

PASTOS



S.E.E.P.

N.º 44 (2). DICIEMBRE 2014

REVISTA DE LA SOCIEDAD ESPAÑOLA PARA EL ESTUDIO DE LOS PASTOS



www.seepastos.es

PASTOS

N.º 44 (2). DICIEMBRE 2014



En portada...

Cabras blancas celtibéricas en pastos arbustivos

© Ramón Reiné

Un pequeño rebaño de cabras de la raza Blanca Celtibérica aprovecha los pastos arbustivos dominados por *Quercus coccifera* y *Juniperus oxycedrus* que crecen entre las formaciones de areniscas estratificadas y laminadas, con los conglomerados de los Mallos de Riglos al fondo. Esta zona del Prepirineo oscense que se recupera tras el devastador incendio que sufrió en agosto de 2001 está reconocida como Lugar de Importancia Comunitaria de la Red Natura 2000.

EDITORES PRINCIPALES

Juan Busqué Marcos

Centro de Investigación y Formación Agrarias
del Gobierno de Cantabria
juanbusque@cifacantabria.org

Ramón Reiné Viñales

EPS-Huesca, Universidad de Zaragoza
rreine@unizar.es

EDITORES ASOCIADOS

Botánica-Ecología

Arantza Aldezábal (Universidad del País Vasco)
Segundo Ríos (Universidad de Alicante)

Producción Vegetal

Josep Cifré (Universidad de las Islas Baleares)
Olivia Barrantes (Universidad de Zaragoza)

Producción Animal

Manuel Delgado (Universidad de Sevilla)
Rafael Celaya (SERIDA, Principado de Asturias)

Sistemas Silvopastorales

Javier Ruiz-Mirazo (Pastores por el Monte Mediterráneo)
María Dolores Carbonero (IFAPA, Junta de Andalucía)

Europa

Giuseppe Parente (Universita degli Studi Di Udine)
Guy Beaufoy (European Forum for Nature Conservation
and Pastoralism)

Latinoamérica

Carlos M. Arriaga (Universidad Autónoma del Estado
de México)

ISSN: 2340-1672

Disponibilidad única on line en:

<http://polired.upm.es/index.php/pastos>

Diseño y maquetación:

MOEBO

© Sociedad Española para el Estudio de los Pastos

SUMARIO

Editorial	4
1. Artículos Científicos	5
Selección de índices de vegetación para la estimación de la producción herbácea en dehesas	6-18
Juan Agustín Escribano Rodríguez, Carlos Gregorio Hernández Díaz-Ambrona y Ana María Tarquis Alfonso	
Evolución del rendimiento y calidad del girasol (<i>Helianthus annuus L.</i>) aprovechado para forraje tras la floración y desarrollo de calibraciones NIRS para la predicción del valor nutricional de los componentes morfológicos	19-30
Sonia Pereira Crespo, Bruno Fernández Lorenzo, Juan Valladares Alonso, Nieves Díaz Díaz, César Resch Zafra, Antonio González Arráez y Gonzalo Flores Calvete	
Optimización del uso de los recursos pastables en una estación de esquí del Pirineo	31-43
Isabel Casasús Pueyo, José Antonio Rodríguez Sánchez, Albina Sanz Pascua, Carlos Ferrer Benimeli, Ramón Reiné Viñales y Olivia Barrantes Díaz	
Efecto del herbivorismo en la conservación de la especie amenazada <i>Androcymbium europaeum</i> (Lange) K. Richt	44-55
Ana Belén Robles Cruz, Francisco Mario Cabeza Arcas, María Eugenia Ramos Font y José Luis González Rebollar	
Reseñas de tesis doctorales	56-57
Instrucciones para autores	58-60

Estimados lectores de *Pastos*. Este número de la revista contiene cuatro trabajos de investigación inéditos que ponen de relieve la diversidad ecológica, de usos, intereses y enfoques de investigación que tienen los pastos españoles. Cada trabajo está localizado en zonas biogeográficas contrastadas: la dehesa del oeste (Escribano y col.), la Galicia templada (Pereira y col.), la alta montaña Pirenaica (Casasús y col.) y el sureste semiárido (Robles y col.). También muestran la diversidad de objetivos ligados a los pastos: principalmente la producción animal, más extensiva en el caso de la dehesa y marcadamente intensiva en el caso del cultivo de girasol para forraje en Galicia; objetivos mixtos entre la producción animal, la conservación del medio y otros usos turísticos del territorio en los Pirineos; y marcadamente de conservación biológica en los pastos del Cabo de Gata de Almería. Son también una representación de la diversidad de herramientas técnicas y científicas que se utilizan actualmente en nuestra investigación: teledetección, espectroscopia del infrarrojo cercano, sistemas de información geográfica, modelos lineales mixtos, etc. Por último, son trabajos que igualmente reflejan que el variado origen de la investigación sobre pastos en España -todos los autores pertenecen a las redes de Universidades, Centros de Investigación Agraria Regionales y del Consejo Superior de Investigaciones Científicas- aunque se echa en falta la participación de empresas privadas.

El denominador común de todos los artículos de este número de *Pastos*, y también de casi todos los números de nuestra revista, es que el ganadero es el receptor último de estos esfuerzos de investigación, bien sea buscando la mejora directa de sus resultados productivos, de amortiguar eventos adversos como la sequía a través de los seguros agrarios, o de poner de relieve los bienes y servicios ecosistémicos y de otros tipos que pueden generar con su actividad, además de los productos animales. Desde luego, resulta necesario que el flujo de conocimientos generado desde la investigación y representado en estos artículos, tenga como receptor directo a otros compañeros investigadores, pero de igual forma a técnicos y estudiantes formándose para serlo, que son y serán los interlocutores directos con los productores, y que juegan un papel fundamental en la necesaria innovación que necesita nuestro sector. La inminente puesta en marcha de Grupos Operativos dentro de la Estrategia Europea de Innovación y de los nuevos Programas de Desarrollo Rural europeos, es un decidido paso adelante para re-articular este necesario engranaje de investigación-técnica-producción del que esta muestra de artículos forma parte.

Sirva, pues, este nuevo número de *Pastos* para continuar este camino de puesta en valor de la gran superficie de pastos existente en España y de los sistemas agrarios ligados a esta. Que lo disfrutéis.

Juan Busqué (juanbusque@cifacantabria.org)

Ramón Reiné (rreine@unizar.es)

Editores Principales de Pastos

1

ARTÍCULOS CIENTÍFICOS



SELECCIÓN DE ÍNDICES DE VEGETACIÓN PARA LA ESTIMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN HERBÁCEA EN DEHESAS

Juan Agustín Escribano Rodríguez^{1*}, Carlos Gregorio Hernández Díaz-Ambrona¹ y Ana María Tarquis Alfonso²

¹ Grupo de Sistemas Agrarios AgSystems, Departamento de Producción Agraria.

² Departamento de Matemática Aplicada.

CEIGRAM. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica, Alimentaria y de Biosistemas, Universidad Politécnica de Madrid, Ciudad Universitaria s/n, E-28040 Madrid (España).

* juanagustin.escribano@upm.es

SELECTION OF VEGETATION INDICES TO ESTIMATE PASTURE PRODUCTION IN DEHESAS

Historial del artículo:

Recibido: 21/01/14

Revisado: 12/05/14

Aceptado: 08/06/15

Disponible online: 06/10/2015

Autor para correspondencia:

juanagustin.escribano@upm.es

ISSN: 2340-1672

Disponible en: <http://polired.upm.es/index.php/pastos>

Palabras clave:

Agua, NDVI, pastoreo extensivo, sequía, teledetección.

RESUMEN

La sequía en España es un fenómeno frecuente y de elevada intensidad, para ello se ha diseñado el seguro de sequía de pastos, que se basa en la evaluación de un índice de vegetación sin la estimación de la producción de biomasa del pasto. El objetivo de este trabajo es obtener funciones de producción de biomasa de los pastos mediante índices de vegetación que utilicen las bandas espectrales del rojo y del infrarrojo cercano. Para ello desde 2010 a 2013 se realizó un seguimiento del pasto herbáceo en dehesas de El Cubo de Don Sancho (Salamanca), Trujillo (Cáceres) y Pozoblanco (Córdoba). Se midió mensualmente la producción de biomasa del pasto y los índices de vegetación obtenidos del satélite DEIMOS-1 con una resolución de 22 m por 22 m. Con los datos de 2010 y 2011 se estableció la función de producción de biomasa del pasto (fresco y seco) a partir del Índice de Vegetación de la Diferencia Normalizada (NDVI), del Índice de Vegetación Renormalizado (RDVI), de la Proporción Modificada Simple (MSR) y del Índice de Proporción Simple (SR). Fue el NDVI el índice que mejor coeficiente de determinación mostró, 0,85 y 0,89 para pasto fresco y seco respectivamente. Los datos obtenidos en 2012 y 2013 se han utilizado para validar las funciones de producción de pasto fresco y seco. El NDVI fue el que mostró la mejor relación con la cantidad de pasto en pie tanto fresco como seco. La validación de las funciones de producción, de pasto fresco y seco, ha mostrado unos coeficientes de correlación de 0,84 y 0,67 respectivamente entre los valores observados y estimados. Estos resultados sugieren que el NDVI puede ser un buen estimador de la producción de biomasa de los pastos en dehesas.

Keywords:

Drought, NDVI, rangeland grazing, water, remote sensing.

ABSTRACT

The pasture drought insurance in Spain is based on the evaluation of a vegetation index without estimating pasture production. The aim of this paper is to obtain a pasture production function based on vegetation indexes from spectral bands of red and near infrared. From 2010 to 2013 three dehesas were followed in El Cubo de Don Sancho (Salamanca), Trujillo (Cáceres) and Pozoblanco (Córdoba) from west of Spain. Pasture production and vegetation indexes obtained from satellite DEIMOS-1 with a resolution of 22 m by 22 m were measured monthly. Data from 2010 and 2011 were used to establish a production function of pasture (fresh and dry weight) from normalized difference vegetation index (NDVI), Renormalized Difference Vegetation Index (RDVI), Modified Simple Ratio (MSR) and Simple Ratio (SR). The NDVI showed the best determination coefficient: 0.85 and 0.89 for fresh and dry matter respectively, highly significant. The data obtained in 2012 and 2013 were used to validate the production function. Once again, NDVI displayed better correlation with standing pasture, both fresh and dry matter. Validation of the production function between observed and estimated values showed a correlation coefficient of 0.84 and 0.67 for fresh and dry matter. These results suggest that NDVI can be a good estimator of pasture production in dehesas.



© Juan Agustín Escribano Rodríguez

Toros en la parcela con pastoreo el 2 de junio de 2011 en una dehesa de El Cubo de Don Sancho (Salamanca).

INTRODUCCIÓN

La mayor parte del pastoreo de la península ibérica se practica bajo condiciones de secano con un suministro de agua variable y dependiente directamente de la lluvia. Según el Anuario de Estadística Agraria de 2012 en España hay 5,3 millones de hectáreas de pastizales, 3,7 millones de hectáreas de erial a pasto, 1,3 millones de hectáreas de prados, 0,2 millones de hectáreas de praderas y 4,5 millones de hectáreas de monte abierto y dehesas (MAGRAMA, 2013). La dehesa es un sistema agroforestal formado a partir del bosque mediterráneo en el que se integran la producción de pastos para la alimentación animal y la presencia de un arbolado más o menos disperso (Hernández, 1998). En el mismo sentido se refiere Ferrer *et al.* (2001): “superficie con árboles más o menos dispersos y un estrato herbáceo bien desarrollado, en la que ha sido eliminado, en gran parte, el arbustivo. Es de origen agrícola (tierras labradas en rotaciones largas) y ganadero. Su principal producción es la ganadería extensiva o semiextensiva, que suele aprovechar no solo los pastos herbáceos, sino también el ramón y los frutos del arbolado”.

La teledetección es la técnica que permite obtener información sobre un objeto, superficie o fenómeno a través del análisis de los datos adquiridos por un instrumento que no está

en contacto con él (Schowengerdt, 2007). Tiene múltiples aplicaciones en agricultura como la estimación de parámetros biofísicos de la vegetación, el contenido de agua en la planta, la materia seca o la cantidad de clorofila (Cheng *et al.*, 2006). Para medir la actividad vegetativa de las plantas se utilizan índices de vegetación que son calculados a partir de la reflectividad de varias bandas del espectro. En cambio, la estimación del contenido de agua permite hacer un seguimiento de los periodos de sequía y predecir el riesgo de incendio, por lo que se utiliza para la prevención de incendios forestales. La humedad de la vegetación referida al peso seco y expresado en porcentaje se conoce como FMC (*Fine Fuel Moisture Content* o *Floor Moisture Content*), y se relaciona muy bien con medidas como el Índice de Vegetación de la Diferencia Normalizada (NDVI), indicando valores altos bajo riesgo de incendios (Chuvienco *et al.*, 1999). La teledetección térmica permite la detección de estrés en las plantas mediante la relación existente entre la temperatura de la planta y su transpiración, ya que la vegetación con estrés hídrico cierra estomas y aumenta su temperatura (Gates, 1964; Jackson *et al.*, 1981; Sepulcre-Cantó *et al.*, 2005).

Los índices de vegetación más utilizados usan las bandas del infrarrojo cercano (NIR, radiación reflejada en la longitud de onda 800 nm) y el rojo (RED, radiación reflejada en la longitud

de onda 670 nm). La bibliografía nos indica los siguientes (Tabla 1): el Índice de Vegetación de la Diferencia Normalizada (NDVI), Índice de Vegetación Ajustado al Suelo (SAVI), Índice de Vegetación Renormalizado (RDVI), Índice de Proporción Simple (SR) y Proporción Modificada Simple (MSR).

NDVI presentó un coeficiente de correlación r^2 de 0,86 (Hill *et al.*, 2004), pero se presentan ciertas dudas ya que donde la tasa de crecimiento fue muy baja el NDVI fue alto. Así esta correlación puede dar estimaciones más bajas de la tasa de crecimiento del pasto en el momento de máximo crecimiento.

Índice	Ecuación	Referencia
1. Índice de Vegetación de la Diferencia Normalizada (NDVI)	$NDVI = (R_{800} - R_{670}) / (R_{800} + R_{670})$	Rouse <i>et al.</i> (1974)
2. Índice de Vegetación Ajustado al Suelo (SAVI)	$SAVI = (1 + L) \times (R_{800} - R_{670}) / (R_{800} + R_{670} + L)$	Huete (1988) Qi <i>et al.</i> (1994)
3. Índice de Vegetación Renormalizado (RDVI)	$RDVI = (R_{800} - R_{670}) / \sqrt{R_{800} + R_{670}}$	Rougean y Breon, (1995)
4. Índice de Proporción Simple (SR)	$SR = R_{800} / R_{670}$	Jordan (1969) Rouse <i>et al.</i> (1974)
5. Proporción Modificada Simple (MSR)	$MRS = \frac{R_{800} / R_{670} - 1}{(R_{800} / R_{670} + 1)^{0.5}}$	Chen (1996)

L: factor corrector de la línea de suelo Huete (1988).

TABLA 1. Índices de Vegetación que utilizan en su cálculo solo la reflectividad en las bandas del rojo (R_{670}) e infrarrojo cercano (R_{800}).

TABLE 1. Vegetation indexes calculated with the reflectivity in the bands of red (R_{670}) and near infrared (R_{800}).

El NDVI es un índice usado para estimar la cantidad, calidad y desarrollo de la vegetación con base a la medición de la intensidad de la radiación de las bandas infrarrojo cercano (750 - 2600 nm) y rojo (630 - 700 nm). Tres bandas del espectro, la verde (520 - 530 nm), la azul (400 - 500 nm) y la roja (630 - 700 nm) muestran la cantidad de energía absorbida por las plantas (Rouse *et al.*, 1974). En contraste, la banda del infrarrojo cercano (750 - 2600 nm) es reflejada 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 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. El intervalo de valores obtenido del NDVI varía entre menos uno (-1) y uno (+1). De ellos, sólo los valores positivos corresponden a zonas de vegetación, los valores cercanos a cero se corresponden con zonas desprovistas de vegetación, mientras que los próximos a uno indican la mayor cantidad posible de verdor (Chuvienco, 2008). El valor del NDVI puede variar en función del uso de suelo, estado fenológico de la vegetación, situación hídrica del suelo y ambiente climático de la zona.

En zonas húmedas del País Vasco, según Aldezabal *et al.* (2010), el NDVI, tomado de los satélites SPOT 5 HRG1 y Landsat 5 Thematic Mapper, con resoluciones de 10 m x 10 m y 30 m x 30 m respectivamente, no fue un buen estimador de la biomasa aérea y no fue capaz de distinguir zonas de pastoreo frente a las no pastadas. No obstante, advierten que existe la necesidad de profundizar en dicha relación incluyendo más factores en los modelos de ajuste, principalmente los relacionados con la estructura funcional del pasto y su heterogeneidad espacio-temporal.

Varios estudios han demostrado la existencia de una buena correlación del NDVI con la producción primaria de la parte aérea de la vegetación (Paruelo *et al.*, 1997; Kerr y Ostrovsky, 2003; Alcaraz-Segura *et al.*, 2008). Sin embargo, son escasos los trabajos que los han validado con datos tomados *in situ* a una escala espacial detallada (por ejemplo, a escala de parcela experimental), ya que la obtención de datos vegetales (biomasa aérea, composición, altura, fenología, diversidad funcional) en campo incorporando el efecto del pastoreo es costoso. Además la heterogeneidad espacial dificulta y complica esta labor, y es difícil registrar largas series temporales (Aldezabal *et al.*, 2010). La comparación de la producción real y estimada a partir de una función con el

La sequía supone una anomalía transitoria, más o menos prolongada, caracterizada por un periodo de tiempo con valores de las precipitaciones inferiores a los normales en el área, siendo en España un fenómeno frecuente y de elevada intensidad. El seguro de Compensación por Pérdida de Pastos en España (línea 133 del seguro) emplea un índice para determinar la cobertura del mismo, al objeto de solucionar los problemas de peritación que se originan para determinar la cantidad de pasto afectado por la sequía, cuando existen variaciones del tipo de suelo, de composición específica de pasto, de carga ganadera y de tipo de ganado. Es un seguro que cubre a las explotaciones de ganado bovino reproductor y de lidia, ovino y caprino reproductor y al equino en extensivo. El índice que utiliza el seguro se basa en la medición por satélite del NDVI (sensor MODIS instalado en el satélite Terra) sobre un pixel de tamaño 250 x 250 metros, obteniéndose el valor medio decenal de una comarca homogénea que conforman varios pixeles. Se mide exclusivamente en parcelas de pasto herbáceo natural o cultivado, y en ausencia de vegetación leñosa como arbolado o matorral. La sequía no se estima directamente sino por comparación con la media de los diez años anteriores. Este seguro es el principal instrumento financiero con el que cuentan los ganaderos para hacer frente al gasto que supone el suplemento de alimentación del ganado debido a la sequía (Báez, 2012). Por tanto, los encargados de

efectuar las mediciones del índice deben utilizar información oportuna que esté disponible y sea fiable (Bielza *et al.*, 2009). Para el diseño de un adecuado producto de seguro indexado se requieren datos históricos suficientes y un buen modelo que permita predecir la probabilidad de varias medidas del índice. Es por ello que normalmente se utilizan satélites que cuentan con un histórico de datos suficiente. Para utilizar otros que no tengan series amplias de datos será preciso la validación en campo de los datos obtenidos por teledetección. El diseño del contrato de seguro de sequía en España, desde su implementación en 2001, ha sufrido variaciones en sus condiciones, producto de las mejoras introducidas con el objeto de dar respuesta a las necesidades de este tipo de coberturas (Agroseguro, 2005). Los principales ajustes se han realizado sobre los periodos de garantías, en la valoración de las pérdidas y en las zonas homogéneas de medida (Tabla 2).



© Carlos Gregorio Hernández Díaz-Ambrosia

Muestreo del pasto herbáceo el 11 de mayo de 2011 en la parcela no pastoreada en una dehesa de Pozoblanco (Córdoba).

Los datos sobre las pólizas totales del seguro español en sequía en pastos muestran un periodo inicial de implantación del seguro, desde el año 2001-2004, y un periodo de estabilización de la contratación entre el periodo 2005-2011. Ha de remarcarse la elevada contratación en el año 2005 debido a la certeza de la sequía que se produjo ese mismo año en el que el periodo de contratación del seguro se extendió al mes de marzo cuando ya se estaba produciendo la sequía, por lo que se puede calificar de año anómalo (Tabla 3). La siniestralidad en los años 2005, 2009 y 2012 alcanzó respectivamente

65,06 millones de euros, 19,85 millones de euros y 42,63 millones de euros (Agroseguro, 2013). Las zonas con más contratación son Extremadura y Andalucía que suman más del 90% de bovino, equino, ovino y caprino. Por otra parte, la contratación ha estado siempre muy condicionada a las primas de la administración, que han llegado a subvencionar la mitad del coste de aseguramiento y a la percepción de los

Elemento	Año	Ajustes a las condiciones
Clases de explotación	2002	Se incluye el equino a las clases de explotación ya existentes (bovino reproductor, ovino y caprino reproductor)
Definición de pastos	2003	Se incluyen barbechos y rastros
Zonificación	2004	Se clasifican las zonas homogéneas de pastoreo según aprovechamiento de pastizales o barbechos
Ámbito de aplicación	2005	Se redefinen las zonas homogéneas
Precio de suplemento de alimentación	2005	Se flexibiliza, permitiendo al asegurado su elección dentro de precios límites establecidos por el Ministerio de Agricultura
Estrato de garantía	2007	Se modifican a dos estratos de garantía: sequía leve (A) y sequía extrema (B). Se modifica la desviación típica y sus coeficientes, en ambos estratos se obtienen de deducir al NDVI Medio un 0,7 y un 1,5 de su desviación típica por zona correspondiente
Opciones de cobertura	2008	Se reducen a dos opciones de cobertura. La opción A (NDVI es inferior al garantizado en más de tres decenas) y la opción B, (la siniestralidad en las decenas supere el 10% del capital asegurado)
Periodo de garantía	2008	Se especifica en función del estrato de garantía y de las zonas homogéneas
Momento de pago de indemnización	2008	Se establecen dos momentos de pago a lo largo del periodo de garantías
Periodo de suscripción	2009	Se modificó en función de los periodos de garantía y de los grupos de comarcas
Índice de Vegetación (NDVI) Medio	2009	Se modifica la serie histórica utilizada para su cálculo, pasando de imágenes de NOAA (1 km) a MODIS (0,25 km) para el periodo 2000 al 2009
Máximo Valor Compuesto Decimal	2010	Se modifica el periodo de suscripción del seguro y se introduce el concepto de Máximo Valor Compuesto Decimal (MVD)
Indemnización y aprovechamiento	2011	Se modifican los porcentajes de indemnización para el grupo Cantábrico y diferenciación de diez municipios en la comarca Bajo Aragón del resto de municipios (Cambio de aprovechamiento tipo pastizal por aprovechamiento tipo barbecho)
Opciones de aseguramiento	2012	Se permite en determinadas comarcas cubrir la otoñada con inicio de garantías el 10 de octubre.
Estratos de garantías	2012	Se modifican las definiciones correspondientes a los dos estratos de garantías: - Estrato 1. Índice de Vegetación Garantizado (NDVI-G) de cada decena, calculado para cada zona homogénea de pastoreo, menos 0,7 veces la desviación típica del mismo, para cada decena. - Estrato 2. Índice de Vegetación Garantizado (NDVI-G) de cada decena, calculado para cada zona homogénea de pastoreo
Denominación de la línea asegurada	2013	Se modifica la denominación de la actual línea de «seguro de sequía en pastos» que pasa a denominarse «seguro de compensación por pérdida de pastos»
Periodo de garantía e indemnización	2013	Modificación de los periodos de garantía y porcentajes de indemnización
Nuevo grupo de comarcas	2013	Separación de las comarcas de la Comunidad Autónoma de Islas Baleares de las comarcas de Andalucía: se crea un nuevo grupo (Grupo 7)
Nuevas opciones de aseguramiento	2013	Ampliación de las opciones de aseguramiento que presentan diferente periodo de garantía, siniestro mínimo indemnizable y, en su caso franquicia de daños (Opciones A, B, C D y E)

Fuente: Ampliado de Báez, 2012.

