A partir de esta nueva variable se determinó el residuo de la CMRA, $RESCMRA = CMRA - CMRACAL$, que se utilizó como variable estimativa de la parte de la lectura del herbómetro no explicada por la humedad relativa. Esta nueva variable generada permitió elaborar dos de los dos mejores modelos de regresión alcanzados.

Tabla 1. Descriptiva de los modelos obtenidos a partir de variables con efecto significativo sobre la variable dependiente principal.

Modelo	Ecuación	R ²	R ² corregida	Número de muestras	Error típico de estimación
A	MS/ha = -288,840 + CMR A x 0,315	0,579	0,573	67	317,1
B	MS/ha = 337,453 + (RESCMRA x 0,274) + (HR x 19,546)	0,657	0,638	38	313,3
C	MS/ha = -1148,791 + (RESCMRA x 0,303) + (HR x 20,962) + (HUMCULT x 62,128)	0,720	0,696	38	287,2

MS/ha: Materia seca en kg por hectárea; CMRA: Lectura de capacitancia con el cultivo en pie; HR: % de Humedad relativa ambiental; CMRACAL= 2952,757 + (HR x 46,028); RESCMRA= CMRA - CMRACAL; HUMCULT: % agua del cultivo.

Modelos de predicción a partir de variables elegidas mediante el método de pasos sucesivos

Destacaron dos modelos, uno para el cultivo de raigrás inglés, raigrás híbrido y trébol blanco (modelo D) y otro para el cultivo de raigrás italiano y trébol violeta (modelo E). En ambos modelos intervino también la variable RESCMRA, junto con la velocidad del viento y la humedad relativa (tabla 2).

Tabla 2. Descriptiva de los modelos obtenidos por el método de la regresión por pasos sucesivos.

Modelo	Ecuación	R ²	R ² corregida	Número de muestras	Error típico de estimación
D	MS/ha = -1230,334 + (RESCMRA x 0,290) + (HR x 37,856) + VELVIEN x 31,932	0,798	0,743	38	214,8
E	MS/ha = 3435,033 + (RESCMRA X 0,203) - (7,706 x HR) - (74,937 x VELVIEN)	0,764	0,727	38	267,6

MS/ha: Materia seca en kg por hectárea; CMRA: Lectura de capacitancia con el cultivo en pie; HR: Humedad relativa ambiental; CMRACAL= 2952,757 + (HR x 46,028); RESCMRA= CMRA - CMRACAL; HUMCULT: % agua del cultivo; VELVIEN: Velocidad del viento a 2 metros de altura en km/h

Comparación de métodos indirectos de estimación de la materia seca vegetal presente

La medición de altura por láser no intervino en ninguno de los mejores modelos obtenidos, ni como variable única ni en combinación con la medida por capacitancia. La altura láser presentó un efecto significativo respecto a la materia seca presente pero, en el modelo con la altura láser como única variable independiente sólo se consiguió una R² de 0,280. Los modelos elaborados a partir de la CMRA muestran mucho mejores ajustes.

DISCUSIÓN

Con un herbómetro por capacitancia y lecturas simples de CMR, Schellberg *et al.* (2004) en praderas de composición botánica no descrita, obtuvo una R² de 0,465 con

una población de 44 muestras y una R² de 0,769 con una población de 288 muestras. Realizando lecturas antes y después del corte con una población de 72 muestras obtuvo una R² superior (0,869). Los resultados obtenidos por Serrano *et al.* (2008), con el mismo tipo de herbómetro, mostraron R² entre 0,67 y 0,87 en cultivos de praderas mixtas con mezclas de *Trifolium sp.* *Lolium sp.* y *Ornithopus sativus*, 0,89 para praderas de raigrás italiano y lluejo (*Lolium rigidum*), y entre 0,27 y 0,59 en praderas de *Trifolium subterraneum* con poblaciones de muy pocas muestras (entre 6 y 12). López-Guerrero (2011), en praderas de festuca alta (*Festuca arundinacea*), obtuvo coeficientes de determinación de 0,54 y 0,70 en dos años consecutivos, con 120 muestras. Los modelos de López-Guerrero (2011) únicamente utilizaban la variable CMR, pero su tamaño muestral era considerablemente superior al de este trabajo.