TABLA 2. Principales ajustes técnicos al contrato de seguro de sequía en pastos.

TABLE 1. Principal technical settings of the pastures drought insurance in Spain.

Año	Pólizas	Animales	Animales por pólizas	Capital asegurado por póliza	Prima por animal asegurado	Subvención por animal asegurado	Capital asegurado por animal
2001	63	11 282	179,1	40 032,9	16,6	6,3	223,5
2002	54	11 119	205,9	41 689,2	15,2	6,4	202,5
2003	42	7 674	182,7	40 246,4	13,0	5,7	220,2
2004	4 202	1 518 244	361,3	49 682,6	5,1	1,6	137,5
2005	20 876	6 529 413	312,8	22 186,9	4,4	1,6	70,9
2006	6 725	2 185 140	324,9	22 979,9	4,5	2,0	70,7
2007	5 135	1 887 874	367,6	25 564,1	6,9	2,7	69,5
2008	3 024	1 089 503	360,3	22 288,7	6,9	2,9	61,9
2009	5 575	2 005 805	359,8	25 277,4	7,6	2,6	70,3
2010	4 660	1 615 402	346,6	23 463,9	7,4	2,7	67,9
2011	4 093	1 420 018	346,9	23 300,1	6,9	2,6	67,2
2012	5 670	1 949 000	343,7	19 153,4	7,4	2,6	68,1
2013*	5 330	1 539 203	288,8			Sin datos disponibles	

* Datos provisionales. Fuente: Agroseguro (2013).

TABLA 3. Evolución de la contratación del seguro de sequía en pastos en España.

ganaderos, que han dejado de contratar cuando el seguro ha mostrado fallos.

El objetivo de este trabajo es evaluar la posibilidad de estimar la producción de biomasa de los pastos herbáceos en dehesa mediante distintos índices de vegetación obtenidos del satélite DEIMOS-1. Conocida la producción real de los pastos herbáceos, el seguro de sequía en pastos podría calcular las indemnizaciones en función de la cantidad de producción asegurada.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este estudio se ha llevado a cabo en tres zonas de dehesa del suroeste de la península Ibérica (Tabla 4), pertenecientes a los tipos climáticos III, II y I definidos por Sánchez de Ron *et al.* (2007), y localizadas en los municipios El Cubo de Don Sancho (Salamanca), Trujillo (Cáceres) y Pozoblanco (Córdoba) respectivamente. En Salamanca se estableció el ensayo en la Dehesa Boyal de El Cubo de Don Sancho, ocupando una zona adehesada con baja densidad de árboles y pastado con ganado vacuno de lidia. En Cáceres las parcelas se situaron en

TABLE 3. Hiring evolution of the pasture drought insurance in Spain.

el municipio de Trujillo, en una zona adehesada, sin presencia de arbolado en ninguna de las dos parcelas de seguimiento y pastoreadas por ganado. Las parcelas de seguimiento en Córdoba se ubicaron en una dehesa de Pozoblanco, con escasa cobertura de encinas y pastada por vacuno y ovino (Figura 1).

Conforme a la resolución espacial del satélite DEIMOS-I, se establecen dos parcelas elementales de seguimiento en cada una de las zonas, de 66 m x 66 m (cada una incluye nueve píxeles del satélite DEIMOS-1, con una subparcela central de 22 m de lado y ocho contiguas para eliminar el efecto borde). Una vallada, para evitar el pastoreo, y la otra con pastoreo, como una forma de tener pasto con diferentes tipos de estructura y de respuesta al índice de vegetación. Ambas se encuentran exentas de arbolado para facilitar el seguimiento satelital y en concordancia con las zonas homogéneas que utiliza el seguro de compensación por pérdida de pastos, que mide en zonas sin arbolado. El ensayo comenzó en mayo de 2010 y terminó en junio de 2013 (Tabla 5).

Para cada fecha de muestreo (Tabla 5) se determinó la biomasa total de la parte aérea en peso fresco (MF: materia fresca), mediante el promedio de tres muestras al azar en el píxel central, con

Provincia	Salamanca	Cáceres	Córdoba
Comarca	Vitigudino	Trujillo	Pedroches
Altitud (msnm)	756	564	579
Temperatura media anual (°C)	12,4	15	15
Precipitación media anual (mm)	480	504	482
Evapotranspiración media anual (mm)	1 018	1 267	1 234
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
Profundidad suelo (m)	1,20	0,60	0,80
Vegetación	Encinas y robles con pastos anuales subnitrófilos	Encinas con pastos anuales subnitrófilos con cantuesos y otros matorrales	Encinas con pastos anuales subnitrófilos con retama
Estación meteorológica SIAR	Ciudad Rodrigo	Valdesalor	Hinojosa del Duque

SIAR: Sistema de Información Agroclimática para el Regadío (SIAR, 2013).

TABLA 4. Características topográficas, climáticas, y edáficas de las dehesas estudiadas.

TABLE 4. Topography, climate, and soil characteristics of the studied dehesas.

Año	Mes	Salamanca (Vitigudino)	Cáceres (Trujillo)	Córdoba (Pozoblanco)	
2010	Mayo		14		
	Junio		1	22	
	Julio	1	9	22	
	Agosto	5	9		
	Septiembre	15	23	8	
	Octubre	11		21	
2011	Noviembre	9	25		
	Marzo		21	16	
	Abril	1	18	11	
	Mayo	3	25	11	
	Junio	2 y 29	21	8	
	Julio	26			
	Septiembre	26	15	7	
	Octubre			25	
	Noviembre	14	7	25	
	Diciembre	7	5		
	2012	Mayo	11	11	24
		Junio	29		19
Julio				18	
Septiembre		19			
Octubre		24		9	
Noviembre				28	
2013	Diciembre	3			
	Enero			29	
	Febrero	1			
	Marzo	19		20	
Número visitas		20	14	18	

TABLA 5. Fechas de salidas al campo para la toma de datos.

TABLE 5. Dates of field trips for data collection.

cuadrados segados de 0,5 m por 0,5 m. Las muestras se mantuvieron en bolsas de plástico con cierre hermético, conservadas en oscuridad e introducidas en una cámara refrigerada especialmente diseñada para transporte de muestras vegetales, hasta su peso en laboratorio en balanza de precisión ($\pm 0,01$ g). El peso seco se determinó secando las muestras en estufa a 75 °C durante 48 horas hasta alcanzar peso constante (MS: Materia seca). El muestreo de campo se hizo el día siguiente al de la toma de la imagen, tomando para cada pixel los valores del: Infrarrojo cercano (NIR, radiación reflejada en la longitud de onda 800 nm), rojo (RED, radiación reflejada en la longitud de onda 670 nm) y verde (GREEN, radiación reflejada en la longitud de onda 550 nm). Con esos valores se determinaron los índices de vegetación: Índice de Vegetación Normalizado (NDVI), Índice de Vegetación Renormalizado (RDVI), Índice de Proporción Simple (SR) y Proporción Modificada Simple (MSR) (Tabla 1).

Funciones de producción entre los índices de vegetación y el pasto herbáceo

Para obtener las funciones de producción se consideró el método de estimación de la regresión ponderada, ya que este procedimiento da una mayor ponderación a las observaciones que presentan menos variabilidad (Carroll y Ruppert, 1988). Se aplicó una regresión ponderada entre la variable X (índice de vegetación) y la variable Y (para cada uno de los casos: materia fresca, materia seca o porcentaje de pasto seco sobre fresco). En nuestro caso, no hay ninguna medición repetida para cada

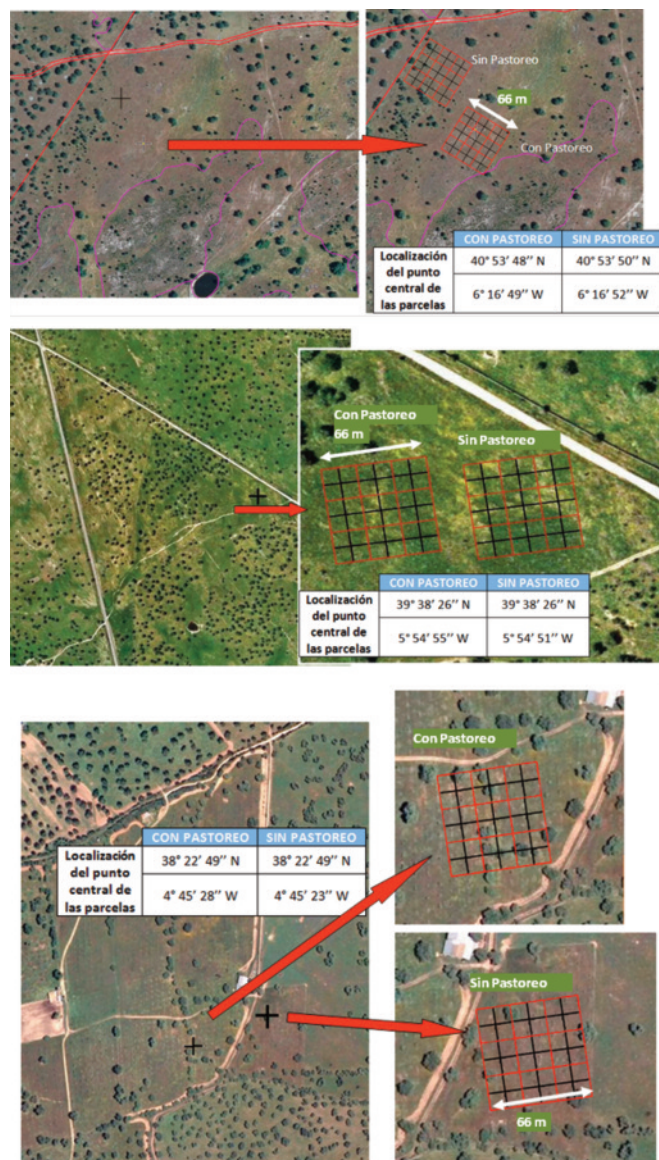


FIGURA 1. Vista y localización de las parcelas de seguimiento de Salamanca, Cáceres y Córdoba sobre las ortofotos del SIGPAC.

FIGURE 1. View and location of monitoring plots of Salamanca, Cáceres, and Córdoba on SIGPAC orthophotos.

combinación de valores de las variables estudiadas. Por ello, para aplicar el método de regresión ponderada se establecen grupos de replicación aproximados para poder estimar los pesos que se deben aplicar a cada punto, dividiendo los datos en intervalos constantes del índice de vegetación (variable X). Después se calculó la media y la varianza del conjunto de valores de la variable Y incluidas en cada una de las clases en las que ha quedado dividida la variable X.

Al final se compararon las parcelas de la variable X frente a las variables Y para confirmar que los conjuntos aproximados de mediciones repetidas eran razonables (Ryan, 1997). Con los datos de 2010 y 2011 se establecieron los valores de las funciones de regresión para los pares de valores medios. Al tomar intervalos equidistantes y que cada punto es

la media de tres medidas al azar, el sesgo en el análisis estadístico es despreciable.

Del conjunto de datos se eliminaron aquellos que no se consideraron válidos. Los datos no válidos fueron los que para un valor del índice de vegetación su correspondiente cantidad de pasto en pie era cero, o aquellos que habiendo medido la cantidad de pasto en pie no tenían el correspondiente valor del índice de vegetación, debido principalmente a la presencia de nubes en la imagen satelital. Así, con los datos de cada intervalo, se ha estimado el valor medio de cada índice y el valor medio de pasto fresco con el fin de eliminar los posibles errores accidentales y eliminar la dispersión.

El procedimiento también se aplicó para relacionar los índices de vegetación con la cantidad de pasto en materia seca (pasto seco), pero no se encontró relación significativa. Así, el coeficiente de regresión lineal r^2 fue en todos los casos inferior a 0,2 por lo que no se muestran estos resultados. Se ha estimado la cantidad de pasto en materia seca a partir del porcentaje de materia seca sobre materia fresca del pasto y de los índices de vegetación. Una vez obtenida la función del pasto fresco a partir de cada índice de vegetación se ajustó una función con el porcentaje de pasto seco sobre el pasto fresco.

Se realizó un análisis de frecuencia en peso fresco con intervalos de 500 kg/ha, calculándose para cada clase los valores medios de las variables: índices de vegetación y porcentaje de pasto seco sobre fresco.

Validación de las funciones de producción

Se han calculado los índices de calidad del modelo (Tabla 6) para ver la eficiencia de las funciones de producción pasto fresco y seco (Fila *et al.*, 2001). Los datos observados durante el periodo 2012 y 2013 se utilizaron para validar las funciones de producción (valores estimados) de pasto fresco y pasto seco que se obtienen a partir del valor de los índices de vegetación observados.

Índice	Ecuación	Rango	Valor óptimo
Error de desviación medio (MBE)	$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n (Ei - Oi)}{n}$	$[-\infty, +\infty]$	0
Error cuadrático medio (RMSE o CME)	$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Ei - Oi)^2}{n}}$	$[0, +\infty]$	0
Error cuadrático de la media relativo (RRMSE)	$RRMSE = 100 \times \frac{RMSE}{\bar{O}}$	$[0, +\infty]$	0
Coficiente residual de masa (CRM)	$CRM = \frac{\sum_{i=1}^n Oi - \sum_{i=1}^n Ei}{\sum_{i=1}^n Oi}$	$[-\infty, 1]$	0
Eficiencia del modelo (EF)	$EF = \frac{\sum_{i=1}^n (Oi - \bar{O})^2 - \sum_{i=1}^n (Ei - Oi)^2}{\sum_{i=1}^n (Oi - \bar{O})^2}$	$[0, 1]$	1

Siendo, Ei: valor estimado con la función de producción, Oi: valor observado, \bar{O} : valor medio observado.

TABLA 6. Índices de calidad aplicados a las funciones de producción.

TABLE 6. Quality indexes applied to the production functions.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Comportamiento meteorológico

El seguimiento meteorológico de los tres años de estudio mostró una distribución irregular de las precipitaciones, observándose periodos continuados de más de 50 días sin ninguna precipitación (Tabla 7).

En Salamanca la precipitación media anual de los últimos diez años fue 480 mm, mientras que en el año agrícola 2010-2011 se registraron 514 mm, en 2011-2012 346 mm y en 2012-2013 665 mm. La temperatura media anual de los últimos diez años fue 12,5 °C (Tabla 7), mientras que los años agrícolas 2010-2011 y 2012-2013 fueron ligeramente más cálidos, aunque la temperatura media de máximas fue mayor en el año agrícola 2011-2012. Contrariamente la temperatura media de mínimas fue menor en el año agrícola 2011-2012. El periodo seco medio estacional va desde el mes de junio hasta el mes de septiembre, en el que las precipitaciones apenas suponen el 10% de la lluvia media anual.

En Cáceres, Trujillo, la precipitación media anual de los últimos diez años fue 504 mm, distribuidos entre el otoño y la primavera. En el año agrícola 2010-2011 se registraron 574 mm, en 2011-2012 330 mm y en 2012-2013 696 mm (Tabla 7). La temperatura media anual de los últimos diez años fue 15 °C, mientras que los años agrícolas 2010-2011, 2011-2012 y 2012-2013 fueron ligeramente más cálidos, aunque la temperatura media de máximas fue mayor en el año agrícola 2012-2013. La temperatura media de mínimas fue menor en el año agrícola 2011-2012.

En Córdoba, Pozoblanco, el clima es el típico del mediterráneo con una precipitación media anual de 482 mm, distribuidos entre el otoño y la primavera. En el año agrícola 2010-2011 se registraron 574 mm, mientras que en 2011-2012 312 mm y en 2012-2013 551 mm (Tabla 7). La temperatura media anual de los últimos diez años fue de 15 °C, mientras que los años agrícolas 2010-2011, 2011-2012 y 2012-2013 fueron ligeramente más fríos, aunque la temperatura media de máximas fue mayor en el año agrícola 2011-2012. A pesar de esto, la temperatura media de mínimas fue menor en el año agrícola 2011-2012.

En los últimos diez años los periodos máximos de días consecutivos sin lluvia se producen durante el verano en las tres zonas estudiadas. En Salamanca, el periodo máximo de días consecutivos sin lluvias fue de 58 días entre junio y agosto de 2004, superior en ocho días a los medidos en una zona próxima por Martínez Fernández *et al.* (2001). Estos valores aumentan conforme nos desplazamos al sur. En Cáceres aumentó hasta los 72 días comprendidos entre junio y agosto de 2012 y en Córdoba el número de días consecutivos sin lluvia fue de 82 días, de junio a septiembre de 2009.

Variable	Periodo	Salamanca (Vitigudino)	Cáceres (Trujillo)	Córdoba (Pozoblanco)
Precipitación (mm)	2010-2011	514	575	574
	2011-2012	346	330	312
	2012-2013	665	696	551
	Media 10 años	480	504	482
Temperatura media (°C)	2010-2011	12,7	15,5	15,2
	2011-2012	12,1	15,2	14,9
	2012-2013	12,6	15,2	14,6
	Media 10 años	12,5	15,1	15,2
Temperatura media de máximas (°C)	2010-2011	19,7	21,9	21,9
	2011-2012	19,8	22,5	22,6
	2012-2013	19,2	21,1	21,1
	Media 10 años	19,6	21,1	22,1
Temperatura media de mínimas (°C)	2010-2011	5,9	9,0	8,1
	2011-2012	4,8	8,0	6,8
	2012-2013	6,0	8,8	7,7
	Media 10 años	5,5	8,0	8,0

TABLA 7. Precipitación y temperaturas medias para los años agrícolas de 2010 a 2013 comparados con la media de los diez últimos años.

TABLE 7. Precipitation and temperature averages for growing seasons from 2010 to 2013 compared with the ten years average.

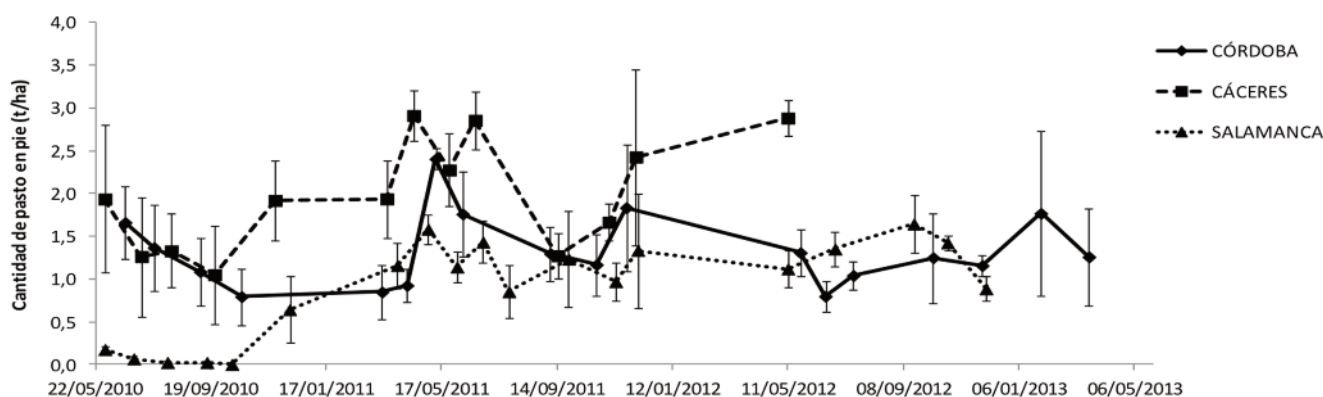


FIGURA 2. Evolución del pasto herbáceo en pie en parcelas no pastadas (materia seca) para las tres áreas de estudio durante 2010 y 2013.

FIGURE 2. Evolution of pasture in ungrazed paddocks (dry matter) for the three locations during 2010-2013.

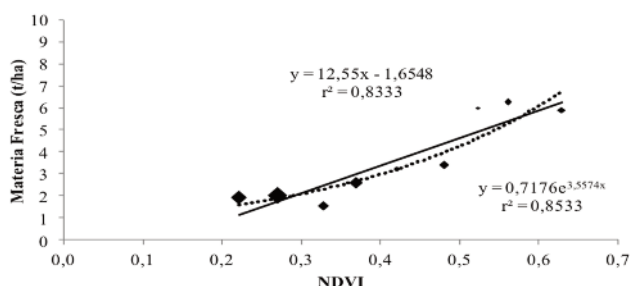


FIGURA 3. Relación entre el NDVI y la materia fresca (MF, t/ha) del pasto herbáceo en pie para las tres zonas obtenida entre 2010 y 2011. Línea continua ajuste lineal y línea de puntos ajuste exponencial. El tamaño del punto es proporcional al número de muestras.

FIGURE 3. Relationship between NDVI and fresh matter (MF, t/ha) of standing grass for the three zones, obtained between 2010 and 2011. Solid line linear fit and dotted line exponential fit. Dot size is correlated with the sample size.

Producción de pasto herbáceo

En Salamanca la cantidad de pasto en pie máxima en materia seca alcanzada por la vegetación herbácea fue de 1,64 t/ha en octubre de 2012 (Figura 2), mientras que la cantidad mínima registrada fue de 0,02 t/ha en septiembre de 2010. En Cáceres,

fue de 2,90 t/ha en abril de 2011, y de 1,00 t/ha en septiembre de 2010, respectivamente. En Córdoba, fue de 2,40 t/ha en mayo de 2011, y 0,80 t/ha en junio de 2012, respectivamente.

De las tres zonas estudiadas, la más productiva fue la de Cáceres, seguida por Córdoba y Salamanca. Las máximas producciones se han obtenido durante la primavera, mientras que en verano disminuye a valores mínimos. La producción otoñal se encuentra muy relacionada con las precipitaciones registradas al inicio del otoño, ya que si estas son bajas o se retrasan, el crecimiento de pasto se reduce considerablemente.

Funciones de producción para estimar la cantidad de materia fresca del pasto herbáceo

El modelo de regresión ponderada simple se ha generado con los datos de producción del estrato herbáceo y sus respectivos valores de NDVI. Considerando un intervalo de valores de NDVI de 0,05 en 0,05 se estimó el valor medio del NDVI y del pasto fresco. La función de ajuste exponencial presentó

un coeficiente de determinación mayor que la función lineal (Figura 3).