Si comparamos el método de la capacitancia con otros métodos no destructivos, O'Donovan *et al.* (2002), obtuvieron en un pradera de *Lolium perenne*, *Poa pratensis* y *Agrostis stolonifera*, una R² de 0,76 para el método de capacitancia, una R² de 0,87 para el método de la regla graduada y un valor de 0,88 para el método del medidor de placa. Albizu *et al.* (2002), obtuvieron diferentes resultados según el tipo de pradera y la localización, con coeficientes de determinación que oscilaron entre 0,739 y 0,763 para el método de la altura mediante regla graduada y entre 0,821 y 0,828 con el medidor de placa. O'Riordan (2000), en praderas de raigrás, alcanzó una R² de 0,865 con una población de 939 muestras mediante la medición de la altura, aunque los resultados oscilaron entre años. Kunnemeyer *et al.* (2001), en praderas de raigrás, determinaron una R² de 0,7 con una población de 73 muestras utilizando un reflectómetro.

Los mejores modelos conseguidos en el presente trabajo, respecto al tamaño muestral, alcanzan coeficientes de determinación no discordantes a los recogidos en la bibliografía. Se desprende que, debido a la gran variabilidad existente en los condicionantes iniciales de los estudios y en la forma de realizar los muestreos, la comparación metodológica es dificultosa y los resultados que arrojan los distintos métodos son diversos. No obstante en los trabajos comparativos de métodos de medición no destructiva no se han encontrado diferencias tan grandes entre métodos de medición de altura y capacitancia como los encontrados en este trabajo.

CONCLUSIONES

La búsqueda de modelos de regresión para estimar la materia seca presente ha concluido con la selección de cinco modelos relacionados con la capacitancia. Salvo en el primer modelo, en todos ellos intervienen variables ambientales que precisarían de una estación meteorológica cercana que recogiera datos de forma instantánea y continuada. A pesar de que el herbómetro por capacitancia está dotado de sistemas de control para no realizar medidas en condiciones ambientales no adecuadas, se ha observado que la humedad relativa participa en muchos de los modelos de predicción por capacitancia.

La inclusión de las variables destructivas altura tras el corte y capacitancia tras el corte, no aparecen en los modelos mejor ajustados. En la ampliación de futuras poblaciones muestrales se prescindirá de estas mediciones post-corte. La medición de la altura del cultivo por medio de láser tampoco conduce a los mejores modelos, ni siquiera en combinación con medidas de capacitancia, a pesar de relacionarse significativamente con la materia seca presente.

Es difícil hacer una comparativa de los resultados obtenidos con el herbómetro de capacitancia respecto a los resultados encontrados por otros autores. Los ensayos y la toma de datos son bastante diferentes en su concepción.

AGRADECIMIENTOS

A Don Francisco Javier Mendizabal Múgica (Doctor Ingeniero Agrónomo), por escuchar.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBIZU I., BESGA G., GARBISU C., MENDARTE S., AMEZAGA I., MIJANGOS I. Y ONAIN-DIA M. (2002) Comparación de la altura y unidades del medidor de placa como estimadores de la biomasa en los pastos de montaña del área de Gorbeia (Bizkaia). *Pastos*, **32** (2), 161-190.
- DANELON J.L., DAPUENTE C.G., JAURENA G., CANTET R., SAUCEDE M. C. (2001) Efficiency of capacitance and height of canopy (height with disk) for herbage mass estimation. *Revista de agronomía de la facultad de agronomía (Universidad de Buenos Aires)*, **21**(3), 213-219.
- KUNNEMEYER R., SCHAARE, P.N. Y HANNA, M.M. (2001) A simple reflectometer for on-farm pasture assessment. *Electronics in Agriculture*, **31**(2), 125-36.
- LOPEZ-GUERRERO I., FONTENO J.P. Y GARCIA-PENICHE T. B. (2011) Comparaciones entre cuatro métodos de estimación de biomasa en praderas de festuca alta. *Revista Mexicana ciencia pecuaria*, **2**(2), 209-220
- MURPHY, W. M., SILMAN, J.P. Y BARRETO, A. D. M. (1995) A comparison of quadrat, capacitance meter, HFRO sward strick, and rising plate for estimating herbage mass in a smooth-stalked, meadowgrass-dominant white clover sward. *Grass and forage science* **50**(4), 452-455.
- O'DONOVAN M., DILLON M., RATH M. Y STAKELUM G. (2002). A comparison of four methods of herbage mass estimation. *Irish journal of agriculture and food research* **41**(1), 17-27.
- O'RIORDAN E. G. (2000). Relationship between sward height and herbage dry matter yields. En: Rook A. J. y Penning P. D. (Eds) *Proceedings of British Grassland Society Conference Grazing Management: the principles and practice of grazing for profit and environmental gain, within temperate grassland Systems*. pp. 55-56. Maidenhead, U.K: British Grassland Society.
- PACIULLO D. S. C., AROERIA L. J. M., COSER A. C. Y CARDOSO R. C. (2004) Rising plate meter and plant height to estimate the herbage mass in *Cynodon* ssp. swards. *Ciencia rural* **24** (2), 599-601.
- RENNIE G. M., PUHA M.R., DALLEY D.E., DYNES R.A. Y UPSDELL M.P. (2009). Calibration of the C-DAX Rapid pasturemeter and the rising plate meter for kikuyu-based Northland dairy pastures. En: NZ Grassland Association (ed) *Proceedings of the New Zealand Grassland Association*, **71** pp. 49-55 Mosgiel Dunedin, New Zealand: N Z Grassland Association Inc.
- SANDERSON M.A, ROTZ C.A, FULT S.W. Y RAYBURN E.B. (2001). Estimating forage mass with a commercial capacitance meter, rising plate meter, and pasture ruler. *Agronomy Journal* **93** (6), 1281-1286.
- SCHELLBERG, J., JEANGROS, B., KESSLER, W., HUGUENIN, O., LOBSIGER, M., MILLAR, N. Y SUTER, D. (2004). Herbage mass estimates with an improved electronic capacitance meter. En A. Lüscher *et al* (Eds) *Land use Systems in grassland dominated regions. Proceedings of the 20th General Meeting of the European Grassland Federation*, Luzern, Switzerland, **21-24** pp. 787-789. Switzerland: EGF
- SERRANO, J. M., PECA, J. O., PALMA, P. M. Y CARVALHO, M. J. (2008). Calibration of an electronic capacitance meter to pasture estimating in a precision agriculture project. En: European Society of Agriculture Engineers (Ed) *Agricultural and biosystems engineering for a sustainable World. International Conference on Agricultural Engineering, Hersonissos*, **23-25** p. 199. Bedford, UK
- SPSS Inc. (2009). Statistical Package for the Social Sciences 18.0. SPSS Inc, Chicago: USA.

Índice de autores

Afif-Khouri E.	95, 535	Cruz Sobrado V.	409, 417
Aguilar V.	89	Cuello-Hormigo T.B.	469
Aguín O.	369	De La Fuente J.	303
Aguirreolea J.	523	De La Roza Delgado B.	377, 425
Albanell E.	363	De Lamo X.	133
Albizu Beitia I.	199	De Las Heras P.	163
Aldezabal A.	319, 325	De Miguel J.M.	123
Altimir N.	133, 497	De Santiago Roldán A.	417
Álvarez Pascua A.	155	De Vita P.	67
Ancin M.	295	Delaby L.	355
Arana W.	213	Delagarde R.	355
Aranguren Ibañez E.	3	Delgado Enguita I.	387, 489
Argamentería A.	425	Delgado-Pertíñez M.	219, 225, 287
Báez Bernal M.D.	431	Demdoum S.	489
Baiges T.	75	Díaz M.T.	303
Bande M.J.	369	Dopazo C.	103
Barrantes O.	461	Eguinoa P.	295
Bartolomé Filella J.	81, 213, 363	Erburu J.A.	265, 447
Batista C.	529	Erice G.	523
Bayarri García E.	255	Escribano Rodríguez J.A.	111, 117
Berastegi A.	239	Espinoza M.	213
Biurrun I.	239	Ezquivel E.	89
Boubekeur C.	497	Fernández Aguilar X.	363
Brañas J.	29	Fernandez Otal J.A.	3
Broca A.	461	Fernández Rebollo P.	51, 59, 67
Busqué Marcos J.	255, 401	Fernández Sirera L.	363
Campo L.	505, 511	Fernández-Cabanás V.M.	287
Canals Tresserras R.M.	3, 171, 193, 543	Fernández-González F.	231
Cañeque V.	303	Ferrer C.	461
Carbonero Muñoz M.D.	51, 59	Ferrer Lorés V.	3, 247
Carpintero J.M.	29	Flores-Pardavé L.	205
Casals P.	75	Gallego Olivenza R.A.	417
Casas Arcarons C.	453	Gálvez Cerón A.L.	363
Castro Insua J.F.	431	Garbisu Crespo C.	199
Chinea E.	529	García Ciudad A.	155, 517, 529
Chocarro C.	149, 461	García Criado B.	155, 517, 529
Cifre J.	481	García Criado L.	517
Connolly J.	497	García Moreno A.	51, 59
Contreras J.	213	García-Mijangos I.	239