Para analizar la relación entre la cantidad de pasto fresco y el RDVI se realizó un análisis de frecuencia en intervalos de valores de RDVI de 0,05 en 0,05 y se estimó el valor medio del RDVI y del pasto fresco, y el número de muestras para cada intervalo. La función de ajuste exponencial presentó un coeficiente de determinación mayor que en la función lineal (Figura 4), pero en ambos casos inferiores a los obtenidos cuando se utilizó el NDVI.

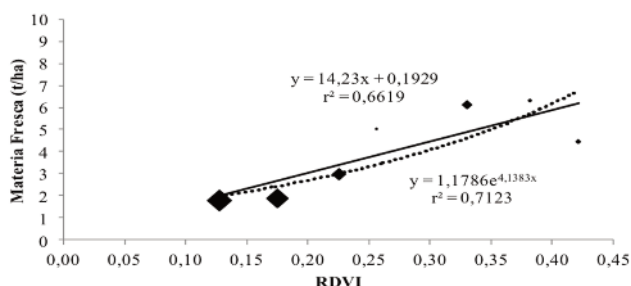


FIGURA 4. Relación entre el RDVI y materia fresca (MF, t/ha) del pasto herbáceo en pie para las tres zonas obtenida entre 2010 y 2011. Línea continua ajuste lineal y línea de puntos ajuste exponencial. El tamaño del punto es proporcional al número de muestras.

FIGURE 4. Relationship between RDVI and fresh matter (MF, t/ha) of standing grass for the three zones, obtained between 2010 and 2011. Solid line linear fit and dotted line exponential fit. Dot size is correlated with the sample size.

Para ver la relación entre la cantidad de pasto fresco y el SR se realizó un modelo de regresión simple que se ha generado con los datos de producción de pasto herbáceo y sus respectivos valores de SR, de los dos años. Se realizó un análisis de frecuencia en intervalo de valores de SR de 0,5 en 0,5 y se estimó el valor medio del SR, del pasto fresco y

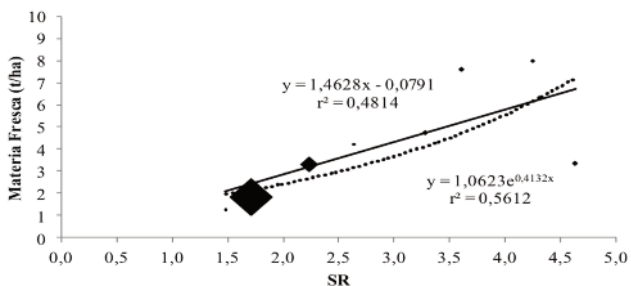


FIGURA 5. Relación entre el SR y materia fresca (MF, t/ha) del pasto herbáceo en pie para las tres zonas obtenida entre 2010 y 2011. Línea continua ajuste lineal y línea de puntos ajuste exponencial. El tamaño del punto es proporcional al número de muestras.

FIGURE 5. Relationship between SR and fresh matter (MF, t/ha) of standing grass for the three zones, obtained between 2010 and 2011. Solid line linear fit and dotted line exponential fit. Dot size is correlated with the sample size.

el número de muestras para cada intervalo. La función de ajuste exponencial presentó un coeficiente de determinación mayor que en la función lineal (Figura 5), con relaciones aún más bajas que cuando se utilizan los índices de vegetación NDVI y RDVI. En este caso la mayoría de los valores de materia fresca se concentran en los valores más bajos del índice de relación simple.

El análisis de la relación entre la cantidad de pasto fresco y el MSR se realizó mediante un análisis de frecuencia en intervalos de valores de MSR de 0,2 en 0,2 y se estimó el valor medio del MSR y del pasto fresco y el número de muestras para cada intervalo.

La función de ajuste exponencial presentó un coeficiente de determinación mayor que la función lineal (Figura 6), pero estas relaciones fueron las peores de los cuatro índices analizados.

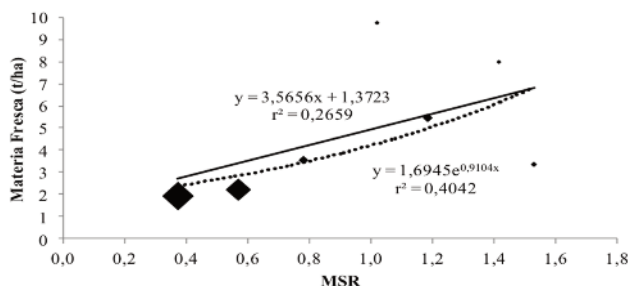


FIGURA 6. Relación entre el MSR y materia fresca (MF, t/ha) del pasto herbáceo en pie para las tres zonas obtenida entre 2010 y 2011. Línea continua ajuste lineal y línea de puntos ajuste exponencial. El tamaño del punto es proporcional al número de muestras.

FIGURE 6. Relationship between MSR and fresh matter (MF, t/ha) of standing grass for the three zones, obtained between 2010 and 2011. Solid line linear fit and dotted line exponential fit. Dot size is correlated with the sample size.

El índice que mostró una mejor correlación fue el NDVI en la estimación del pasto herbáceo fresco a partir de los datos satelitales (Tabla 8), ya que muestra un coeficiente de determinación (r^2) de 0,85 altamente significativo ($P < 0,05$).

Índice	Función	Coefficiente de Correlación r^2
1. Índice de Vegetación de la Diferencia Normalizada (NDVI)	$0,7176 e^{3,5574 \times \text{NDVI}}$	0,8533
2. Índice de Vegetación Renormalizado (RDVI)	$1,1786 e^{4,1383 \times \text{RDVI}}$	0,7123
3. Índice de Proporción Simple (SR)	$1,0623 e^{0,4132 \times \text{SR}}$	0,5612
4. Proporción Modificada Simple (MSR)	$1,6945 e^{0,9104 \times \text{MSR}}$	0,4042

TABLA 8. Funciones de producción de pasto fresco y coeficientes de correlación de los índices de Vegetación utilizados.

TABLE 8. Production functions of fresh grass and correlation coefficients used in the Vegetation Indexes.

Por lo tanto la función de producción propuesta obedece a una ecuación exponencial del pasto fresco a partir del NDVI, definida para los valores del índice entre 0,20 y 0,68, respectivamente según suelo desnudo y máxima actividad vegetativa.

Funciones de producción para estimar la cantidad de materia seca del pasto herbáceo

La función de ajuste del porcentaje de materia seca con la materia fresca del pasto herbáceo frente a los valores correspondientes de NDVI (Figura 7) presentó un coeficiente de determinación (0,89) mayor para la función exponencial que en la función lineal (0,86), siendo altamente significativa (P<0,05).

Se realizó un ajuste, tanto lineal como exponencial, con los datos de porcentaje de pasto seco sobre pasto fresco, frente a los valores correspondientes de RDVI (Figura 8), siendo el exponencial el que tiene mejor coeficiente de determinación (0,72), aunque inferior al obtenido cuando se emplea el NDVI.

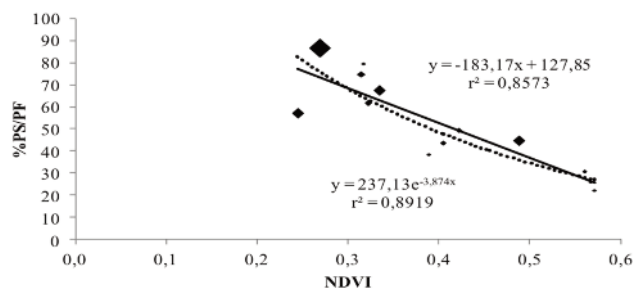


FIGURA 7. Relación entre el NDVI y el porcentaje de pasto seco frente al pasto fresco (%PS/PF). Línea continua ajuste lineal y línea de puntos ajuste exponencial. El tamaño del punto es proporcional al número de muestras
FIGURE 7. Relationship between NDVI and percentage of pasture dry matter against the fresh matter (% PS/PF). Solid line linear fit and dotted line exponential fit. Dot size is correlated with the sample size.

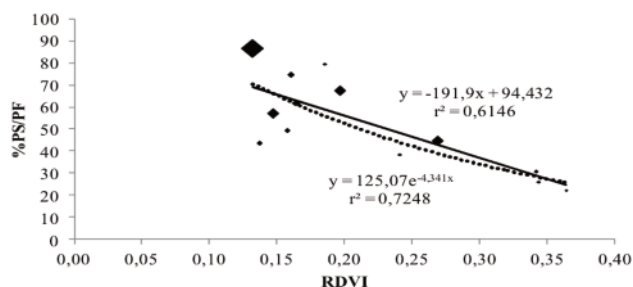


FIGURA 8. Relación entre el RDVI y el porcentaje de pasto seco frente al pasto fresco (%PS/PF). Línea continua ajuste lineal y línea de puntos ajuste exponencial. El tamaño del punto es proporcional al número de muestras.
FIGURE 8. Relationship between RDVI and percentage of pasture dry matter against the fresh matter (% PS/PF). Solid line linear fit and dotted line exponential fit. Dot size is correlated with the sample size.

Se realizó un ajuste, tanto lineal como exponencial, con los datos de porcentaje de pasto seco sobre pasto fresco, frente a los valores correspondientes de SR (Figura 9), siendo el exponencial el que tiene mejor coeficiente de ajuste (0,66).

Para el índice de vegetación MSR la función exponencial presentó un mejor coeficiente de determinación (0,73) que la lineal para la estimación de la relación materia seca sobre materia fresca del pasto herbáceo (Figura 10).

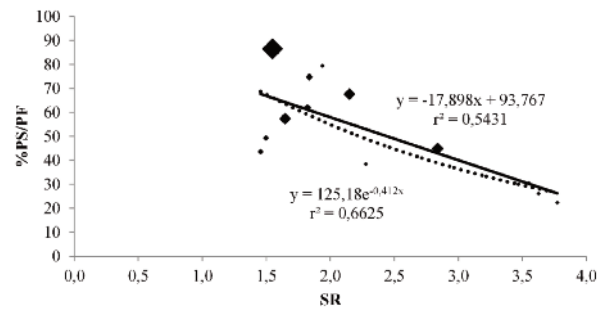


FIGURA 9. Relación entre el SR y el porcentaje de pasto seco frente al pasto fresco (%PS/PF). Línea continua ajuste lineal y línea de puntos ajuste exponencial. El tamaño del punto es proporcional al número de muestras.
FIGURE 9. Relationship between SR and percentage of pasture dry matter against the fresh matter (% PS/PF). Solid line linear fit and dotted line exponential fit. Dot size is correlated with the sample size.

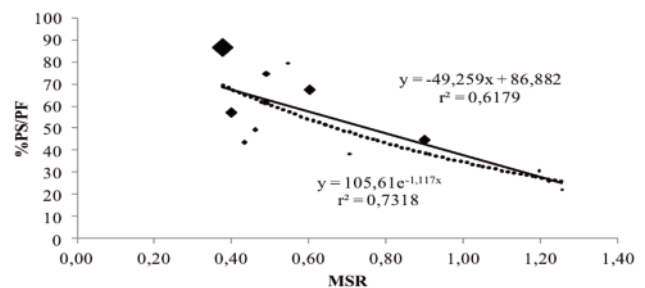


FIGURA 10. Relación entre el MSR y el porcentaje de pasto seco frente al pasto fresco (%PS/PF). Línea continua ajuste lineal y línea de puntos ajuste exponencial. El tamaño del punto es proporcional al número de muestras.
FIGURE 10. Relationship between MSR and percentage of pasture dry matter against the fresh matter (% PS/PF). Solid line linear fit and dotted line exponential fit. Dot size is correlated with the sample size.

Para la estimación de la relación porcentual entre pasto seco y pasto fresco, el índice que mostró una mejor correlación fue el NDVI (Tabla 9), ya que muestra el mayor coeficiente de determinación (0,89) altamente significativo (P<0,05), definida para los valores entre 0,27 y 0,57 del índice NDVI, según los datos obtenidos en campo suelo desnudo y máxima actividad vegetativa respectivamente.

Para la obtención de una función para la estimación de la cantidad de pasto seco a partir del dato del NDVI se han evaluado

Índice	Función de producción	Coefficiente de Correlación r^2
1. Índice de Vegetación de la Diferencia Normalizada (NDVI)	$237,13 e^{-3,874 \times NDVI}$	0,8919
2. Índice de Vegetación Renormalizado (RDVI)	$125,07 e^{-4,341 \times RDVI}$	0,7248
3. Índice de Proporción Simple (SR)	$125,18 e^{-0,412 \times SR}$	0,6625
4. Proporción Modificada Simple (MSR)	$105,61 e^{-1,117 \times MSR}$	0,7318

TABLA 9. Funciones de producción de porcentaje de pasto seco sobre pasto fresco y coeficientes de correlación de los Índices de Vegetación utilizados.

TABLA 9. Production functions of percentage of dry grass on fresh grass and correlation coefficients used in the Vegetation Indexes.

son índices descriptivos y por lo tanto deben tomarse con cuidado considerando también la variabilidad de los datos obtenidos en campo. En todo caso, estas funciones deben tomarse con precaución y aplicarse como unos estimadores de posibles tendencias sobre la cantidad de pasto presente en un determinado lugar.

Nuestros resultados son similares a los obtenidos por Paruelo *et al.* (1997) para las llanuras centrales de los Estados Unidos y similares a los obtenidos en otras zonas semiáridas. Al igual que sucede en zonas más húmedas de la península ibérica

Tipo de Función del pasto fresco × Función porcentaje de materia seca sobre materia fresca	Función de producción	Coefficiente de determinación r^2
1. Lineal × exponencial	$[12,55 \times NDVI - 1,6548] \times [237,13 e^{-3,874 \times NDVI}]$	0,6734
2. Lineal × lineal	$[12,550 \times NDVI - 1,6548] \times [183,17 \times NDVI + 127,85]$	0,5345
3. Exponencial × exponencial	$[0,7176 e^{3,5574 \times NDVI}] \times [237,13 e^{-3,874 \times NDVI}]$	0,4741
4. Exponencial × lineal	$[0,7176 e^{3,5574 \times NDVI}] \times [183,17 \times NDVI + 127,85]$	0,0606

TABLA 10. Funciones de producción de pasto seco y coeficientes de correlación a partir del NDVI.

TABLA 10. Production functions of dry grass and correlation coefficients obtained from NDVI.

las cuatro combinaciones posibles que relacionan el pasto fresco y la relación pasto seco sobre pasto fresco (Tabla 10). El mejor de los resultados corresponde a la función de pasto fresco obtenida del ajuste lineal y la función de porcentaje de pasto fresco sobre pasto seco obtenida del ajuste exponencial, para los valores del NDVI entre 0,20 y 0,65.

Validación de las funciones de producción

Los datos obtenidos en 2012 y 2013 se han utilizado para validar las funciones de producción de biomasa del pasto fresco y seco. Las comparaciones entre los valores observados y estimados de pasto fresco (Figura 11) han mostrado un coeficiente de correlación lineal (r^2) de 0,842. Sin embargo, las comparaciones entre los valores observados y estimados de pasto seco (Figura 12) mostraron unos coeficientes de correlación (r^2) de 0,673. En este último caso, la función propuesta estaría sobreestimando la cantidad de pasto en materia seca presente en el lugar.

La función para la estimación del pasto fresco a partir del NDVI presenta un buen comportamiento (Tabla 11): el coeficiente residual de masa (0,023) está próximo a su valor óptimo que es cero, el indicador Eficiencia del modelo (0,985) también está próximo al valor óptimo, y el error de desviación medio (-65 kg/ha) es bajo. La función propuesta subestima los valores altos, debido seguramente a una saturación del índice NDVI cuando hay mucha biomasa fresca, y tiende a sobrestimar ligeramente los valores bajos. Sin embargo, la función propuesta para la estimación del pasto seco presenta resultados menos precisos, sobrestimando la cantidad de pasto seco. Los errores cuadráticos son altos, así el RRMSE da errores del 48% y el 31% respectivamente. Todos ellos

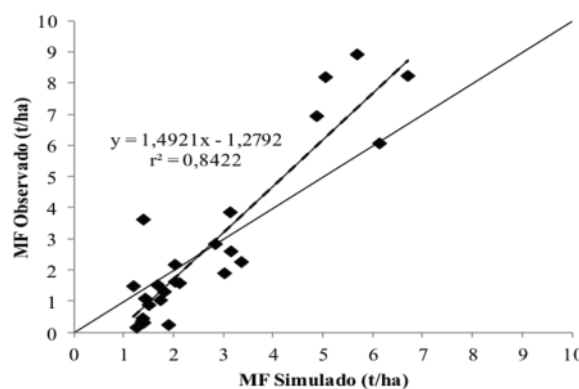


FIGURA 11. Relación existente entre el pasto fresco estimado según la función de producción y pasto fresco recogido en campo durante 2012 y 2013.
FIGURE 11. Relationship between fresh grass estimated with the production function and fresh grass collected in the field during 2012 and 2013.

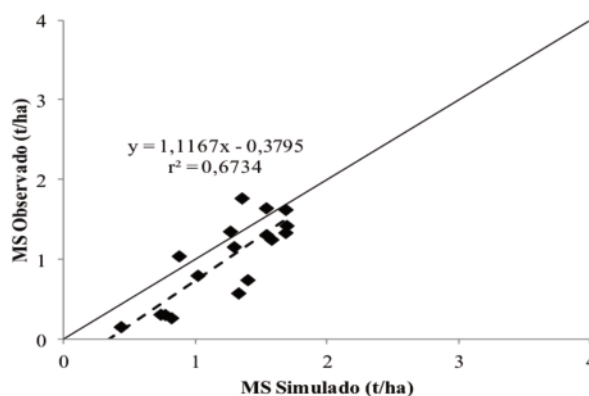


FIGURA 12. Relación existente entre el pasto seco estimado según la función de producción y pasto seco recogido en campo durante 2012 y 2013.
FIGURE 12. Relationship between dry grass estimated with the production function and dry grass collected in the field during 2012 and 2013.

Índice	Valor Función Producción Pasto Fresco	Valor Función Producción Pasto Seco
Error de desviación medio (MBE)	-65	160
Error cuadrático medio (RMSE o CME)	1329	312
Error cuadrático de la media relativo (RRMSE)	48	31
Coefficiente residual de masa (CRM)	0,023	-0,234
Eficiencia del modelo (EF)	0,985	-0,55

TABLA 11. Índices de calidad de las funciones de producción de pasto fresco y seco a partir de los valores de NDVI.

TABLE 11. Quality indexes of the production function of fresh and dry grass estimated from NDVI.

(Aldezabal *et al.*, 2010), el NDVI se satura en condiciones de elevada producción (Aldezabal *et al.*, 2010). La función de producción de pasto seco a partir del NDVI, muestra un coeficiente de correlación lineal de 0,67, similar al modelo de estimación de la producción de pasto seco de Hill *et al.* (2004) que está entre 0,64 y 0,87. Ese modelo, además del NDVI utiliza para la estimación de la producción de pasto seco la radiación solar, el contenido de agua del suelo y la temperatura. Trabajos futuros deberían aplicar esta metodología para pastos con arbolado como es el caso de las dehesas y la evaluación del efecto del arbolado sobre la relación NDVI-producción de pasto, pues el arbolado también contribuiría al valor del índice de vegetación medido por los sensores. En la actualidad, el seguro de compensación por pérdida de pastos mide el índice de vegetación en zonas homogéneas desarboladas, por lo que incorporar zonas arboladas en la teledetección podría contribuir a mejorar la precisión del seguro indexado. Teniendo en cuenta las limitaciones de escala de este trabajo, los resultados alcanzados han mostrado, para las tres zonas estudiadas, que el NDVI es el índice que mejor relación presenta con la cantidad de pasto en pie, como ya habíamos indicado en estudios previos (Escribano y Hernández Díaz-Ambrosia, 2013), aunque no llega a explicar toda la variabilidad encontrada en campo.

CONCLUSIONES

De los índices de Vegetación utilizados para estimar la cantidad de biomasa de los pastos herbáceos en las dehesas españolas, el NDVI (Índice de Vegetación de la Diferencia Normalizada) es el que mejor correlación presenta con la cantidad de pasto fresco y seco. La función de producción propuesta a partir del NDVI-DEIMOS-1 indica que este es un buen estimador de la cantidad de pasto fresco para las dehesas españolas ($r^2 = 0,842$), aunque la estimación obtenida para el pasto seco fue algo menos precisa ($r^2 = 0,673$).

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha realizado en parte con 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 2013» financiado por ENESA y realizado en el CEIGRAM. Agradecemos también a los ganaderos por poder disponer de sus dehesas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGROSEGURO, 2005. *Informe Anual 2005*. Disponible en internet: <http://www.agroseguro.es>

AGROSEGURO, 2013. *Informe Anual 2013*. Disponible en internet: <http://www.agroseguro.es>

ALCARAZ-SEGURA D., BALDI G., DURANTE P. Y GARBULSKY M.F. (2008) Análisis de la dinámica temporal del NDVI en áreas protegidas: tres casos de estudio a distintas escalas espaciales, temporales y de gestión. *Ecosistemas*, 17 (3), 108-117.

ALDEZABAL A., MANDALUNIZ N., CAMPOS A., AZPIROZ M. Y URIARTE L. (2010) Evaluación del Índice de Vegetación de la Diferencia Normalizada (NDVI) como indicador de la biomasa aérea del pasto denso (Hábitat 6320). En: Calleja A. *et al.* (Eds) *Pastos: Fuente natural de energía*, pp 197-202. Zamora, España: Sociedad Española para el Estudio de los Pastos.

BÁEZ K. (2012) *Estrategias innovadoras para la gestión del riesgo de sequía en sistemas ganaderos extensivos*. Tesis doctoral. Madrid, España: Universidad Politécnica de Madrid.

BIELZA M., CONTE C., DITTMANN C., GALLEGO J. Y STROBLMAIR J. (2009) Experiencias de gestión de riesgos y crisis en la Unión Europea. *Revista Española de Estudios Agrosociales y Pesqueros*, 221, 127-150.

CARROLL R.J. Y RUPPERT D. (1988) *Transformation and Weighting in Regression*, Chapman and Hall, New York.

CHEN J. (1996) Evaluation of vegetation indices and modified simple ratio for boreal applications. *Remote Sensing of Environment*, 22, 229-242.

CHENG Y.B., ZARCO-TEJADA P.J., RIAÑO D., RUEDA C.A. Y USTIN S.L. (2006) Estimating vegetation water content with hyperspectral data for different canopy scenarios: Relationships between AVIRIS and MODIS indexes. *Remote Sensing of Environment*, 105, 354-366.

CHUVIECO E., DESHAYES M., STACH N., COCERO D. Y RIAÑO D. (1999) Short-term fire risk: foliage moisture content estimation from satellite data. En: Chuvieco E. (ed) *Remote Sensing of Large Wildfires in the European Mediterranean Basin.*, pp 17-34. Berlin, Alemania: Springer-Verlag.

CHUVIECO E. (2008) *Teledetección Ambiental*. Tercera Edición. Barcelona, España: Editorial Ariel.

ESCRIBANO J.A. Y HERNÁNDEZ (2013) Estimación de la producción de pastos en Dehesas mediante índices de vegetación. En: Olea L. *et al.* (Eds) *Los pastos: nuevos retos, nuevas oportunidades*, pp 465-472. Badajoz, España: Sociedad Española para el Estudio de los Pastos.

- FERRER C., SAN MIGUEL A. Y OLEA L. (2001). *Nomenclátor básico de pastos en España*. Pastos, XXXI(1): 7-44.
- FILA G., BELLOCCHI G., ACUTIS M. Y DONATELLI M. (2001) *IRENE: Integrated Resources for Evaluating Numerical Estimates*. Bologna, Italia: ISCI.
- GATES, D. M. (1964). Leaf temperature and transpiration. *Agronomy Journal*, 56(3), 273-277.
- HERNÁNDEZ DÍAZ-AMBRONA C. (1998) *La dehesa, un sistema agro-silvo-pastoral para el tercer milenio*. Agricultura 67 (suplemento 16, 789), 1, 3-4.
- HILL M.J., DONALD G.E., HYDER M.W. Y SMITH R.C.G. (2004) Estimation of pasture growth rate in the south west of Western Australia from AVHRR NDVI and climate data. *Remote Sensing of Environment*, 93, 528-545.
- HUETE A. R. (1988) A Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI). *Remote Sensing of the Environment*, 25, 295-309.
- JACKSON R. D., IDSO, S. B., REGINATO, R. J., & PINTER, P. J. (1981). Canopy temperature as a crop water stress indicator. *Water resources research*, 17(4), 1133-1138.
- JORDAN C.F. (1969) Derivation of leaf area index from quality of light on the forest floor. *Ecology*, 50, 663-666.
- KERR J. Y OSTROVSKY M. (2003) From space to species: ecological applications for remote sensing. *Trends in Ecology and Evolution*, 18, 299-305.
- MAGRAMA (2013) Anuario de Estadística 2012. Madrid, España: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Disponible en: http://www.magrama.gob.es/estadistica/pags/anuario/2012/AE_2012_Completo.pdf.
- MARTÍNEZ J., CEBALLOS A. y LUENGO M.A. (2001) La sequía edáfica en la cuenca del Duero. *Ecosistemas*, 10 (3), 8 pp.
- PARUELO J.M., EPSTEIN H.E., LAUENROTH W.K. Y BURKE I.C. (1997) ANPP estimates from NDVI for the Central Grassland Region of the United States. *Ecology*, 78, 953-958.
- QI J., CHEHBOUNI A., HUETE R. Y KERR Y. (1994) Modified Soil Adjusted Vegetation Index (MSAVI). *Remote Sensing of Environment*, 48, 119-126.
- ROUGEAN J.L. Y BREON F.M. (1995) Estimating PAR absorbed by vegetation from bi-directional reflectance measurements. *Remote Sensing of Environment*, 51, 375-384.
- ROUSE J.W. JR., HAAS R.H., SCHELL J.A. Y DEERING D.W. (1974) Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation. College Station, Texas, Estados Unidos: *Remote Sensing Center*, Texas A&M Univ.
- RYAN T.P. (1997) *Modern Regression Methods*, Wiley, New York
- 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.
- SCHOWENGERDT R.A. (2007) *Remote sensing: models and methods for image processing* (3rd ed.). London, United Kingdom: Academic Press.
- SEPULCRE-CANTÓ G., ZARCO-TEJADA P.J., JIMÉNEZ-MUÑOZ J.C., SOBRINO J.A., DE MIGUEL E. Y VILLALOBOS F.J. (2005) Detection of water stress in an olive orchard with thermal remote sensing imagery. *Agricultural and Forest Meteorology*, 136, 31-44.
- SIAR (2013) Sistema de Información Agroclimática para el Regadío. Madrid, España: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Disponible en internet: <http://eportal.magrama.gob.es/websiar/Inicio.aspx>



EVOLUCIÓN DEL RENDIMIENTO Y CALIDAD DEL GIRASOL (*Helianthus annuus* L.) APROVECHADO PARA FORRAJE TRAS LA FLORACIÓN Y DESARROLLO DE CALIBRACIONES NIRS PARA LA PREDICCIÓN DEL VALOR NUTRICIONAL DE LOS COMPONENTES MORFOLÓGICOS

Sonia Pereira Crespo¹, Bruno Fernández Lorenzo², Juan Valladares Alonso², Nieves Díaz Díaz², César Resch Zafra², Antonio González Arráez² y Gonzalo Flores Calvete²

¹ Laboratorio Interprofesional Galego de Análise do Leite (LIGAL), Mabegondo, 15318 Abegondo, A Coruña, España. soniapereira@ciam.es

² Instituto Galego de Calidade Alimentaria. Centro de Investigacións Agrarias de Mabegondo (INGACAL-CIAM). Apdo. 10, 15080 A Coruña, España.

EVOLUTION OF YIELD AND QUALITY OF SUNFLOWER (*Helianthus annuus* L.) HARVESTED FOR FORAGE AFTER FLOWERING AND DEVELOPMENT OF NIRS CALIBRATIONS FOR PREDICTION OF NUTRITIVE VALUE OF MORPHOLOGICAL COMPONENTS

Historial del artículo:

Recibido: 11/01/15

Revisado: 18/03/15

Aceptado: 06/07/15

Disponible online: 06/10/2015

Autor para correspondencia:

soniapereira@ciam.es

ISSN: 2340-1672

Disponible en: <http://polired.upm.es/index.php/pastos>

Palabras clave:

Potencial forrajero, fecha de corte, digestibilidad, fracciones morfológicas de la planta.

Keywords:

Forage potential, cutting date, digestibility, morphological components of whole plant.

RESUMEN

En este trabajo se caracterizó la evolución del rendimiento y el valor nutricional de la planta de girasol (*Helianthus annuus* L.) en estado fresco, cosechada en diez fechas diferentes, a intervalos semanales (S0 a S9) entre el inicio de floración y la madurez fisiológica del cultivo obteniéndose la contribución de cada una de las fracciones de la planta. Éstas fueron analizadas por separado por métodos de referencia, determinándose los contenidos en materia orgánica, proteína bruta, fibras neutro detergente y ácido detergente, lignina-sulfúrico, carbohidratos no estructurales, carbohidratos solubles, extracto etéreo y energía bruta y la digestibilidad in vitro de la materia orgánica. Sobre un total de 100 muestras secas y molidas de las fracciones hojas, tallos, receptáculo (incluyendo brácteas y pétalos) y frutos (incluyendo inflorescencias y semillas) se desarrollaron calibraciones NIRS para estimar su composición química y digestibilidad siguiendo procedimientos quimiométricos habituales. Se observó una excelente capacidad predictiva con valores de los coeficientes de determinación superiores a 0,97 para todos los parámetros excepto para lignina. El contenido en materia seca (MS) de la planta entera osciló entre 20,1% en S0 y 21,7% en S4 para ascender rápidamente desde 25,3% en S5 hasta 58,6% en S9. Los valores medios (y rango de variación) de la producción y de la concentración en proteína, carbohidratos solubles, extracto etéreo y energía neta del cultivo (expresada como Unidades Forrajeras Leche, UFL) fueron de 8,4 (7,3-9,3) t MS ha⁻¹, 6,4 (6,0-7,2) %MS, 12,0 (3,0-25,8) %MS, 12,5 (1,5-20,7) %MS y 0,92 (0,75-1,05) UFL kg⁻¹ MS, respectivamente. El aporte medio del capítulo (receptáculo+frutos) y de la parte verde de la planta (hojas+tallos) a la biomasa total fue semejante (4,24 y 4,17 t MS ha⁻¹, respectivamente), pero la energía neta del capítulo fue el triple y su contenido en PB el doble comparado con la parte verde de la planta (1,36 y 0,46 UFL kg⁻¹ MS y 8,5 y 4,1 %MS, respectivamente). Los resultados del experimento sugieren que la planta de girasol debe ser cosechada para ensilar en torno a S4-S5 para optimizar el rendimiento y la calidad del ensilado.

ABSTRACT

The yield and nutritive value of sunflower (*Helianthus annuus* L.) during the growth cycle between flowering and plant physiological maturity was studied. Fresh crop samples were taken weekly along ten weeks (S0 to S9) and the contribution of the diverse plant fractions was recorded. Fractions samples were analyzed by laboratory reference methods to determine the contents in organic matter, crude protein, neutral and acid detergent fiber, sulphuric-lignin, non-structural carbohydrates, water-soluble-carbohydrates, ether extract and gross energy and in vitro organic matter digestibility. A total of 100 dry and ground samples from the fractions leaves, stalks, receptacle (including bracts and petals) and fruits (including inflorescences and seeds) were selected to develop NIRS calibrations for the estimation of chemical composition and digestibility following usual chemometric procedures. Predictive ability of calibrations was deemed excellent with values of the determination coefficient higher than 0,97 for all parameters except for lignin. Dry matter (DM) content of the whole plant was fairly constant from S0 (20,1%) to S4 (21,7%) and increased rapidly from 25,3% in S5 to 58,6% in S9. Average values (and range of variation) for DM yield and the concentrations of protein, water-soluble carbohydrates, ether extract and net energy (expressed as Unité Fourragère Lait, UFL) of the crop were 8,4 (7,3-9,3) t DM ha⁻¹, 6,4 (6,0-7,2) %DM, 12,0 (3,0-25,8) %DM, 12,5 (1,5-20,7) %DM and 0,92 (0,75-1,05) UFL kg⁻¹ DM, respectively. The average contribution of head (receptacle + fruits) and stover to the total plant biomass was very similar (4,24 and 4,17 t DM ha⁻¹, respectively), but the net energy and crude protein concentration in the plant head was three and two times higher respectively, compared with that observed in the stover (leaves + stalks) fraction (1,36 and 0,46 UFL kg⁻¹ DM and 8,5 and 4,1 %DM, respectively). The results of the study suggest that forage sunflower plant must be harvested around S4-S5 to optimize silage DM yield and quality.



© Gonzalo Flores Calvete

Girasol en floración (30% de flores tubuladas abiertas, estado fenológico R5.3).

INTRODUCCIÓN

El girasol (*Helianthus annuus* L.) es una dicotiledónea anual que se considera una alternativa para la producción de forraje ensilado debido a su tolerancia a condiciones de escasez de agua y nutrientes (Tan y Turner, 1996), adaptabilidad a diferentes condiciones edafoclimáticas y relativa independencia de la latitud, altitud y fotoperiodo (Panciera et al., 2003). El Anuario Estadístico del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA, 2012) indica que se cultivan en España un total de 862 mil hectáreas de girasol para industria, mientras que no existe información desagregada de su uso como planta forrajera dentro del epígrafe correspondiente a superficies y rendimiento de cultivos forrajeros, denotando la comparativamente baja importancia que tiene este aprovechamiento con relación al uso industrial. La mayoría de las variedades utilizadas para ensilar proceden de variedades oleíferas para extracción de aceite. La semilla madura de girasol contiene aproximadamente el 40% de extracto etéreo (EE), altamente insaturado, con un 65% de ácido linoleico (C18:2 cis_{9,12}). Existen en el mercado variedades más recientes con EE de menor grado de saturación, ricas en ácido oleico (C18:1 cis₉) (FEDNA, 2010), por lo que el ensilado de girasol utilizado en la alimentación de rumiantes podría tener beneficios adicionales sobre las características nutricionales de los productos animales obtenidos (Rego et al., 2005) al tratarse de una importante fuente de ácidos linoleico y oleico si se cosecha en el momento adecuado.

En los últimos años en Galicia se están realizando siembras con maíz forrajero en zonas que no cumplen los requisitos para este cultivo, lo que provoca bajos rendimientos y altos costes unitarios de producción (Miranda-González, 2013; Villada-Legaspi, 2013). Aunque el clima predominante en la zona de producción de leche en Galicia es húmedo-atlántico, los episodios de sequías estacionales durante el verano son frecuentes, y su efecto sobre la reducción de la productividad de los cultivos forrajeros se hace notar de forma muy severa sobre todo en terrenos arenosos, con escasa profundidad y de zonas interiores. Dado que la principal característica que ha motivado el uso del cultivo de girasol para la producción de ensilaje es su buena productividad en situaciones de baja pluviometría, el cultivo del girasol forrajero durante el verano en estas zonas límite para el maíz podría ser una alternativa a este cultivo asegurando la obtención de forraje para ensilar, favorecido por la corta duración de su ciclo vegetativo que proporciona flexibilidad para su ajuste dentro de la rotación.

La variabilidad genética y el estado de desarrollo de la planta son factores que influyen en la productividad. En el Centro de Investigaciones Agrarias de Mabegondo se realizaron estudios acerca de la utilidad de esta forrajera de verano para ensilar a lo largo de los años 80-90 del pasado siglo, destacando los

de Lloveras (1980-1985) en Mabegondo (A Coruña), Pobra de Brollón (Lugo) y Grado (Asturias), Zea y Díaz (1986-1987) en Mabegondo y Budiño (1991) en fincas colaboradoras del interior de Galicia, todos ellos realizados en condiciones de secano. La fecha media de siembra de estos ensayos fue el 5 de junio y la de cosecha el 20 de agosto, con una media de 76 días de crecimiento. La cosecha de la planta de girasol se realizaba en un estado precoz, desde el estado de botón floral hasta el final de la floración del cultivo siguiendo las recomendaciones científicas de la época y se obtuvo un rendimiento medio de 6,2 t MS ha⁻¹, oscilando en un rango entre 3,0 y 10,4 t MS ha⁻¹.

Los ensilados de girasol presentan generalmente contenidos más elevados de proteína y extracto etéreo que los ensilados de maíz. En contrapartida, presentan una menor digestibilidad de la pared celular causada por una mayor lignificación. Esta menor digestibilidad puede ser compensada por la alta energía del aceite que, desde el final de la floración hasta la madurez, se va concentrando en las semillas a partir de los hidratos de carbono sintetizados por la planta. Sin embargo, la alta concentración de aceite en la materia seca del girasol puede limitar su uso en la alimentación de vacas de leche, ya que la utilización de dietas que contengan más del 5-6% del total de la materia seca de grasa no protegida puede, entre otros efectos, reducir la digestión ruminal de la fibra y la ingestión voluntaria de materia seca debido al efecto negativo de la grasa sobre la actividad microbiana en el rumen (Brooks et al., 1954; Palmquist, 1987).

El objetivo del presente trabajo fue caracterizar la evolución del rendimiento en materia seca y el valor nutritivo de las diferentes fracciones morfológicas y de la planta entera de girasol a partir del inicio de floración hasta la madurez fisiológica, en condiciones de secanos húmedos de la zona costera de Galicia, y evaluar el uso de la técnica NIRS para predecir parámetros de la composición química, digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica y energía bruta de diferentes fracciones morfológicas de la planta de girasol en estado fresco.

MATERIAL Y MÉTODOS

Localización

El ensayo se realizó durante el período comprendido entre finales de mayo y finales de septiembre de 2004, en la finca del CIAM (Centro de Investigaciones Agrarias de Mabegondo) situada en Mabegondo (A Coruña), zona costera de clima atlántico a 100 m de altitud, en secano, sobre suelos de esquistos de profundidad y fertilidad medias, con valores de pH entre 5,4-5,7. Los valores del P (Olsen, extraído en NaHCO₃) oscilan entre 21-37 mg kg⁻¹ y los de K (extraído en NH₄NO₃) entre 180-210 mg kg⁻¹.

Diseño experimental

El diseño experimental fue de bloques completos al azar, con cuatro repeticiones, siendo los tratamientos diez fechas de corte, realizados a intervalos semanales, desde el inicio de floración del cultivo (5% de las flores abiertas) hasta la semana novena tras el inicio de floración, momento en el que la planta alcanzó la madurez fisiológica.

Siembra, fertilización y seguimiento del cultivo

La siembra se realizó en un terreno previamente ocupado por maíz, tras un barbecho invernal, utilizando la variedad híbrida PR63A90 de Pioneer, de ciclo medio, el 21 de mayo de 2004. La sembradora de precisión se ajustó a una separación entre líneas de 0,70 m y 0,15 m entre plantas y una densidad teórica de 95×10^3 plantas ha^{-1} . Durante las labores preparatorias del terreno antes de la siembra se aplicaron 40 kg de N, 80 kg de P_2O_5 y 120 kg de K_2O por hectárea. No se aplicaron herbicidas, realizándose una escarda mecánica con cultivador rígido Guerra cuando la planta tenía unos 20 cm de altura.

Muestreo de las parcelas

En cada bloque, la parcela elemental medía 7 m de longitud y 21 m de ancho y estaba constituida por 3 líneas de siembra asignadas al azar para cada uno de los 10 tratamientos (fechas de corte). La cosecha se realizó manualmente, cortando las plantas de un transecto de 3 m, a una altura de 12 cm de la base en la línea central correspondiente a cada tratamiento. Del total de la biomasa cosechada, se separaron manualmente las fracciones "capítulo" (C), constituida por el receptáculo, brácteas, pétalos, inflorescencias y/o semillas y "parte vegetativa" (PV) constituida por las hojas y los tallos. Adicionalmente, en dos repeticiones de las plantas cosechadas en los cortes de las semanas 1, 3, 5, 7 y 9 se escogieron seis plantas representativas del cultivo y se obtuvieron cuatro fracciones: hoja (H), tallo (T), receptáculo (R, incluyendo las brácteas y pétalos) y semilla (S, incluyendo el pericarpio o cáscara). Cada fracción fue pesada y troceada por separado en una picadora de forrajes VIKING y, por cuarteos sucesivos, se tomó una alícuota de aproximadamente 1000 g de cada fracción. La determinación de materia seca se realizó en estufa de aire forzado Unitherm, a 80° C durante 16 h (Castro, 1996) y, a continuación, se molió a 1 mm en molino de martillos Christy and Norris.

Predicción del valor nutritivo mediante Espectroscopía de Reflectancia en el Infrarrojo Cercano (NIRS)

El análisis NIRS se realizó sobre las muestras secas y molidas a 1 mm ($n=120$) procediéndose al registro por duplicado de los espectros de reflectancia ($\log 1/R$ vs λ) de todas las muestras en un espectrofotómetro monocromador Foss NIRSystem

6500 (Foss NIRSystem, Silver Spring, Washington, USA) provisto de módulo de giro y situado en cámara isoterma. Para los procesos de calibración y validación cruzada se utilizó el espectro (media de 2 repeticiones) abarcando la región visible-infrarrojo cercano del espectro (rango de longitud de onda entre 400 y 2500 nm), con lecturas a intervalos de 2 nm. La recogida de los datos espectrales y el análisis quimiométrico de los mismos se llevó a cabo mediante el programa WinISI II v.1.5 (Infrasoft International, Port Matilda, PA, USA, 2000). La selección de las muestras representativas del grupo de calibración se realizó utilizando el algoritmo SELECT basado en el análisis por componentes principales, que elige muestras espectralmente diferentes (Shenk y Westerhaus, 1991), acotando a 100 las muestras a seleccionar para la calibración.

Las muestras seleccionadas fueron analizadas mediante métodos de referencia y por duplicado, realizándose las siguientes determinaciones: materia orgánica (MO) por ignición en mufla a 550°C, proteína bruta (PB) por digestión micro Kjeldahl según Castro *et al.*, (1990), fibra neutro detergente (FND) según Van Soest *et al.*, (1991), fibra ácido detergente (FAD) celulosa (CEL) y lignina (LAD) según Goering y Van Soest (1970) en digestor Fibertec System 1020 de Foss Tecator, carbohidratos solubles en agua (CSA) y carbohidratos no estructurales (CNET), según Castro (2000), extracto etéreo (EE) por el método oficial AOAC (2003) para alimentos animales, energía bruta (EB) en calorímetro isoperibólico PARR-1281EF y digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica (DMOIV) mediante el procedimiento descrito por Tilley y Terry (1963), modificado por Alexander y McGowan (1966). La determinación de DMOIV de las muestras que contenían semillas de girasol se realizó sobre material desengrasado por lavado con éter de petróleo para evitar el efecto depresor del aceite de las muestras sobre su digestibilidad (Valdez *et al.*, 1988). A partir del valor de DMOIV de las muestras se calculó la concentración en energía neta leche (ENL) según Flores *et al.*, (2005) y se transformó posteriormente en Unidades Forrajeras Leche (UFL) considerando que una UFL equivale a 1,7 Mcal ENL (Vermorel, 1989). En el caso de muestras desengrasadas se adicionó el valor de la ENL correspondiente a la grasa de la muestra considerando un valor medio de 4,9 Mcal de ENL kg^{-1} de aceite (FEDNA, 2010).

Para el desarrollo de las ecuaciones de calibración se trataron los espectros mediante SNV-Detrend (Tipificación de la absorbancia y corrección de la tendencia; Barnes *et al.*, 1989) para corregir los efectos de dispersión de la luz. Las calibraciones fueron desarrolladas utilizando regresión mínima cuadrática modificada (MPLS), realizando la regresión entre los datos espectrales y los de referencia (Martens y Naes, 1987), eliminando previamente las muestras anómalas utilizando para ello la distancia de Mahalanobis (estadístico H). Este modelo de regresión incluyó validaciones cruzadas para prevenir el sobreajuste, dividiendo el total de muestras de calibración en cinco grupos, que fueron secuencialmente utilizados para

efectuar la validación de las ecuaciones generadas con los restantes cuatro grupos. El procedimiento se repitió hasta que todas las muestras fueron predichas una vez y se obtuvieron los errores estándar de la validación cruzada.

Los estadísticos usados para seleccionar la ecuación de calibración fueron los errores estándar de calibración (SEC) y de validación cruzada (SECV) y los coeficientes de determinación (R^2 y r^2) obtenidos en el proceso de calibración y validación externa, respectivamente, así como el índice RER o relación entre el rango de los datos de referencia y el SECV, por ser un estadístico útil para evaluar la precisión y exactitud de los modelos de calibración (Williams y Sobering, 1996).

Análisis estadístico

ANOVA siguiendo el modelo $y = \mu + \alpha_i S + \beta_j B + \epsilon_{ij}$ (donde S es el momento de cosecha y B el bloque) seguido por la comparación de medias mediante la diferencia mínima significativa protegida de Fisher ($\alpha = 0,05$), utilizando el procedimiento PROC GLM de SAS/STAT v 9.2 (SAS Institute, 2009).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El ensayo se llevó a cabo según lo previsto, con una temperatura media desde la siembra hasta el último aprovechamiento, algo más cálida y una precipitación acumulada menor a los valores medios en el periodo de los últimos 10 años, como se puede observar en la Tabla 1.

Mes	2004		Media de los 10 últimos años (2005-2014)	
	Tª media °C	Lluvia, mm	Tª media °C	Lluvia, mm
Mayo	16,9	5,0	14,0	76,9
Junio	19,1	27,2	17,0	50,8
Julio	18,7	18,4	18,6	36,1
Agosto	19,0	92,0	18,6	33,0
Septiembre	18,0	22,6	17,4	40,9

TABLA 1. Temperatura media y precipitación acumulada durante los meses del ensayo.

TABLE 1. Monthly rainfall and average temperature over the experimental period.

El cultivo se estableció satisfactoriamente y se desarrolló sin incidencia apreciable de malas hierbas, plagas y enfermedades ni ataques de pájaros en ninguna etapa de su desarrollo. El inicio de floración (S0) tuvo lugar la semana del 26 de julio, correspondiendo a un período de crecimiento de 66 días. El estado fenológico aproximado del cultivo (escala de Schneiter y Miller, 1981) en función de las semanas (S) transcurridas tras el comienzo de la floración fue el siguiente: S1=(R5.5-R5.9), S3=(R6-R7), S5=(R7-R8), S7=(R8-R9) y S9=(R9). La densidad final del cultivo fue de 89,7 ($\pm 19,2$) $\times 10^3$ plantas ha^{-1} , siendo la altura media de las plantas de 1,62 ($\pm 0,17$) m y el diámetro medio del capítulo de 16,5 ($\pm 0,17$) cm.