García-White T.	469, 475	Maestro M.	461	Rodrigo S.	469, 475	Siguas O.	213
Garí V.	481	Majada-Guijo J.P.	95	Roig S.	29	Siles A.	287
Gascouat P.	3	Mancilla-Leytón J.M.	219, 225	Rojo J.	231	Soldado A.	377, 425
Glíga A.E.	111, 117	Mandaluniz N.	319, 325	Rupérez E.	193	Soto-Pinto L.	89
Gómez J.	171	Mangado J.M.	265, 331, 439	Sáez Istilart J.L.	311, 543	Suárez J.	103
Gómez M.J.	29	Mansilla J.P.	369	Sainz M.J.	369	Taull M.	3, 75
González A.	425	Marcé Pujol A.	453	Salcedo G.	339	Tejerina J.I.	123
González F.	37	Marco I.	363	San Emeterio L.	193	Urquia J.	123
González Hoyos A.L.	401	Martín Vicente A.	219, 225	Sánchez Hernández M.E.	67	Valencia E.	287
González M.A.	377	Martínez Fernández A.	377, 425	Sánchez S.	171	Valladares Alonso J.	431
González Rodríguez A.	347, 355	Martínez T.	123	Sánchez-Díaz M.	523	Vaquero C.	231
González Rodríguez B.	155	Martínez V.	103	Sánchez-Llerena F.J.	475	Vázquez de Aldana B.R.	155, 163, 517
González-Oreja J.A.	199	Mena Y.	287	Santamaría O.	469, 475	Vázquez Fernández I.	255
González-Rebollar J.L.	103	Mendarte Azkue S.	199	Sanz-Sáez A.	523	Vázquez-Yáñez O.P.	347
Gorgoso-Varela J.J.	95, 535	Menéndez Artime I.	255	Schnabel S.	37	Ventura D.	497
Gouriveau F.	133, 497	Mentaberre G.	363	Sebastià M.T.	133, 497	Vergara Hernandez I.	543
Gragera-Facundo J.	37	Mijangos Amezaga I.	199	Senosiain J.M.	193	Vilchez C.	461
Granda Márquez de Prado J.	45	Monteagudo A.	505	Serrano Ferron E.	363	Zabalgogezcoa I.	171
Grande D.	219, 225	Mora J.L.	529	Serrano Moral M.S.	67	Zapatero Martitegui J.	199
Gulías J.	481	Moreno Elcure F.	51			Zudaire E.	439
Gutiérrez-Ginés M.J.	177	Moreno-González J.	505, 511				
Hernández A.J.	177, 205	Muiño I.	303				
Hernández Díaz-Ambrona C.G.	45, 111, 117	Mujika I.	265				
Hidalgo Fernández M.T.	51	Muñoz F.	489, 523				
Intxaurrendieta J.M.	265, 295	Navarro Gonzalez N.	363				
Iriarte A.	247	Ojeda Domínguez B.	185				
Iribarren P.	331	Olea L.	469, 475				
Irigoyen J.J.	523	Oliveira-Prendes J.A.	95, 535				
Irujo E.	439	Palencia-García P.	95, 535				
Iturriaga I.	247	Pastor J.	177				
Jaume J.	481	Pedro J.	171, 193				
Jauregi G.	439, 447	Peláez M.	377				
Jiménez Mateos M.A.	517	Peláez R.	425				
Jiménez-Ferrer G.	89	Peralta J.	239				
Juárez A.	461	Pérez C.	303				
Labeyrie D.	287	Pérez P.	265				
Lahiguera A.E.	103	Pérez-Badia R.	231				
Lasarte J.M.	265, 295	Pérez-Corona M.E.	163				
Laskurain N.A.	319, 325	Pérez-Izquierdo L.	469				
Lauzurica S.	303	Pinhero N.	469				
Lavín S.	363	Pintos C.	369				
Lazcanotegui P.	295	Pla Sanz A.	453				
Leal Murillo J.R.	51, 67	Plaixats Boixadera J.	81, 89, 497				
Leiva Morales M.J.	185	Poblaciones M.J.	469, 475				
Llera Cid F.	409, 417	Prieto P.M.	37				
Llorente Martínez J.F.	111	Pulido-Fernández M.	37				
Lloveras J.	149	Quispe E.	213				
Llurba R.	133, 497	Ramos M.	303				
López Carrasco C.	29, 303	Razquin Lizarraga M.M.	3				
López O.	303	Reiné R.	461				
López Olvera J.R.	363	Remón J.L.	239				
López-Mosquera M.E.	355	Ribas A.	133, 497				
Lorda M.	239	Rivera Martín A.M.	409, 417				
Louro López A.	431	Robles A.B.	103				
Madrugá-Andreu C.	81	Roca-Fernández A.I.	347, 355				