Evolución del rendimiento y valor nutricional de la planta de girasol

Fracciones de la planta

En la Tabla 2 se presentan los resultados relativos al valor nutricional y el porcentaje en el peso seco total de la planta de girasol de las fracciones semillas, receptáculo, hojas y tallos desde la primera semana (S1) hasta la novena semana (S9) tras el inicio de floración, correspondientes a un intervalo siembra-recolección de 72 a 126 días, respectivamente.

La madurez de la planta modificó substancialmente el valor nutricional y la contribución a la biomasa total de las diferentes fracciones de la planta. Entre las semanas 1 y 9 tras la floración, la proporción en la MS total de la planta de las semillas (S) aumentó desde el 13% al 42%, mientras que la de las fracciones receptáculo (R), hojas (H) y tallos (T) disminuyeron desde el 27% al 18%, desde el 21% al 12% y desde el 39% al 28%, respectivamente. El contenido en MS de las distintas fracciones aumentó, aunque en distinta proporción, entre S1 y S9 siendo el incremento más marcado el observado para S (de 17,7% a 91,7%) y T (de 18,6% a 68,8%) seguido de R (de 16,4% a 34,1%) y H (de 20,6% a 30,8%). El contenido en materia orgánica de las semillas y el tallo fue superior y menos variable comparado con los del receptáculo y sobre todo el de las hojas, que disminuyó claramente entre S1 y S9. En dicho período, la materia orgánica de S, T, R y H oscilaron (en %MS) de 95,1 a 97,0; de 93,8 a 93,4; de 92,1 a 83,6 y de 80,8 a 76,4, respectivamente. En cuanto al contenido de PB el efecto de la madurez se manifiesta sobre todo en el descenso de su concentración en las hojas entre S1 y S9 (de 15,9 a 6,9 %MS), destacándose los bajos valores en el tallo (de 1,5 a 1,8 %MS) y receptáculo (de 5,8 a 6,0 %MS), e intermedios en las semillas (de 10,4 a 12,4 %MS). El contenido en FND (en % MS) aumenta con la madurez para el receptáculo (de 27,4 a 37,6), tallos (de 57,7 a 75,1) y hojas (de 22,7 a 29,9) y disminuye para el fruto (de 32,1 a 25,6). El comportamiento del resto de fracciones de la pared celular (FAD, CEL y LAD) siguen un patrón semejante, pudiendo resaltarse el alto grado de lignificación de las hojas y tallos a partir de S5 y el valor relativamente constante de LAD en las semillas (rango 5,6 a 6,5 entre S1 y S9) atribuible a la composición del pericarpio. La digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica desciende con la madurez en todas las fracciones de la planta incluidas las semillas desengrasadas. Desde S1 a S9 el valor de DMOIV (en %) varió desde 70,8 a 44,2 para S, de 75,0 a 46,0 para R, de 60,1 a 54,3 para H y de 57,3 a 22,4 para T, fracción que mostró los valores absolutos más bajos y experimentó el mayor descenso durante dicho período en consonancia con la mayor proporción de paredes celulares en la MS y la mayor concentración de LAD. Cuando se tiene en cuenta el incremento en aceite de las semillas, que asciende desde el 2,1%MS en la S1 al 51,8%MS en la S9, la concentración de energía neta en

Semillas														
SEM	PCT	MS	MO	PB	FND	FAD	CEL	LAD	DMOIV [†]	EE	CNET	CSA	EB	UFL ^{††}
S1	13% c	17,7 e	95,1 c	10,4 ab	32,1 ab	22,9 ab	18,5 a	5,6	70,8 a	2,1 c	43,6 a	42,7 a	18,5 c	0,93 c
S3	30% b	35,3 e	96,7 c	9,6 b	33,7 a	25,9 a	20,0 a	6,8	49,9 b	34,6 b	11,8 b	8,0 b	26,2 b	1,30 b
S5	38% a	54,8 e	97,0 ab	12,0 a	22,3 c	16,6 c	12,2 b	5,7	42,9 c	49,5 a	11,0 b	3,9 b	29,5 a	1,73 a
S7	44% a	81,0 b	97,3 a	11,9 a	23,7 c	18,4 bc	13,3 b	6,2	40,5 c	51,9 a	4,5 b	3,9 b	29,2 a	1,73 a
S9	42% a	91,7 a	97,0 ab	12,4 a	25,6 bc	20,0 bc	14,2 b	6,5	44,2 c	51,8 a	3,9 b	3,1 b	29,0 a	1,74 a
CV	37,5	55,0	0,9	10,6	18,6	17,8	21,8	8,3	24,8	56,0	109,8	138,7	17,4	24,5
p	**	***	**	*	*	*	*	ns	**	**	**	**	***	**
Receptáculo														
SEM	PCT	MS	MO	PB	FND	FAD	CEL	LAD	DMOIV	EE	CNET	CSA	EB	UFL
S1	27%	16,4 b	92,1 a	5,8 a	27,4 b	20,5 b	18,6 b	2,8	75,0 a	2,6	33,3 a	32,9 a	17,4	0,96 a
S3	26%	13,6 b	89,7 a	3,8 b	32,0 ab	24,8 b	20,8 b	5,1	57,5 b	2,3	25,7 b	21,2 b	16,2	0,69 b
S5	19%	14,1 b	85,2 b	4,0 b	36,6 a	31,4 b	29,5 a	2,7	56,1 b	2,4	11,5 c	6,0 c	16,1	0,63 bc
S7	20%	21,4 ab	84,5 b	5,1 ab	37,3 a	34,0 a	30,1 a	4,6	48,6 b	4,6	7,5 cd	6,4 c	16,5	0,52 bc
S9	18%	34,1 a	83,6 b	6,0 a	37,6 a	36,0 a	31,3 a	5,3	46,0 b	4,5	3,8 d	3,4 c	16,2	0,48 c
CV	19,8	42,9	4,2	20,6	12,9	22,1	22,6	30,4	20,1	35,5	76,9	90,8	3,3	28,8
p	ns	*	**	*	*	**	*	ns	*	ns	**	**	ns	**
Hojas														
SEM	PCT	MS	MO	PB	FND	FAD	CEL	LAD	DMOIV	EE	CNET	CSA	EB	UFL
S1	21% a	18,6 b	80,8 ab	15,9 a	22,7 c	45,0 a	41,5 a	3,6	60,1	4,1	9,8 a	9,3 ab	17,1 ab	0,63
S3	18% ab	20,3 b	83,0 a	11,4 b	25,6 bc	23,8 c	17,5 c	6,3	56,1	3,8	11,2 a	10,3	17,1 a	0,60
S5	14% bc	25,2 b	79,4 abc	8,6 c	28,8 ab	26,6 c	17,3 c	9,1	60,4	3,5	7,7 b	12,1 a	16,2 abc	0,62
S7	12% bc	54,2 ab	78,7 bc	7,2 c	31,0 a	34,3 b	25,2 b	8,7	43,9	4,0	4,0 c	3,5 b	16,0 bc	0,43
S9	12% c	68,8 a	76,4 c	6,9 c	29,9 ab	34,1 b	25,7 b	7,5	54,3	3,8	3,6 c	3,2 b	15,2 c	0,54
CV	25,7	60,6	3,1	37,6	12,4	25,2	38,7	31,2	12,2	5,8	46,7	53,3	4,9	15,0
p	*	*	*	**	*	**	**	ns	ns	ns	**	*	*	ns
Tallos														
SEM	PCT	MS	MO	PB	FND	FAD	CEL	LAD	DMOIV	EE	CNET	CSA	EB	UFL
S1	39%	20,6 d	93,8	1,5 ab	57,7 c	42,8 c	38,5 c	4,5 c	57,3 a	0,3 b	26,7 a	26,2 a	17,0	0,71 a
S3	26%	22,0 cd	94,1	1,1 b	66,7 b	51,6 b	47,3 c	5,8 bc	44,1 ab	0,5 ab	15,8 b	15,8 a	17,1	0,53 ab
S5	29%	25,5 bc	93,6	1,0 b	76,5 a	62,3 a	56,1 a	7,0 b	32,9 bc	0,4 ab	5,2 c	3,9 b	17,0	0,37 bc
S7	25%	28,5 ab	92,5	1,3 ab	74,4 ab	59,0 a	51,1 ab	8,7 a	37,4 bc	0,5 ab	4,1 c	3,2 b	17,1	0,43 bc
S9	28%	30,8 a	93,4	1,8 a	75,1 ab	60,8 a	52,5 a	9,0 a	22,4 c	0,5 a	3,7 c	3,7 b	17,2	0,24 c
CV	19,9	16,8	0,7	24,3	11,3	14,7	13,7	27,3	33,5	17,4	90,5	96,8	0,4	38,7
p	ns	*	ns	*	*	**	**	**	*	*	*	**	ns	*

SEM: semana tras el inicio de floración; PCT: porcentaje de cada fracción en la materia seca de la planta; MS: materia seca (%); MO: materia orgánica (%MS); PB: proteína bruta (%MS); FND: fibra neutro detergente (%MS); FAD: fibra ácido detergente (%MS); CEL: celulosa (%MS); LAD: lignina (%MS); DMOIV: digestibilidad in vitro de la materia orgánica (%); DMOIV[†]: medida sobre muestra desengrasada (%); EE: extracto etéreo (%MS); CNET: carbohidratos no estructurales (%); CSA: carbohidratos solubles en agua (%MS); EB: energía bruta (MJ kg⁻¹ MS); UFL: unidades forrajeras leche (kg⁻¹ MS); UFL^{††}: calculada teniendo en cuenta la aportación calórica del aceite; CV: coeficiente de variación (%); p: significación del test F en el ANOVA; Nivel de significación: ns: no significativo; *p<0,05; **p<0,01; ***p<0,001; Letras distintas en la misma columna indican medias significativamente diferentes.

TABLA 2. Efecto del momento de corte (semanas tras comienzo de la floración) sobre el porcentaje de materia seca y valor nutricional (valores medios) de las fracciones (semillas, receptáculo, hojas y tallos) en la planta de girasol.

esta fracción aumenta desde 0,93 UFL/kg MS en el estado más precoz hasta un máximo de 1,73 UFL/kg MS en S5, que se mantuvo inalterado hasta la madurez fisiológica en S9. El contenido en azúcares desciende claramente con la madurez en todas las fracciones de la planta, en particular en los órganos de acumulación, oscilando entre S1 y S9 del 42,7 al 3,1%MS para las semillas, del 32,9 al 3,4%MS para el receptáculo y del 26,2 al 6,7%MS para los tallos, respectivamente. El contenido de las hojas fue claramente menor y su variación menos marcada (entre 9,3 y 3,2 %MS) descendiendo claramente a partir de S5 como consecuencia de la acusada senescencia de esta fracción. Por último, el aumento de la energía bruta en las diferentes fracciones y su variación con la madurez refleja, por un lado, la acumulación de aceite en las semillas y la variación del contenido en materia orgánica en el resto de la planta, oscilando el valor de EB (en MJ/kg MS) entre 18,5 y 29,0 para S, entre 17,4 y 16,2 para R, entre 17,1 a 15,2 para H y entre 17,0 a 17,2 para T, respectivamente, entre la semana posterior al inicio de floración y la madurez fisiológica de la planta.

TABLE 2. Effect of harvest date (weeks after flowering stage) on percentage of dry matter and nutritive value (means values) of the fractions (seeds, receptacle, leaves and stems) in sunflower whole plant.

Evolución del rendimiento y valor nutricional de la planta entera, el capítulo y la parte vegetativa de la planta de girasol

Los resultados del rendimiento en materia seca, composición y valor nutricional de la planta entera de girasol así como el porcentaje en el peso seco total de la planta y el valor nutricional de las fracciones parte vegetativa y capítulo, desde el inicio de floración del cultivo (S0) hasta la semana novena (S9) tras el inicio de floración, se muestran en la Tabla 3. Los estados de crecimiento del cultivo según escala de Schneiter y Miller (1981) reflejados en la tabla estuvieron en el intervalo entre R5.5 (floración con el 50% de las flores tubuladas abiertas en anthesis o post-anthesis, a los 66 días de la siembra) y R9.2 (próximo a la madurez fisiológica, con hojas y tallo con apariencia senescente y marchita, grano totalmente formado con textura consistente, pero blanda, a los 126 días tras la siembra).

El momento de corte no afectó significativamente al rendimiento del cultivo, que mostró un valor medio de 8,4 t MS ha⁻¹

Planta entera													
SEM	PROD	EC	MS	MO	PB	FND	FAD	LAD	DMOIV	EE	CSA	EB	UFL
S0	7,3	R5.5	20,1 cd	91,7 a	6,8 ab	43,9 b	33,8 bc	5,7 bc	60,3 a	1,5 e	24,4 ab	17,5 f	0,76 d
S1	8,1	R5.9	19,9 cd	92,0 a	5,9 bc	43,9 b	33,9 bc	5,4 bc	59,3 a	1,6 e	25,8 a	17,6 f	0,75 d
S2	7,8	R6	18,9 d	92,4 a	5,7 c	45,7 ab	36,4 ab	6,2 b	57,7 a	3,9 e	21,9 b	18,3 e	0,80 d
S3	8,5	R6	20,1 cd	92,4 a	6,0 bc	44,6 ab	35,5 abc	5,5 bc	54,0 b	10,6 d	14,8 c	19,5 d	0,93 c
S4	8,8	R7	21,7 cd	91,7 a	6,0 bc	45,0 ab	35,4 abc	5,1 bcd	50,6 c	15,5 c	9,4 d	20,4 c	1,02 ab
S5	9,3	R7-R8	25,3 cd	88,9 b	6,0 bc	43,9 b	34,8 abc	5,9 bc	49,2 cd	17,7 bc	7,7 de	21,3 b	1,05 ab
S6	8,4	R8	29,5 bc	85,9 cd	6,5 abc	43,4 b	37,8 a	8,0 a	41,5 f	17,6 bc	5,2 ef	21,3 b	0,93 c
S7	8,5	R8-R9.1	36,1 b	85,1 cd	6,6 ab	44,5 ab	37,9 a	8,2 a	40,3 f	17,8 bc	4,0 f	21,6 ab	0,92 c
S8	8,8	R9.1	52,2 a	86,2 c	7,2 a	45,7 ab	32,7 c	4,8 cd	46,3 e	20,7 a	3,6 f	22,1 a	1,08 a
S9	8,3	R9.2	58,6 a	84,1 d	7,2 a	47,1 a	36,6 ab	4,1 d	46,9 de	18,4 ab	3,0 f	21,2 b	1,01 b
CV	15,6	-	49,4	3,9	12,8	5,3	7,6	24,4	4,4	61,6	74,6	7,9	12,3
p	ns	-	***	**	**	*	*	***	***	***	***	***	***
Capítulo (incluye Receptáculo, Brácteas, Pétalos, Inflorescencias y/o Frutos)													
SEM	PROD	PCT	MS	MO	PB	FND	FAD	LAD	DMOIV†	EE	CSA	EB	UFL††
S0	1,7 d	24% d	18,1 e	92,7 a	9,2 b	29,5 c	23,5 c	6,8 bc	76,2 a	3,9 e	25,6 b	18,3 g	1,09 d
S1	3,1 c	38% c	17,4 e	93,7 a	6,9 e	32,1 bc	25,6 bc	5,1 de	75,4 a	2,8 e	33,7 a	18,1 g	1,05 d
S2	3,6 bc	46% b	17,0 e	94,0 a	6,7 e	37,0 a	29,6 b	5,4 cd	69,6 a	7,5 d	25,4 b	19,4 f	1,10 d
S3	4,3 ab	50% b	19,3 de	93,1 a	7,3 de	33,2 b	27,3 bc	5,2 de	65,0 bc	20,1 c	16,8 c	21,8 e	1,39 bc
S4	4,6 ab	52% ab	22,1 de	92,0 a	7,9 cd	32,5 bc	25,8 bc	5,0 de	60,4 cd	28,7 b	9,7 d	23,4 d	1,55 a
S5	5,4 a	58% a	25,8 de	88,5 b	8,1 cd	31,8 bc	24,7 c	5,3 cde	55,7 d	29,9 b	7,9 d	24,4 c	1,49 ab
S6	4,9 a	58% a	30,6 cd	84,4 c	8,7 bc	32,2 bc	29,2 b	8,5 a	46,9 e	29,3 b	5,7 e	24,5 bc	1,33 c
S7	4,9 a	58% a	37,6 c	83,4 c	9,1 b	31,9 bc	27,4 bc	8,1 ab	46,7 e	30,1 b	5,1 e	25,0 abc	1,35 c
S8	5,1 a	58% a	59,4 b	84,1 c	10,3 a	30,0 bc	29,6 b	4,9 de	56,8 d	35,2 a	4,3 e	25,6 a	1,62 a
S9	4,7 a	52% ab	72,1 a	80,8 d	10,8 a	30,4 bc	37,1 a	3,7 e	57,4 d	34,6 a	3,7 e	25,2 ab	1,58 a
CV	26,7	22,7	60,2	5,7	16,4	6,6	13,6	26,3	17,2	57,5	78,8	13,1	15,8
p	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
Parte vegetativa (incluye Hojas y Tallos)													
SEM	PROD	PCT	MS	MO	PB	FND	FAD	LAD	DMOIV	EE	CSA	EB	UFL
S0	5,6 a	76% a	20,7 c	91,4 ab	6,1 a	48,4 g	36,9 f	5,4 de	55,2 a	0,76 c	23,8 a	17,2 ab	0,66 a
S1	5,0 ab	62% b	21,3 c	90,9 ab	5,4 ab	51,1 fg	39,1 f	5,6 ab	48,8 b	0,82 bc	20,5 ab	17,3 a	0,56 b
S2	4,2 bc	54% c	20,5 c	91,0 ab	4,9 bc	53,3 ef	42,3 e	6,9 bc	46,9 b	0,87 bc	18,7 b	17,4 a	0,54 b
S3	4,3 bc	50% c	20,9 c	91,7 a	4,8 bc	56,2 de	43,8 de	5,9 cde	42,7 c	1,08 ab	12,6 c	17,2 ab	0,49 c
S4	4,2 bc	48% cd	21,3 c	91,1 ab	4,0 cb	58,5 cd	46,0 cd	5,3 e	40,2 c	1,18 a	8,8 cd	17,1 ab	0,45 c
S5	3,9 bc	42% d	24,3 c	89,6 abc	3,2 de	60,4 cd	48,8 bc	6,7 bcd	41,3 c	1,04 ab	7,8 d	17,2 ab	0,46 c
S6	3,5 c	42% d	27,9 bc	88,1 c	3,3 de	59,5 cd	49,9 ab	7,3 ab	34,0 de	1,14 a	4,4 de	16,8 c	0,36 de
S7	3,6 c	42% d	34,0 b	87,5 c	3,1 de	62,0 bc	52,5 a	8,3 a	32,1 e	1,02 ab	2,5 e	17,0 bc	0,33 e
S8	3,7 bc	42% d	42,5 a	89,1 bc	2,8 e	67,7 a	37,3 f	4,7 e	32,2 e	0,85 bc	2,7 e	17,2 ab	0,34 de
S9	3,6 bc	43% cd	43,9 a	87,6 c	3,3 de	65,5 ab	36,2 f	4,6 e	36,3 d	0,93 abc	2,2 e	16,9 c	0,39 d
CV	16,3	22,6	33,2	1,8	27,8	10,6	13,6	19,9	18,7	14,8	78,0	1,1	23,2
p	**	***	***	**	***	***	***	***	**	*	***	**	***

SEM: semana tras el inicio de floración; PROD: rendimiento de materia seca (t ha⁻¹); EC: estado de crecimiento del cultivo según escala de Schnetter y Miller (1981); PCT: porcentaje de cada fracción en la materia seca de la planta; MS: materia seca (%); MO: materia orgánica (%MS); PB: proteína bruta (%MS); FND: fibra neutro detergente (%MS); FAD: fibra ácido detergente (%MS); CEL: celulosa (%MS); LAD: lignina (%MS); DMOIV: digestibilidad in vitro de la materia orgánica (%); DMOIV†: medida sobre muestra desengrasada (%); EE: extracto etéreo (%MS); CNET: carbohidratos no estructurales (%); CSA: carbohidratos solubles en agua (%MS); EB: energía bruta (MJ kg⁻¹ MS); UFL: unidades forrajeras leche (kg⁻¹ MS); UFL††: calculada teniendo en cuenta la aportación calórica del aceite; CV: coeficiente de variación (%); p: significación del test F en el ANOVA; Nivel de significación: ns: no significativo; *p<0,05; **p<0,01; ***p<0,001; Letras distintas en la misma columna indican medias significativamente diferentes.

TABLA 3. Efecto del momento de corte (semanas tras el inicio de floración) sobre el rendimiento en materia seca, composición y valor nutricional (valores medios) de la planta entera de girasol, y de las fracciones capítulo (C) y parte vegetativa (PV).

(rango de variación de 7,3 a 9,3 t MS ha⁻¹ en las semanas S0 y S5, respectivamente). Los rendimientos obtenidos en este estudio pueden considerarse altos comparados con los referidos en la bibliografía y probablemente influidos por la realización del ensayo en condiciones de pequeña parcela, donde prácticamente no hay pérdida de forraje en la cosecha. Diversos trabajos refieren que el rendimiento en materia seca del cultivo aumenta rápidamente cuando la planta progresa desde los estados vegetativos hasta la floración completa. A partir de este momento la biomasa total del cultivo puede todavía aumentar o mantenerse constante durante un tiempo variable para disminuir en la proximidad de la madurez. Pereira (2003), al evaluar el rendimiento de cuatro cultivares de girasol cosechados entre los 30 y 51 días tras la floración, observó que la producción de materia seca no

TABLE 3. Effect of harvest date (weeks after flowering stage) on dry matter yield, composition and nutritive value (mean values) of whole plant, head (C) and stover (PV) fractions of sunflower.

fue significativamente afectada por el retraso en la fecha de cosecha, con producciones de entre 5,1 y 6,1 t MS ha⁻¹, respectivamente. En otro trabajo en el que se compararon tres fechas de corte (95, 110 y 125 días tras la siembra), Rezende et al. (2002) observaron una reducción en la producción de materia seca por hectárea conforme se retrasa el corte, con valores de 7,9; 7,2 y 6,0 t MS ha⁻¹, respectivamente. Dicha reducción, de -0,35 t MS semana⁻¹ entre las dos primeras fechas, prácticamente se duplica (-0,60 t MS semana⁻¹) para el corte más tardío. Los datos de un total de 127 campos de ensayo de girasol forrajero realizados por Lloveras (1980-1985) en distintas localidades de Galicia y del occidente de Asturias muestran valores medios de rendimiento de 6,2 t MS ha⁻¹ para plantas cosechadas alrededor de los 70 días de crecimiento en un estado del 10-70% de

floración, que se correspondería con la S0 de nuestro trabajo, oscilando entre 3,0 y 10,4 t MS ha⁻¹ como valores extremos.

El contenido en MS del cultivo se mantuvo prácticamente constante alrededor del 20% desde el inicio de floración hasta S4, momento a partir del cual la planta perdió humedad rápidamente, incrementándose como promedio el contenido en MS en 7,3 unidades semana⁻¹. Estos valores de MS son superiores a los referidos en trabajos realizados en Galicia y occidente de Asturias por Lloveras (1980-1985), en Italia por Peiretti y Meineri (2010) y en Francia por Demarquilly y Andrieu (1972).

El aporte de la fracción capítulo a la biomasa total se incrementó desde el 24% en S0 hasta el 57% en S9, si bien desde la 5ª semana tras la floración (S5) dicha proporción se mantuvo estable hasta la madurez fisiológica. Demarquilly y Andrieu (1972) indican que en la madurez fisiológica del girasol el porcentaje de capítulo se sitúa en torno al 60% de la MS total, valor muy cercano al observado en este trabajo.

La evolución de la calidad de la planta entera desde el inicio de floración hasta la madurez, entre las semanas S0 a S9, respectivamente, se caracterizó como sigue: el contenido en MO desciende (91,7 a 84,1 %MS) en particular desde S5, el contenido en FAD aumentó ligeramente (33,8 a 36,6 %MS), el de LAD aumentó de 5,7 a 8,2 %MS entre S0 y S7, respectivamente, para descender claramente a 4,8 y 4,1 %MS en las dos semanas más próximas a la madurez fisiológica. El contenido medio de PB fue de 6,4 %MS y este bajo valor se mantuvo relativamente constante con los valores mínimos (5,7 a 6,0 %MS) en las semanas S2 a S5 y los máximos (6,8 a 7,2 %MS) en las S0 y S9. A pesar del descenso en el contenido en PB de la parte vegetativa desde floración a la madurez fisiológica del cultivo, la concentración de PB en la planta entera tiende a aumentar debido a la contribución cada vez mayor de la fracción capítulo cuyo contenido en PB aumentó con el llenado y maduración del achenio.

La aparente menor lignificación de la pared celular en las proximidades de la madurez fisiológica se ve confirmada cuando observamos los valores de DMOIV, que desciende desde 60,3% en S0 hasta 40,3% en S7 para volver a aumentar significativamente a 46-47% en las dos semanas siguientes. El valor medio de la digestibilidad de la planta de girasol en este estudio (50,6 %) es marcadamente inferior al referido por otros autores, por ejemplo Demarquilly y Andrieu (1972) indican valores del 70-75% al inicio de la floración y del 60-65% para la planta en estado de grano pastoso (semanas S6 a S8 de nuestro estudio). Sin embargo, trabajos más recientes como el de Peiretti y Meineri (2010) indican valores de DMOIV cercanos al 60% para la planta en plena floración, más acordes con los resultados obtenidos en nuestro trabajo. Por otra parte, Rezende *et al.* (2002) también observaron como la digestibilidad se reduce rápidamente con la edad de la planta,

desde el 62,9 % a los 95 días hasta el 49,4% a los 125 días. Probablemente, esta reducción se deba a la interferencia de la fracción lipídica en la digestión ruminal. A pesar del bajo valor de digestibilidad de la planta de girasol, el contenido energético de la misma es relativamente elevado, comparativamente con otros forrajes de similar digestibilidad, debido a la acumulación de grasa en las semillas con el avance de la madurez a partir de los carbohidratos no estructurales sintetizados por la planta. En el período de S0 a S9 la variación del contenido de CSA y EE del girasol fue de 24,4 a 3,0 %MS y de 1,5 a 18,4 %MS, respectivamente, pudiendo destacarse que el aumento de la concentración de aceite (e inversamente el descenso de la de carbohidratos solubles) tiene lugar especialmente entre las semanas S3 y S8. La concentración de energía neta media fue de 0,92 UFL kg⁻¹ MS, valor comparable con el obtenido por Flores *et al.*, (2005) para la colección de ensilados de maíz evaluados *in vivo* en el CIAM (0,91 UFL kg⁻¹ MS).

Momento óptimo de aprovechamiento para ensilar

Para obtener ensilado de buena calidad y alto valor nutritivo la planta debe ser cortada en un momento adecuado, habiendo controversia a tal respecto en la bibliografía. La mayor parte de los trabajos encontrados presentan resultados de estudios realizados con plantas cosechadas en torno a la floración, entre los estados R5 y R6 de la clasificación fenológica de Schneiter y Miller (1981). Tan y Turner (1996) ensilaron girasol en diferentes estados y concluyeron que el final de la floración era el mejor momento para cosechar la planta. Donaldson *et al.*, (1980) indican que, para ensilajes de girasol cortado en el estado de plena floración y en el de grano lechoso los contenidos en proteína y digestibilidad de la materia orgánica *in vitro* fueron superiores en la fecha más precoz, con valores de PB de 13,8 y 9,8 %MS y de DMOIV de 68,6 y 64,4 %, respectivamente. En un ensayo realizado en el CIAM, Zea y Díaz (1990) ensilaron girasol cosechado en tres fechas: estados R4 (botón floral) y R5 con el 50% y 100% de plantas con flor abierta y observaron que descendía tanto la concentración de proteína bruta (11,2, 10,7 y 9,6 %MS) como la digestibilidad (72,3, 70,8 y 67,3%) de la planta para las tres fechas de corte evaluadas.

Frente a la recomendación de ensilar precozmente en la floración del cultivo, otros autores recomendaban ensilar en estados más avanzados. Demarquilly y Andrieu (1972) realizaron un estudio sobre dos variedades de girasol sembradas la primera semana de mayo a 60-90 mil plantas ha⁻¹ y registraron la evolución del rendimiento y digestibilidad de la materia orgánica *in vivo* (DMO) entre los estados de botón floral (R2) y de capítulos con la base amarilla y grano pastoso (R7-R8). La digestibilidad de la planta fue alta hasta la floración, y descendió finalizada esta fase hasta el estado de grano totalmente formado (R6) a razón de 2,7 ud DMO semana⁻¹ y



© Gonzalo Flores Calvete

Girasol en floración completa (estado fenológico R6).

posteriormente, desde este estado hasta el final del estudio a razón de 1,0 ud DMO semana⁻¹. La acumulación de biomasa del cultivo aumentó de forma muy rápida desde la aparición del botón floral (4,0 t MS ha⁻¹) hasta alcanzar, transcurridas 5 semanas, un máximo de 8,9 t MS ha⁻¹ en el estado de grano totalmente formado. A partir de este momento, la producción del cultivo se mantuvo constante o disminuyó ligeramente. La integración de la evolución de la digestibilidad y del rendimiento con el avance de la madurez del cultivo mostraba que la producción de energía neta leche (ENL) por hectárea aumentaba hasta el estado R6, para reducirse ligeramente en los estados más avanzados. Coincidiendo con estos resultados, Tosi *et al.* (1975) consideran que el momento más adecuado para ensilar se sitúa en el momento en que las plantas presenten capítulos con coloración verde-amarillenta en la base y los aquenios estén bien formados (estado R6-R7) y Gonçalves *et al.* (2000) extienden su recomendación a un estado más tardío, momento en el que las plantas presenten el 100% de aquenios maduros, brácteas amarillas a castañas y las hojas marchitas o secas, lo que se aproximaría al estado fenológico R8.

En la elección de la fecha de corte también se debe de considerar, en paralelo a la productividad de la cosecha y su valor nutricional, el contenido en MS del forraje. El bajo contenido en MS es considerado una de las desventajas observadas. En aprovechamientos precoces, cerca de la floración, la planta de girasol acumula mucha humedad en el tallo y en el receptáculo floral, con valores de MS < 20%, que ocasionaría una elevada producción de efluente, con las consiguientes pérdidas de materia seca y su riesgo medioambiental, y una baja ensilabilidad. Por lo tanto, para evitar la producción de efluente y asegurar una buena calidad de conservación, es necesario realizar aprovechamientos más tardíos, en los estados R7-R8, que permitirían maximizar la producción de MS y ENL por ha, situando el rango de MS entre el 25-28% con el que la producción de efluente será mucho más baja o incluso nula. En contrapartida, la digestibilidad de la fibra será menor pero el valor energético unitario de la planta puede quedar compensado por el incremento en la concentración de aceite. No parece tener ventajas la realización de aprovechamientos más tardíos, en la proximidad de la maduración fisiológica de las semillas, puesto que la planta en este estado tan avanzado presenta una inferior calidad nutricional y el

Parámetro	SD	Rango		SEC	R ²	SECV	r ²	RER
MO (%MS)	4,50	76,98	94,53	0,83	0,97	1,65	0,88	10,6
PB (%MS)	3,00	1,13	14,72	0,21	0,99	0,29	0,99	47,4
FND (%MS)	15,75	23,07	75,87	1,01	0,99	1,49	0,99	35,3
FAD (%MS)	11,98	17,20	60,35	1,00	0,99	3,64	0,90	11,9
CEL (%MS)	11,02	12,72	54,46	1,06	0,99	3,19	0,91	13,1
LAD (%MS)	1,70	2,78	8,89	0,82	0,77	1,13	0,55	5,4
EE (%MS)	13,31	0,33	51,44	0,26	0,99	0,85	0,99	59,8
CNET (%MS)	9,60	1,07	40,52	0,61	0,99	0,92	0,99	42,8
CSA(%MS)	8,80	2,92	39,46	0,66	0,99	1,23	0,99	29,7
DMOIV(%)	11,64	16,10	29,20	1,41	0,98	1,87	0,96	45,8
EB (MJ kg ⁻¹ MS)	3,62	29,44	73,90	0,16	0,99	0,29	0,99	23,8

MS: materia seca; MO: materia orgánica; PB: proteína bruta; FAD: fibra ácido detergente; FND: fibra neutro detergente; CEL: celulosa; LAD: lignina; EE: extracto etéreo; CNET: carbohidratos no estructurales; CSA: carbohidratos solubles en agua; DMOIV: digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica; EB: energía bruta; SD: desviación estándar; SEC: error estándar de calibración; SECV: error estándar de validación cruzada; R² y r²: coeficiente de determinación en calibración y validación cruzada; RER = Rango/SECV

TABLA 4. Estadísticos NIRS de la ecuación de calibración desarrollada para la predicción de la composición química, digestibilidad y energía bruta de las fracciones de la planta de girasol forrajero.

material senescente del tallo, parte de las hojas y del capítulo puede presentar una elevada contaminación fúngica que comprometa la estabilidad aeróbica del ensilado (Woolford et al., 1984).

Obtención de calibraciones NIRS para la predicción del valor nutritivo

Las características de los valores de referencia del set de calibración y los estadísticos que describen la calidad de las ecuaciones de predicción obtenidas, se muestran en la Tabla 4. Tanto el número de muestras como la variabilidad en su composición química, digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica y energía bruta se consideran adecuados para el desarrollo inicial de las calibraciones NIRS (Shenk y Westerhaus, 1995).

Los coeficientes de determinación en el proceso de calibración (R²), que ofrecen información sobre la calidad de la calibración, alcanzaron el valor de 0,99 para la mayoría de los parámetros, excepto para LAD, MO y DMOIV con valores de 0,77, 0,97 y 0,98, respectivamente. Shenk y Westerhaus (1996) indican que las ecuaciones NIRS con un coeficiente de determinación superior a 0,90, poseen una precisión excelente y para los valores superiores a 0,70 la calibración obtenida puede considerarse buena. Según Williams (2003), los modelos con valores del coeficiente de determinación en el proceso de calibración superiores a 0,91 se consideran excelentes. Por lo tanto, las ecuaciones obtenidas presentan una calibración excelente para todos los parámetros, excepto para LAD. Los errores estándar de calibración (SEC) y de validación cruzada (SECV) se sitúan dentro de los intervalos aceptables citados por otros trabajos de desarrollo de calibraciones del valor nutritivo de forrajes (Murray, 1993). El índice RER confirmó la buena precisión de las ecuaciones desarrolladas para todos los parámetros, superando en todos los casos el umbral de 10, excepto para LAD. Williams y Sobering (1996) sugieren que los modelos con RER>10 son adecuados para predecir cuantitativamente un parámetro.

TABLE 4. NIRS statistics of the calibration equation used for the prediction of the chemical composition, digestibility and gross energy of the fractions of forage sunflower.

Sólo se ha encontrado en la bibliografía la información proporcionada por Fassio et al. (2007) acerca de la aplicabilidad de la técnica NIRS para la predicción del valor nutricional del girasol forrajero, cuyos resultados muestran una calibración menos robusta que la obtenida en este trabajo, con menores valores de R² y mayores de SECV.

CONCLUSIONES

Los resultados sugieren que, contrariamente a la práctica habitual de ensilar girasol en plena floración, sería recomendable realizar la cosecha en el estado de crecimiento del cultivo R7-R8 para aprovechar el incremento de producción y la alta concentración energética en este momento, minimizando las pérdidas de efluente y no comprometiendo la obtención de una buena calidad de fermentación del ensilado. A pesar de estas ventajas, debe considerarse el elevado aporte de grasa a la ración cuando el girasol es cosechado en este estado, lo que limita su utilización como forraje mayoritario en la dieta. Las calibraciones NIRS desarrolladas para estimar el valor nutricional de las fracciones de la planta de girasol mostraron un buen poder predictivo para todos los parámetros excepto para lignina. La ampliación del grupo de calibración con más muestras procedentes de otras variedades, localidades y años podrá reforzar e incrementar la robustez de las calibraciones obtenidas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALEXANDER R.H. Y MCGOWAN M. (1966) The routine determination of *in vitro* digestibility of organic matter in forages. *J. Brit. Grassld. Soc.*, 21, 140-147.
- AOAC (2003) Official Method 2003.06 Crude Fat in Feeds, Cereal Grains and Forages. *Journal of AOAC International*, 86, 888-899.
- BARNES R.J., DHANOA M.S. Y LISTER S.J. (1989) Standard normal variate transformation and Detrending of near infrared

- diffuse reflectance spectra. *Applied Spectroscopy*, 43, 772-777.
- BROOKS C.C., GARNER G.B., GEHRKE C.W., MUHRER M.E. Y FANDER W.H. (1954) The effect of added fat on the digestion of cellulose and protein by ovine rumen microorganisms. *J. Anim. Sci.*, 13, 748-764.
- BUDIÑO G. (1991) Memorias del Centro de Investigaciones Agrarias de Mabegondo. Xunta de Galicia.
- CASTRO P., GONZÁLEZ-QUINTELA A. Y PRADA-RODRÍGUEZ D. (1990) Determinación simultánea de nitrógeno y fósforo en muestras de pradera. En: Actas de la XXX Reunión Científica de la SEEP, pp. 200-207. San Sebastián, España: Sociedad Española para el Estudio de los Pastos.
- CASTRO P. (1996) Efecto de tres temperaturas de secado sobre la composición química de forrajes y heces. En: Consejería de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural (Ed) Actas de XXXVI Reunión Científica de la SEEP, pp. 365-368. La Rioja, España: Sociedad Española para el Estudio de los Pastos.
- CASTRO P. (2000) Determinación de carbohidratos no estructurales en forrajes. En: Consellería de Agricultura, Ganadería e Política Agroalimentaria (Ed) *Actas de la III Reunión Ibérica de Pastos y Forrajes*, pp. 447-453. Santiago de Compostela, España.
- DEMARQUILLY C. Y ANDRIEU J. (1972) Chemical composition, digestibility and ingestibility of whole sunflower plant before and after ensiling. *Ann. Zootech.*, 21 (2), 147-162.
- DONALDSON E., HENDERSON A. R., EDWARDS R.A. Y HARPER F.F. (1980) Studies on sunflower silage. Paper nº 26. Edinburgh School of Agriculture. Edinburgh (Scotland).
- FASSIO A., GIMENEZ A, FERNÁNDEZ E, VAZ MARTINS D Y COZZOLINO, D. (2007) Prediction of chemical composition in sunflower whole plant and silage (*Helianthus annuus* L) by near infrared reflectance spectroscopy. *J. Near Infrared Spectrosc.*, 15, 201-207.
- FEDNA (2010) Tablas de composición y valor nutritivo de alimentos para la fabricación de piensos compuestos (3ª edición). C. de Blas, G.G. Mateos y P. García-Rebollar. Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal. Madrid. 502 pp.
- FLORES G., GONZÁLEZ-ARRÁEZ A., CASTRO J., CASTRO P., CARDELLE M., FERNÁNDEZ-LORENZO B. Y VALLADARES J. (2005) Evaluación de métodos de laboratorio para la predicción de la digestibilidad in vivo de la materia orgánica de ensilajes de hierba y planta entera de maíz. *Pastos*, 32, 5-99.
- GOERING H. Y VAN SOEST P. (1970) Forage fiber analysis (Apparatus, Reagents, Procedures and some applications). *Agriculture Handbook*, 379, 20 pp. ARS, USDA, Washington, EEUU.
- GONÇALVES L.C., TOMICH T.R. Y PEREIRA L.G.R. (2000) Produção e utilização de silagem de girassol. En: Simpósio de Forragicultura e Pastagens (1), pp. 203-236. Lavras: UFLA.
- LLOVERAS J. (1980-1985) Memorias del Centro de Investigaciones Agrarias de Mabegondo. Xunta de Galicia.
- MAGRAMA (2012) Anuario de Estadística del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Año 2012. 1137 pp. Gobierno de España.
- MARTENS H. Y NAES T. (1987) Multivariate calibration by data compression. En: P. Williams y K. Norris (Eds) Near-infrared technology in the agricultural and food industries. American Association of Cereal Chemists, pp. 57-88. St. Paul, Minnesota, USA.
- MIRANDA-GONZALEZ A. (2013) Gestión de la producción de forraje para vacas de alta producción. *Frisona*, XXXIII, 198, 92-99.
- MURRAY I. (1993) Forage analysis by Near-Infrared Spectroscopy. En: A. Davies et al. (Eds) *Sward Measurement handbook* (2nd. edition) Chapter 14, pp. 285-312. BGS Publications. Reino Unido.
- PALMQUIST D.L. (1987) Adding fat to dairy diets. *Animal Health and Nutrition*, 42, 32.
- PANCIERA M.T., KUNKLE W.E. Y FRANSEN S.C. (2003) Minor Silage Crops. En: Buxton et al. (Eds) *Silage Science and Technology*. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America; Soil Science of America, 937 pp, Madison-Wisconsin, USA.
- PEIRETTI P.G. Y G. MEINERI, (2010) Evolution of chemical composition, nutritive value and fatty acid content of sunflower (*Helianthus annuus* L.) during the growth cycle. *J. Anim. Vet. Adv.*, 9, 112-117.
- PEREIRA, L.G.R. (2003) Potencial forrageiro da cultura do girassol (*Helianthus annuus* L.) para produção de silagem. Tese (Doutorado em Ciência Animal) - Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG.
- REGO O.A., ROSA H.J.D. Y PORTUGAL P.V. (2005) The effects of supplementation with sunflower and soybean oils on the fatty acid profile of milk fat from grazing dairy cows. *Animal Research*, 54, 17-24.
- REZENDE A.V., EVANGELISTA A.R., SIQUEIRA G.R., TOSI H., SILVEIRA, A.C. Y BERNARDES T.F. (2002) Avaliação do potencial do girassol (*Helianthus annuus* L.) como planta forrageira para ensilagem na safrinha, em diferentes épocas de cortes. *Ciência e Agrotecnologia*, 26, Edição Especial, 1548-1553.
- SAS INSTITUTE (2009) SAS/Stat User's Guide, v.9.2, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA
- SCHNEITER A.A. Y MILLER J.F. (1981) Description of sunflower growth stages. *Crop Science*, 21, 901-903.
- SHENK J.S. Y WESTERHAUS M.O. (1991) Population definition, sample selection, and calibration procedures for near infrared reflectance spectroscopy. *Crop Science*, 31, 469-474.
- SHENK J.S. Y WESTERHAUS M.O. (1995) Analysis of agriculture and food products by near infrared reflectance spectroscopy. Monograph, NIR Systems Inc, Silver Spring, MD, USA.

- SHENK J.S. Y WESTERHAUS M.O. (1996) Calibration the ISI way. En: Davies A.M.C. y Williams P. (Eds). *Near Infrared Spectroscopy: the Future Waves*, NIR Publications, pp.198-202. Chichester, Reino Unido.
- TAN S. Y TURNER S. (1996) Research on the evaluation of silage quality of sunflowers. *Anadolu*, 6, 45-57.
- TILLEY J.M.A. Y TERRY R.A. (1963) A two stage technique for in vitro digestion of forage crops. *Journal of the British Grasslands Society*, 18, 104-111.
- TOSI H., SILVEIRA A.C., FARIA V.P. Y PEREIRA R.L. (1975) Avaliação do girassol (*Helianthus annuus*) como planta para a ensilagem. *Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia*, 4 (1), 39-48.
- VALDEZ F. R., HARRISON J. H. Y FRANSEN S. C. (1988) Effect of feeding corn-sunflower silage on milk production, milk composition, and rumen fermentation of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 71 (9): 2462-2469.
- VAN SOEST E.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 (10): 3583-3597.
- VERMOREL M. (1989) Energy: the Feed Unit System. En: R. Jarrige (ed). *Ruminant nutrition: Recommended allowances and feed tables*, pp 23-32. INRA y John Libbey Eurotext, París, Francia.
- VILLADA-LEGASPI E. (2013) Factores limitantes ao cultivo do milho: Alternativas. *Cooperación Galega-Caderno de Divulgación Técnica*, 113: 1-15.
- WILLIAMS P. (2003) Near-infrared technology getting the best out of light. A Short Course in the Practical Implementation of Near Infrared Spectroscopy for the User. PDK Projects Inc., Nanaimo, Canadá.
- WILLIAMS P. Y SOBERING D. (1996) How do we it: brief summary of the methods we use in developing near infrared calibration. En: Davies A.M.C. y Williams P. (Eds). *Near Infrared Spectroscopy: The future waves*, NIR Publications, pp.185-188. Chichester, Reino Unido.
- WIN ISI 1.5 (2000) ISI WINDOWS Near-Infrared Software, The Complete Software Solution for Routine Analysis, Robust Calibration and Networking, ISI (Infrasoft International), LLC, Port Matilda, PA, USA.
- WOOLFORD M.K. (1984) The silage fermentation. *Microbiology Series*, Marcel Dekker, Inc, New York, pp. 172-186.
- ZEA J. Y DÍAZ D. (1986-1987) Memorias del Centro de Investigacións Agrarias de Mabegondo. Xunta de Galicia.
- ZEA J. Y DÍAZ D. (1990) El maíz y el girasol para la producción de carne en alternativas con forrajes de invierno. *Mundo Ganadero*, 4, 44-49.



OPTIMIZACIÓN DEL USO DE LOS RECURSOS PASTABLES EN UNA ESTACIÓN DE ESQUÍ DEL PIRINEO

Isabel Casasús Pueyo¹, José Antonio Rodríguez Sánchez¹, Albina Sanz Pascua¹, Carlos Ferrer Benimeli², Ramón Reiné Viñales³ y Olivia Barrantes Díaz²

¹ Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA), 50059 Zaragoza. icasasus@aragon.es

² Dpto. Ciencias Agrarias y del Medio Natural, Facultad de Veterinaria, Universidad de Zaragoza, 50013 Zaragoza.

³ Dpto. Ciencias Agrarias y del Medio Natural, Escuela Politécnica Superior, Universidad de Zaragoza, 22071 Huesca.

OPTIMISATION OF PASTURE USE BY LIVESTOCK IN A PYRENEAN SKI STATION

Historial del artículo:

Recibido: 20/01/15

Revisado: 10/03/15

Aceptado: 11/08/15

Disponible online: 06/10/2015

Autor para correspondencia:

icasasus@aragon.es

ISSN: 2340-1672

Disponible en: <http://polired.upm.es/index.php/pastos>

Palabras clave:

Recursos forrajeros, ganado vacuno, uso del espacio, manejo del pastoreo.

Keywords:

Forage resources, beef cattle, space use, grazing management.

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue diagnosticar y mejorar el aprovechamiento ganadero de los pastos de la estación de esquí Aramón-Panticosa (Huesca). Se valoraron sus recursos forrajeros mediante la caracterización y cartografía de sus unidades de vegetación. Sobre las 227 ha de superficie pastable, se identificaron las siguientes unidades, con sus respectivos datos de superficie (ha) y cargas ganaderas admisibles (UGM/ha): *Bromion erecti* (117 y 1,67), *Festucion eskiae* (65 y 0,83), *Nardion strictae* (23 y 0,64), *Primulion intricatae* (11 y 1,63), *Festucion gautieri* (9 y 0) y "pastos higrófilos con nitrofilia" (2 y 0,38). La capacidad ganadera teórica global del área estudiada fue de 282 UGM/verano. Se determinaron los aspectos que influían en el uso real de los pastos, aprovechados actualmente por 314 vacas y sus crías durante 71 días en dos periodos (verano y otoño). Un día por semana se registraron cada 30 min la localización de cada grupo de vacas, su tamaño y actividad. Las vacas aprovecharon 190 ha (64% del total), a una carga ganadera que coincidía con la capacidad teórica de la estación. Se rechazaron zonas con menor valor pastoral (16,4 vs. 24,3 puntos en las zonas rechazadas y pastadas, respectivamente), mayor pendiente (23 vs. 16%), mayor altitud (1895 vs. 1695 m) y más alejadas de saladeros (1004 vs. 461 m), edificios y pistas. Las cargas y preferencias espaciales variaron según la época de pastoreo. El índice de electividad de Ivlev fue negativo en roquedos, bosques y pastos de *Festucion eskiae* y se seleccionaron positivamente los pastos de *Festucion gautieri*, *Nardion*, pastos higrófilos y *Bromion*. Se comparó el uso real de los pastos con su capacidad de carga y se propusieron medidas correctoras donde el manejo no era el más adecuado, modificando el manejo espacio-temporal del ganado y recomendando la provisión y localización de infraestructuras.

ABSTRACT

A study was conducted to improve grazing management of pastures of the ski station of Aramón-Panticosa (Huesca). Forage resources were evaluated by characterization and mapping the existing vegetation units. On the 227 ha considered as pasture, the different units, areas (ha) and carrying capacities (LU/ha) were as follows: *Bromion erecti* (117 and 1.67), *Festucion eskiae* (65 and 0.83), *Nardion strictae* (23 and 0.64), *Primulion intricatae* (11 and 1.63), *Festucion gautieri* (9 and 0) and "nitrate enriched hygrophilous pastures" (2 and 0.38). The theoretical global carrying capacity was established as 282 LU/summer. We studied the patterns of space use of the 314-cow herd grazing on this rangeland for 71 days in two periods (summer and autumn). Position, size and activity of cattle groups were recorded one day per week during the grazing season by scan-sampling at 30-min intervals. Cattle grazed on 190 ha (64% of the total area) and rejected areas of lower pastoral value (16.4 vs. 24.3 points in non-grazed and grazed areas), higher slope (23 vs. 16%), higher altitude (1895 vs. 1695 m) and farther from salt supply points (1004 vs. 461 m), buildings and roads. According to Ivlev electivity index, rocky areas, lower forests and *Festucion eskiae* pastures were rejected, while preferences were observed for *Festucion gautieri*, *Nardion*, hygrophilous pastures and *Bromion*. After a diagnosis of current use, recommendations were made for a more homogeneous distribution of livestock in the area, either by modifying temporal and spatial management or by providing infrastructures (fences, salt distribution areas) to ensure a proper use of each vegetation type.

INTRODUCCIÓN

Las estaciones de esquí se ubican en áreas de montaña cuyo paisaje actual es fruto de la ancestral interacción del hombre y el territorio y en las que la ganadería ha sido la actividad económica tradicional hasta fechas relativamente recientes. En estas zonas, la interacción entre el esquí y la ganadería puede materializarse en una simbiosis, aunque también a veces en una relación de competencia (López i Gelats *et al.*, 2011).

La simbiosis vendría dada, en primer lugar, porque los pastos de puerto en que se ubican las estaciones constituyen la principal fuente de alimentación del ganado durante un periodo relativamente largo del año y su manejo anual se articula en buena medida en torno a los rendimientos que alcanzan en esta fase (Casasús *et al.*, 2002). Este aprovechamiento es beneficioso y necesario para las estaciones de esquí, puesto que el pastoreo facilita la revegetación de las zonas erosionadas (Isselin-Nondedeu *et al.*, 2006) y reduce el impacto negativo que la instalación de las pistas pudiera tener sobre la biodiversidad (Barrantes *et al.*, 2013). Además, evita la existencia de una elevada biomasa residual al final del periodo vegetativo, que retiene aire y adelanta la fusión de la nieve, comportándose como un plano de deslizamiento en el deshielo y facilitando la formación de aludes (Ferrer, 1982). Por otro lado, la coexistencia de ambas actividades económicas ofrece a los ganaderos de montaña alternativas de diversificación laboral que pueden ser compatibles entre sí con un manejo adaptado de los rebaños (Casasús *et al.*, 2014).

Aunque las relaciones de competencia entre ambas actividades se plasman especialmente en el plano socioeconómico (Lasanta *et al.*, 2007), una gestión inadecuada de los recursos y los rebaños puede conducir a desequilibrios ambientales. Para solventarlos se requiere el desarrollo de planes de manejo de pastos con una sólida base técnica, tanto zootécnica como agroecológica, que permita aprovechar las posibilidades de utilizar el ganado como herramienta para la gestión medioambiental (Ates *et al.*, 2014). Para ello, es necesaria una adecuada caracterización de los recursos disponibles, así como de los factores que condicionan el comportamiento animal e influyen en el uso que los rebaños hacen del pasto. En este sentido, los rebaños en pastoreo libre (práctica habitual en los sistemas de producción de vacuno en montaña) utilizan el territorio de forma heterogénea, dependiendo de aspectos bióticos, físicos y antrópicos (Bailey, 2005). En ganado vacuno destacan factores como la pendiente, el tipo de vegetación, la distancia a puntos de agua, saladeros, cercas y caminos, y la existencia de zonas resguardadas del sol o el viento (Senft *et al.*, 1985), que además varían en importancia a lo largo de la estación de pastoreo (Casasús *et al.*, 2009). Esto puede dar lugar a que existan áreas sobrepastoreadas, con compactación del suelo, nitrofilia por acúmulo de deyecciones, etc.; mientras otras zonas se aprovechan a cargas subóptimas, facilitando la invasión

por especies arbustivas y el embastecimiento de la vegetación herbácea (Casasús *et al.*, 2007).

En este contexto, el objetivo de este trabajo fue, en primer lugar, valorar los recursos forrajeros y determinar la capacidad ganadera estival de los pastos de una estación de esquí del Pirineo. Posteriormente se determinaron los aspectos que influían en el uso actual de los pastos, para compararlos con su capacidad de carga y proponer medidas correctoras en caso necesario.

MATERIAL Y MÉTODOS

Área de estudio

El trabajo se realizó en los pastos de puerto donde se asientan las pistas de esquí de la estación de Aramón-Panticosa (Pirineo de Huesca, Figura 1), a una altitud de 1550 a 2100 msnm y con una superficie total de 297 ha. El área de estudio se caracteriza por un clima de montaña y alta montaña oceánico, con un 20% de precipitación para el periodo diciembre-enero y una temperatura media anual de 6,4°C. Por circunstancias de la gestión comunal de las diferentes partidas de pastos del municipio, el aprovechamiento ganadero del área de estudio se realiza exclusivamente en dos periodos, al inicio del verano y al inicio del otoño. En el año de estudio (2011), se registraron medias mensuales de 15,6 °C y 59 l m⁻² de pluviometría en los meses de junio y julio, siendo los valores de 10,0 °C y 72 l m⁻² en octubre.

Caracterización de los pastos

Para evaluar los recursos pastorales de la estación se identificaron las distintas ocupaciones del suelo (edificaciones, caminos e infraestructuras, cursos de agua e ibones, suelo desnudo natural y vegetación) (Figura 1), resultando que únicamente 227 de las 297 ha se correspondían con pastos aprovechables por el ganado. Sobre la superficie de pastos se realizó una caracterización de las unidades de vegetación en que se fragmentaba el tapiz vegetal y la cartografía y planimetría de cada una de ellas. Cada una de estas unidades se valoró con respecto a su uso ganadero: producción, calidad, eficiencia y rehúso de la oferta de pasto, estacionalidad, especies ganaderas más adecuadas, limitaciones al pastoreo, etc. A partir de la superficie ocupada por cada unidad y de su valoración pastoral se calculó la carga ganadera potencial o teórica durante el pastoreo de verano.

Para la *caracterización de unidades de vegetación* se utilizó el método fitosociológico de Zürich-Montpellier (Braun-Blanquet, 1979), mediante inventarios florísticos siguiendo un "muestreo preferencial", dado el conocimiento previo de los tipos de vegetación de la zona (Ferrer, 1981; Barrantes *et al.*, 2013). Durante la última semana de junio de 2011, se establecieron 22



© CITA-Aragón

Concentración de vacas en torno al bebedero de la zona de Fobas en la estación de esquí de Aramón-Panticosa.

inventarios (uno por cada 10,3 ha de media), aplicando a cada especie el índice de “abundancia-dominancia” (+, 1, 2, 3, 4, 5). Los inventarios se referenciaron geográficamente mediante GPS y en cada uno de ellos se midió también la pendiente (clinómetro), la orientación (brújula) y la altitud (GPS). Posteriormente los inventarios se adscribieron a alianzas fitosociológicas.

Para la *cartografía de los pastos* se contó con las siguientes capas de información digital: ortofotografías en color a escala 1:5000, vuelo del año 2000, descargadas desde SITAR (2012); Mapa Topográfico Nacional a escala 1:25 000 (CNIG, 2012); Mapa de curvas de nivel a escala 1:5000 descargado de SITAR (2012); y Mapa litológico descargado de CHEBRO (2012). A partir del mapa de las curvas de nivel, se obtuvo el Modelo Digital del Terreno mediante el software ArcGis 9.3.1, derivando mapas de altitudes, orientaciones y pendientes. Los 22 inventarios se localizaron en el mapa y a partir de ellos se realizaron interpolaciones sucesivas mediante el módulo de ArcGis “3D Analyst”-“Interpolate to raster”- método IDW (“*Inverse Distance Weighted*”). El resultado de cada interpolación se examinó analizando el ajuste de los polígonos obtenidos a las condiciones ecológicas refrendadas por nuestro conocimiento

experto, bibliografía y comprobaciones de campo: topografía (altitud, pendiente, orientación, cumbre, depresión, vaguada), litología, afloramientos rocosos, derrubios, aspecto de la vegetación en la fotografía aérea, abrevaderos, etc. El proceso fue iterativo hasta obtener los polígonos con los tipos de pastos y otros usos del suelo que mejor se ajustaron al trabajo de campo y de fotointerpretación y a las condiciones ecológicas mencionadas anteriormente.

Para el *cálculo de la carga ganadera admisible* en cada tipo de pasto se partió de la producción total u “oferta” (kg MS/ha/verano) en puertos pirenaicos (Ferrer *et al.*, 1978 y 1991) y de su Valor Pastoral (VP) (Daget y Poissonet, 1972). La Frecuencia específica (Fs) se calculó transformando los índices de abundancia-dominancia a porcentajes (Van der Maarel, 1979) (+ = 0,1%, 1 = 5%, 2 = 17,5%, 3 = 37,5%, 4 = 62,5% y 5 = 87,5%). La Contribución específica (Cs) se calculó a partir de la Fs y del porcentaje de suelo desnudo (SD): $Cs = Fs (100 - SD) / \sum Fs$. Finalmente, el $VP = 0,2 \sum Cs \cdot Is$, donde Is es el Índice específico, que cualifica empíricamente a cada especie entre 0 y 5 (base de datos de los autores). Con el VP se determinó la “eficiencia del pastoreo” (Ep), o porcentaje de la hierba ofertada que realmente es consumida en pastoreo: $Ep (\%) = 1,874 \cdot VP$

+ 1,15 (Ferrer *et al.*, 1991). La “producción utilizable” es la “oferta” (kg MS/ha/verano) * Ep (%). La calidad, expresada en Unidades forrajeras (UF/kg MS) se obtuvo de Ferrer *et al.* (1978, 1991), Ascaso *et al.* (1991) y Ascaso y Ferrer (1993), aplicándola a la “producción utilizable” (kg MS/ha/verano * UF/kg MS). Por otro lado, dado que una Unidad de Ganado Mayor (UGM) consume 3000 UF/año y que el ganado permanece en el puerto unos 120 días (1/3 del año), se consideró que el consumo teórico sería de 3000 UF / 3 = 1000 UF/UGM. De este modo, la carga ganadera admisible en cada uno de los tipos de pastos se calculó en UGM/ha/verano = UF/ha/verano/1000.

Uso ganadero de los pastos

Con el objeto de determinar el aprovechamiento ganadero real de los pastos en el área de la estación de esquí y de los factores que influían en dicho uso, se efectuó un seguimiento de los rebaños presentes en el área de la estación de esquí durante la estación de pastoreo del año 2011. Siguiendo el manejo tradicional en la zona, un rebaño de 314 vacas adultas y sus crías pastaron durante 71 días en el verano (14-06 a 28-07, 44 días) y otoño (30-09 a 27-10, 27 días) en las 297 ha de la estación, mientras que durante el resto del verano utilizaron otros puertos vecinos.

A lo largo de este periodo se analizaron las pautas de uso del espacio en 8 días, a intervalos semanales. Los datos se tomaron durante todo el periodo de luz diurna, por muestreo instantáneo (*scan-sampling*) (Lehner, 1996) a intervalos de 30 minutos, registrando la localización, tamaño y actividad de los distintos grupos de ganado. La información espacial se recogió sobre una impresión de las ortofotografías digitales del área de estudio. La información obtenida se incorporó al Sistema de Información Geográfica recogido en el apartado anterior, al que se añadieron las localizaciones de los puntos de agua y zonas de distribución de sal. Se obtuvieron un total de 278 observaciones, tomando como unidad cada posición del rebaño o de los distintos sub-grupos observados cada 30 min a lo largo de los 8 días de control. Para cada polígono de observación se calculó la carga ganadera (UGM $\text{mes}^{-1} \text{ha}^{-1}$) a partir de los datos de campo (función “*Field Calculator*” de ArcGis), utilizando como base de equivalencias las descritas para el ganado vacuno por el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (Real Decreto 1582/2006) (1 UGM por animal mayor de 24 meses, 0,6 UGM entre 6 y 24 meses y 0,2 UGM para menores de 6 meses). El dato de carga registrado en cada observación de 30 minutos se ponderó sobre el periodo total de aprovechamiento de los pastos.

Tomando como referencia las coordenadas del centroide del polígono se asignó el tipo de pasto y su valor pastoral y se calculó su altura, pendiente, exposición (función “*Extract values to point*” de ArcGis), distancia a caminos, edificaciones

y puntos de agua y sal (función “*Near*” de ArcGis). Los mismos parámetros se calcularon para los polígonos de vegetación o usos del suelo no utilizados por el ganado ($n = 73$ polígonos), tomando en este caso como unidad los polígonos con tipos de pastos y otros usos del suelo homogéneos obtenidos en el apartado anterior.

Para detectar las preferencias del ganado se calculó el índice de electividad de Ivlev $((A-D) / (A+D))$, donde A: % aprovechamiento y D: % disponibilidad (Jacobs, 1974) para los distintos tipos de pasto (*Bromion erecti*, *Festucion eskiae*, *Nardion strictae*, *Primulion intricatae*, *Festucion gautieri*, pastos higrofilos con nitrofilia, prados con bosque ralo, bosque muy ralo, bosque ralo y bosque denso) o usos del suelo (roquedo y una categoría formada por edificaciones, caminos e infraestructuras) ($n = 12$).

Los datos relativos al aprovechamiento ganadero de los pastos se analizaron mediante el paquete estadístico SAS (versión 9.1). Se compararon las características del pasto (altitud, pendiente, orientación, distancia a saladeros, bebederos, caminos y edificios y valor pastoral de la comunidad vegetal) en función del uso por el ganado (zonas pastadas vs. no pastadas), mediante un análisis de varianza (*proc GLM*) que consideraba esta variable como efecto fijo. Igualmente, se determinaron las preferencias según la época (verano vs. otoño) mediante análisis de varianza (*proc GLM*). En las zonas pastadas, se compararon las cargas ganaderas ejercidas y las características de los pastos anteriormente citadas entre las distintas categorías de vegetación (*proc GLM*, con el tipo de pasto como efecto fijo). En todos los casos el nivel de significación establecido fue $P < 0,05$. Se presentan las medias mínimo cuadráticas y el error estándar de la diferencia (e.e.d.).

En las zonas pastadas se establecieron correlaciones entre la carga ganadera y las características ambientales y topográficas de los pastos, mediante el coeficiente de correlación de Pearson (*proc CORR*). Finalmente, dadas las correlaciones entre algunas de las variables físicas y antrópicas observadas, se realizó un modelo de regresión lineal múltiple de las cargas ganaderas observadas sobre distintas variables mediante el método de eliminación progresiva (*backward elimination, proc REG*), considerando por separado las dos épocas de pastoreo (verano y otoño). El nivel de significación elegido para la salida de variables fue de $P > 0,05$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización de los pastos

Excluidas del área de la estación las 70 ha con ocupaciones del suelo diferentes a pastos (edificaciones, caminos e infraestructuras, cursos de agua e ibones, suelo desnudo natural) se

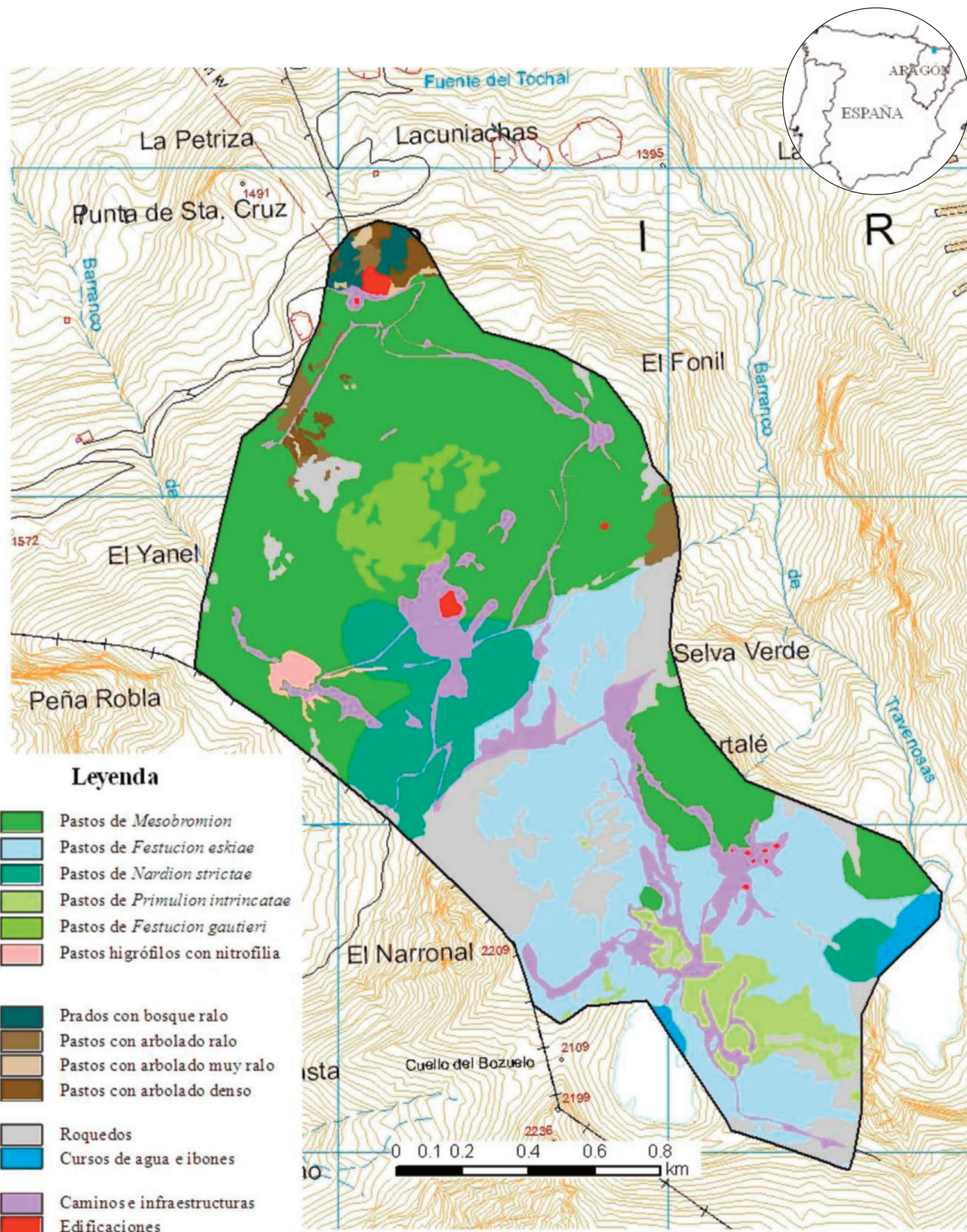


FIGURA 1. Cartografía de los tipos de pastos donde se asientan las pistas de la estación de esquí de Aramón-Panticosa.

FIGURE 1. Map of the different pasture types in the ski station of Aramón-Panticosa.

	BE	FE	NS	PI	FG	PH	Media
Superficie (ha)	117	65	23	11	9	2	-
Superficie (%)	51,6	28,6	10,1	4,8	4,0	0,9	-
Producción total, PT (kg MS/ha/verano)	4531 ⁽¹⁾	3534 ⁽¹⁾	2383 ⁽¹⁾	3258 ⁽¹⁾	0 ⁽¹⁾	2086 ⁽²⁾	2632
Valor Pastoral, VP	30,6	20,0	20,6	33,5	0	15,5	20,5
Eficiencia del pastoreo, Ep (%) ⁽³⁾	58,5	38,6	39,8	63,9	1,15	30,2	38,6
Producción utilizable, PU (kg MS/ha/verano) ⁽⁴⁾	2651	1378	948	2085	0	630	1282
Calidad (UF/kg MS)	0,63 ^(1,5,6)	0,60 ⁽¹⁾	0,68 ⁽¹⁾	0,78 ⁽¹⁾	- ⁽¹⁾	0,60 ⁽²⁾	0,66
Energía utilizable, EU (UF/ha/verano) ⁽⁷⁾	1670	827	645	1626	0	378	858
Carga ganadera, CG (UGM/ha/verano) ⁽⁸⁾	1,67	0,83	0,64	1,63	0	0,38	0,86
Ganado admisible total, GAT (UGM/verano) ⁽⁹⁾	195,4	53,4	14,7	17,8	0	0,7	-

BE: *Bromion erecti*, FE: *Festucion eskiae*, NS: *Nardion strictae*, PI: *Primulion intricatae*, FG: *Festucion gautieri*, PH: *Pastos higrófilos*. (1) Ferrer *et al.* (1978), (2) Ferrer *et al.* (1991), (3) Ascaso *et al.* (1991), (4) Ascaso y Ferrer (1993)

(5) Ep (%) = 1,874 * VP + 1,15 (Ferrer *et al.* 1991). (6) PU (kg MS/ha/verano) = PT (kg MS/ha/verano) * Ep (%). (7) EU (UF/ha/verano) = PU (kg MS/ha/verano) * UF/kgMS. (8) CG (UGM/ha/verano) = PU (UF/ha/verano) / 1000. (9) GAT (UGM/verano) = Superficie (ha) * CG (UGM/ha/verano).

TABLA 1. Superficie, potencial productivo y capacidad sustentadora de ganado de los tipos de pastos existentes en la estación de esquí de Aramón-Panticosa.

diferenciaron seis comunidades fitosociológicas principales. Éstas estaban asociadas a diferentes condiciones ecológicas: *Bromion erecti* preferentemente a bajas altitudes, ya en contacto con el bosque o los prados de siega; *Festucion eskiae* en laderas de elevada altitud y pendiente y vegetación preferentemente rala; *Nardion strictae* en depresiones o vaguadas; *Primulion intricatae* al pie de cantiles calizos y con encalado natural; *Festucion gautieri* sobre derrubios calizos y con una baja cobertura del suelo; y pastos higrófilos con nitrofilia en una pequeña depresión alrededor de un abrevadero. La cartografía se presenta en Figura 1 y la superficie, potencial productivo y capacidad de carga de cada unidad se muestran en la Tabla 1.

Los pastos de *Bromion erecti* se asentaban sobre sustrato calcáreo en las zonas más bajas del puerto, con cobertura total del suelo y una alta diversidad. Ocupaban 117 ha, el 51,6% de la superficie de pastos de la estación. Según Ferrer *et al.* (1978), su manejo óptimo implica dos pastoreos, uno de fin de junio a mediados de julio, antes de ir a pastos más altos, y otro a fin de septiembre (si no hay agostamiento por falta de lluvias estivales), cuando el ganado va bajando hacia el valle, totalizando una “oferta” media de 4531 kg MS/ha/verano. El VP medio obtenido en este trabajo fue de 30,6, muy semejante a los dados para este tipo de pastos: 33 (Ferrer *et al.*, 1991) o 31 (Ascaso y Ferrer, 1993). La carga ganadera admisible de los pastos de *Bromion* fue de 1,67 UGM/ha/verano.

Los pastos de *Festucion eskiae* se encontraban a partir de 1900 msnm, en laderas con pendiente de hasta 30° y sobre sustratos silíceos. Se caracterizaron por la dominancia de *Festuca eskia*, gramínea de hojas punzantes que consolida suelos deslizantes y dificulta la soliflucción (Ferrer, 1981), originando formas periglaciares de aspecto escalonado. Ocupaban 65 ha, el 28,6% de la superficie de pastos. Su aprovechamiento óptimo según Ferrer *et al.* (1978) implica un pastoreo temprano (mejor por caballos) a mediados de julio, con una “oferta” media de 3534 kg MS/ha/verano. El VP medio obtenido fue de 20,0, coincidiendo exactamente con el dado a estos pastos por Ferrer *et al.* (1991), y la carga ganadera calculada fue de 0,83 UGM/ha/verano.

TABLA 1. Area, potential forage production and stocking capacity of the different pasture types existing in the ski station of Aramón-Panticosa.

Los pastos de *Nardion strictae* se asentaban en superficies casi horizontales, formando un césped muy denso y con cobertura total del suelo. Ocupaban 23 ha, el 10,1% del área de pastos. Según Ferrer *et al.* (1978), su aprovechamiento óptimo implica tres pastoreos, con una “oferta” media de 2383 kg MS/ha/verano: el primero, temprano e intenso, en junio y mejor con equino, para despuntar el *Nardus stricta* y provocar un rebrote menos duro; el segundo en julio; y el tercero, intenso, a fin de verano para evitar los restos de *Nardus stricta*, que se descomponen mal y facilitan la fusión temprana de la nieve. El VP medio obtenido fue de 20,6, semejante al de 24 estimado por Ferrer *et al.* (1991), y la carga ganadera calculada fue 0,64 UGM/ha/verano.

Los pastos de *Primulion intricatae*, situados en las partes altas de laderas orientadas al norte, al pie de una sierra cretácica, tapizaban depresiones sobre derrubios calizos y bien provistas de agua. Es un césped tupido y de pequeño porte que destaca por su intenso color verde, ocupando sólo 11 ha, el 4,8% de la superficie de pastos. Se trata de pastos de excelente calidad y buena capacidad de rebrote, cuyo manejo óptimo se consigue con tres pastoreos a lo largo del verano, en julio, agosto y septiembre, totalizando una “oferta” media de 3258 kg MS/ha/verano. Por su ubicación en zonas altas y por su pequeño porte, son pastos preferentemente de ovino pero poco atractivos para el vacuno (San Miguel, 2001). El VP medio fue 33,5, el máximo encontrado en estos pastos y la carga ganadera admisible fue 1,63 UGM/ha/verano.

Los pastos de *Festucion gautieri* tapizaban pendientes inestables sobre derrubios calizos, dominados por *Festuca gautieri*, una gramínea basta y punzante, que retiene los suelos en escalones con forma de media luna. El recubrimiento del suelo fue sólo de un 35% y, además, debido a la percolación rápida del agua entre los derrubios, la hierba tendía a secarse muy pronto con el avance del verano. Ocupaban sólo 9 ha, el 4% de la superficie de pastos. El escaso recubrimiento y el bajo valor de la *Festuca gautieri* determinaban un VP prácticamente nulo (2,6). Por ello y porque se trataba de zonas de pendientes inestables, se consideró deseable impedir el paso del ganado por ellas, tanto por el alto riesgo de erosión como para

dejar fructificar a las leguminosas y favorecer su autorresiembrado. Con ello se aumentaría a medio y largo plazo el recubrimiento del suelo (Ferrer *et al.*, 1978), condición necesaria para una buena retención de la nieve durante el invierno. Consecuentemente, para los pastos de esta comunidad se consideró un VP y carga admisible nulos.

Los pastos higrófilos con nitrofilia se localizaron en una pequeña depresión de sólo 2 ha (el 0,9% de la superficie de pastos) con un abrevadero. La concentración de ganado en su entorno había propiciado una vegetación nitrófila, con especies de *Rumici-Chenopodietum boni-henrici* y de *Polygonion avicularis*, pero las fugas de agua del abrevadero originaron un encharcamiento permanente, con formación de suelos turbosos y aparición de *Carex nigra*, una especie característica de pastos higrófilos de *Caricion nigrae* (cobertura del 30% del suelo). En pleno verano, con agostamiento de otros pastos, esta comunidad húmeda y de intenso color verde atrae al ganado que, aunque rechaza el *Carex* dominante, consume otras especies acompañantes. Su aprovechamiento sería por tanto preferentemente en agosto. El VP obtenido en este trabajo fue de 15,5, coincidiendo prácticamente con el valor de 16 dado por Ferrer *et al.* (1991) para pastos de *Caricion nigrae*, y la carga ganadera calculada fue de 0,38 UGM/ha/verano.

Con la valoración y la planimetría de todos los tipos de pastos (Figura 1), la carga teórica total de los pastos de la estación de esquí (Tabla 1) fue de 1,24 UGM/ha/verano, resultado del pastoreo de las 227 ha de los distintos tipos de pasto que admitirían durante el verano una ganadería de hasta 282 UGM.

Uso ganadero de los pastos

El ganado aprovechó 190 de las 297 ha disponibles (64%), con una carga media de 0,646 UGM*mes/ha sobre estas 190 ha durante 2,3 meses. Por tanto, la cantidad de ganado que albergaron estos pastos durante el verano fue de 282 UGM, coincidiendo exactamente con la capacidad sustentadora descrita en el apartado anterior. Esto es el fruto del manejo ancestral establecido por los ganaderos, diseñado para acomodar las necesidades de los animales a la oferta de pastos disponibles (Casasús *et al.*, 2014).

Sin embargo, la determinación a gran escala del ajuste entre la capacidad de carga y la carga real es insuficiente para detectar si el pastoreo de las distintas comunidades vegetales es adecuado. Por ello, el diseño de planes de manejo requiere el estudio de las pautas de uso del territorio por el ganado y el seguimiento del estado de conservación de los recursos (García González, 2008). A este respecto, aunque el presente estudio se realizó en una única estación de pastoreo, los animales manifiestan gran fidelidad en sus preferencias espaciales en distintos años (Howery *et al.*, 1996), por lo que los resultados presentados en adelante pueden considerarse suficientemente representativos.

	Pastadas	No Pastadas	e.e.d.	Sign.
Altitud, m	1695	1895	20,5	***
Pendiente, %	16,0	23,0	1,1	***
Orientación, ° respecto al N	254	156	15,6	***
Distancia a los saladeros, m	461	1004	60,6	***
Distancia a los bebederos, m	442	381	30,9	*
Distancia a los edificios, m	237	402	25,0	***
Distancia a los caminos, m	63	88	9,3	**
Valor Pastoral, puntos	24,3	16,4	1,52	***

TABLA 2. Características físicas y valor pastoral de las zonas según su uso por el ganado.

TABLE 2. Comparison of characteristics of grazed and non-grazed areas in the ski station.

Los animales utilizaron el territorio de manera heterogénea, seleccionando unas áreas y rechazando otras de características físicas y valor pastoral diferentes. Como puede observarse en la Tabla 2, las zonas pastadas se localizaron a una altitud significativamente menor, con menor pendiente, exposición mayoritariamente Oeste y más próximas a puntos de sal, edificaciones y caminos. Inesperadamente, las zonas pastadas se encontraban como media más alejadas del agua, lo que indica que éste no era un factor limitante de su uso, a diferencia de lo referido en otras zonas (Bailey, 2005; Putfarken *et al.*, 2008). De hecho, la distancia máxima observada desde las zonas de pastoreo al bebedero más cercano fue de 1045 m, distancia inferior a las habitualmente recorridas diariamente por las vacas en pastoreo en puertos de montaña (Villalba *et al.*, 1995), o a los 2,5 km establecidos por Fraser (2004) como límite sobre el cual se reduce la presión de pastoreo. Finalmente, las zonas aprovechadas por el ganado presentaban un valor pastoral claramente superior a las rechazadas, lo que se debería a la alta proporción de áreas con valor pastoral nulo en éstas últimas (26,4% de roquedo, 10,8% de caminos e infraestructuras, 2,6% de cursos de agua e ibones).

Las preferencias espaciales del rebaño no fueron constantes a lo largo de todo el periodo de pastoreo, sino que variaron en función de la época de aprovechamiento, al igual que indicaron Senft *et al.* (1985). Como puede observarse en la Tabla 3, al inicio del verano las vacas se concentraban en áreas más

	Verano	Otoño	e.e.d.	Sign.
Carga ganadera total, UGM*mes/ha	0,747	0,362	0,109	**
Área de los polígonos, ha	6,0	16,8	2,9	**
Distancia a los saladeros, m	406	615	48,7	***
Distancia a los bebederos, m	482	329	27,7	***
Distancia a los edificios, m	252	195	21,5	*
Distancia a los caminos, m	61	149	7,7	***
Pendiente, %	16,6	14,4	0,9	*
Orientación, ° respecto al N	270	208	13,8	***
Altitud, m	1672	1759	15,1	**

TABLA 3. Efecto de la época de uso sobre la carga ganadera y características de los pastos aprovechados por el ganado en la estación de esquí.

TABLE 3. Effect of season (summer vs. autumn) on stocking rates and characteristics of grazed areas in the ski station.

reducidas y con cargas más altas que en el otoño, más cerca de los saladeros y caminos pero más alejados de los puntos de agua y edificaciones, en zonas con mayor pendiente y a menor altitud. La mayor concentración de los rebaños a principio del verano se ha observado también en otros trabajos (Parsons *et al.*, 2003), aunque con frecuencia asociada a una mayor proximidad a puntos de agua, que en este estudio no fue un condicionante del uso ganadero de los pastos. La mayor dispersión en otoño podría deberse a la reducción de los lazos materno-filiales con los terneros, de mayor edad y menos dependientes de la leche materna para su alimentación (Casasús *et al.*, 2012a). Por otro lado, la reducción en la oferta y la calidad del forraje en otoño (Casasús *et al.*, 2012b) haría necesario el uso de áreas de pastoreo más extensas, rechazadas incluso en épocas de mayor abundancia forrajera (Putfarken *et al.*, 2008).

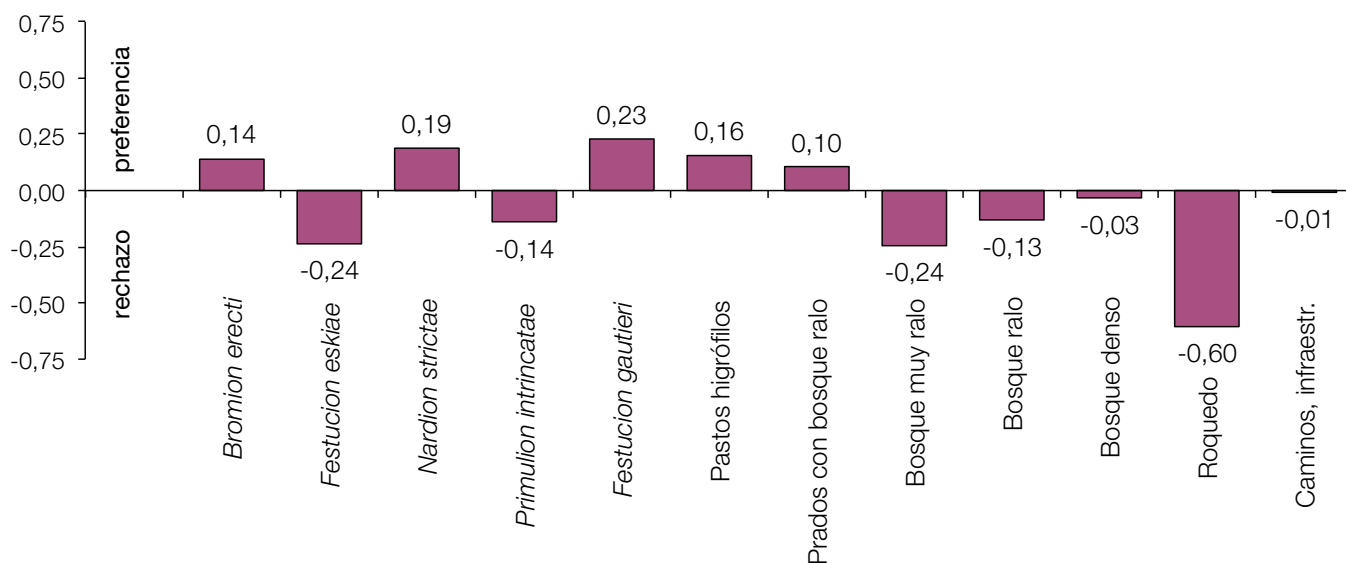
En la Figura 2 se presentan los valores del índice de electividad de Ivlev en los distintos tipos de pastos y usos del suelo de toda la superficie de la estación de esquí, considerando la estación de pastoreo en su conjunto. El valor de dicho índice fue positivo en algunos casos, indicando una preferencia de los animales por las comunidades de *Festucion gautieri*, *Nardion strictae*, pastos higrófilos con nitrofilia y *Bromion erecti*. Por el contrario, los valores fueron negativos en las comunidades de *Primulion intricatae*, *Festucion eskiae*, pasto arbolado muy ralo o ralo en la zona baja de la estación y especialmente en el suelo desnudo. Esto se adecuaba en parte a la capacidad de carga establecida para los distintos pastos en el apartado anterior. Sin embargo, algunos pastos de gran calidad (*Primulion*

intricatae) eran infrautilizados por su mayor altitud y distancia a saladeros, como ya observaron Gartzia *et al.* (2005) en condiciones similares. Por el contrario, la relativa selección positiva por los pastos de *Festucion gautieri*, a pesar de su nulo valor pastoral, se debería más a su uso como zona de tránsito que de pastoreo. Finalmente, la selección nula o negativa de los bosques en la zona inferior de la estación contrasta con lo observado en otros trabajos (Putfarken *et al.*, 2008; Casasús *et al.*, 2009), en los que éstos se seleccionan no tanto como recurso alimenticio sino como zona de refugio o por su provisión de sombra.

Los distintos tipos de pastos y categorías de usos del suelo fueron utilizados a distintas cargas, como puede observarse en la Tabla 4. Destaca especialmente la concentración de los rebaños a cargas muy altas (media 1,86 UGM*mes/ha) en caminos o sobre suelo desnudo en torno a las infraestructuras de esquí. Al tratarse de zonas de valor pastoral nulo, se trataba de áreas de descanso o desplazamiento y no de pastoreo. No se observaron diferencias significativas entre las diversas categorías de vegetación, que oscilaron entre 0,01 y 0,52 UGM*mes/ha. Sin embargo, destacan las bajas cargas de uso en *Festucion gautieri*, que serían zonas de tránsito muy disperso de los rebaños, y las cargas más altas en *Bromion erecti* y *Nardion strictae*, seleccionadas por su mayor valor pastoral para el ganado vacuno, como indicaran García-González *et al.* (2005).

La distribución de la carga ganadera en los pastos de la estación se presenta en la Figura 3. Como puede observarse,

Índice de electividad de Ivlev^s



^s Índice de selección de Ivlev = (A-D) / (A+D) donde A: % aprovechamiento, D: % disponibilidad; valores negativos indican rechazo, positivos preferencia y 0 indica indiferencia.

FIGURA 2. Selección ejercida por el ganado sobre las distintas comunidades vegetales y usos del suelo en el entorno de la estación.

FIGURE 2. Relative selection by cattle of the different vegetation types and land use categories in the ski station.

	BE	FE	NS	PI	FG	PH	CE	e.e.d.	Sign.
Carga, UGM*mes/ha	0,428 ^b	0,291 ^b	0,519 ^b	0,172 ^b	0,013 ^b	0,162 ^b	1,857 ^a	1,032	***
Altitud, m	1675 ^{de}	1992 ^{ab}	1857 ^{bc}	2080 ^a	1786 ^{cd}	1764 ^{cde}	1619 ^e	136	***
Pendiente, %	17,2 ^a	8,5 ^b	18,2 ^a	15 ^{ab}	11 ^{ab}	6,8 ^b	12,1 ^{ab}	9,8	***
Orientación, ° desde N	249	252	233	308	311	227	285	162	NS
Valor Pastoral, puntos	31 ^a	20 ^b	21 ^b	34 ^a	3 ^c	16 ^b	5 ^c	5,8	***

^{abcde} en la misma fila letras diferentes implican diferencias significativas ($P < 0,05$).

BE: *Bromion erecti*, FE: *Festucion eskiaae*, NS: *Nardion strictae*, PI: *Primulion intricatae*, FG: *Festucion gautieri*, PH: *Pastos higrófilos*, CE: caminos y edificaciones.

TABLA 4. Características de las zonas pastadas según el tipo de vegetación o uso del suelo.

dentro de las zonas pastadas, la carga ganadera no se distribuyó de forma homogénea. El análisis de correlaciones indicó que la densidad de ganado se relacionaba negativamente ($P < 0,001$) con la pendiente ($r = -0,23$), la distancia a caminos ($-0,32$), edificaciones ($-0,34$), saladeros ($-0,35$) y la altitud ($-0,38$), como indican otros autores con ganado vacuno en pastoreo libre y continuo (Kaufmann *et al.*, 2013; Probo *et al.*, 2013).

A diferencia de lo esperado, las cargas ganaderas se asociaron negativamente con el valor pastoral ($-0,38$). Esto se debe a que los pastos de mayor calidad (*Primulion intricatae*, 34 puntos) eran poco utilizados por las características físicas antes mencionadas. Por el contrario, las cargas eran muy altas en torno a los caminos e infraestructuras de la estación, cuyo valor pastoral es nulo y soportarían principalmente actividades de reposo o desplazamiento.

Cuando se analizó la intensidad de uso en función de la actividad desarrollada por los rebaños, las características físicas del terreno estuvieron más asociadas a las áreas elegidas para el descanso que a las de pastoreo, como observaron otros autores (Aldezábal *et al.*, 2012; García-González *et al.*, 1990). Así mismo, cuando estas asociaciones se analizaron considerando por separado las dos épocas de pastoreo, se observaron correlaciones más estrechas en la primera fase del aprovechamiento. Durante el verano las cargas alcanzaron correlaciones de hasta $-0,45$ con la distancia a los puntos de distribución de sal, de $-0,43$ con la altitud y la distancia a edificaciones o de $-0,42$ con el valor pastoral ($P < 0,001$). Por el contrario, la magnitud de las correlaciones fue menor en otoño, y varias de ellas no alcanzaron la significación. La existencia de correlaciones entre algunas de las variables topográficas indican, por ejemplo, que los saladeros se hallaban a baja altitud (correlación entre altitud y la distancia a los saladeros $r = 0,79$), próximos a edificios y caminos, relativamente alejados de las fuentes de agua y en zonas de escasa pendiente. Los bebederos estaban alejados de caminos, en zonas llanas y relativamente altas, mientras que las zonas de mayor valor pastoral estaban relativamente alejadas de caminos y edificaciones y próximas a las fuentes de agua. Estas correlaciones entre variables implican que no ejercen su efecto de manera aislada, como ya observaron otros autores (Tate *et al.*, 2003), por lo que debe considerarse su acción combinada. Para ello, el análisis de regresión lineal múltiple uti-

TABLA 4. Livestock use and characteristics of the main vegetation types and land use categories in the sites grazed by cattle.

lizado permitió tener en cuenta la combinación de las diversas variables en un punto, resultando dos modelos de utilización del territorio con distinto valor predictivo en función de la época de aprovechamiento:

a) en verano:

$$\begin{aligned} \text{Carga ganadera total (UGM*mes/ha)} = & -0,0019 * \text{Distancia a saladeros} + 0,0012 * \text{Altitud} \\ & - 0,0318 * \text{Valor Pastoral} + 0,0039 * \text{Orientación} - 0,0015 * \text{Distancia bebederos} \end{aligned}$$

$R^2 = 0,620$

b) en otoño:

$$\begin{aligned} \text{Carga ganadera total (UGM*mes/ha)} = & + 0,0003 * \text{Altitud} - 0,0015 * \text{Distancia caminos} \\ & \text{e infraestructuras} \end{aligned}$$

$R^2 = 0,348$



Vaca Parda de Montaña en los pastos de *Bromion erecti* de la parte baja de la estación de esquí Aramón-Panticosa.

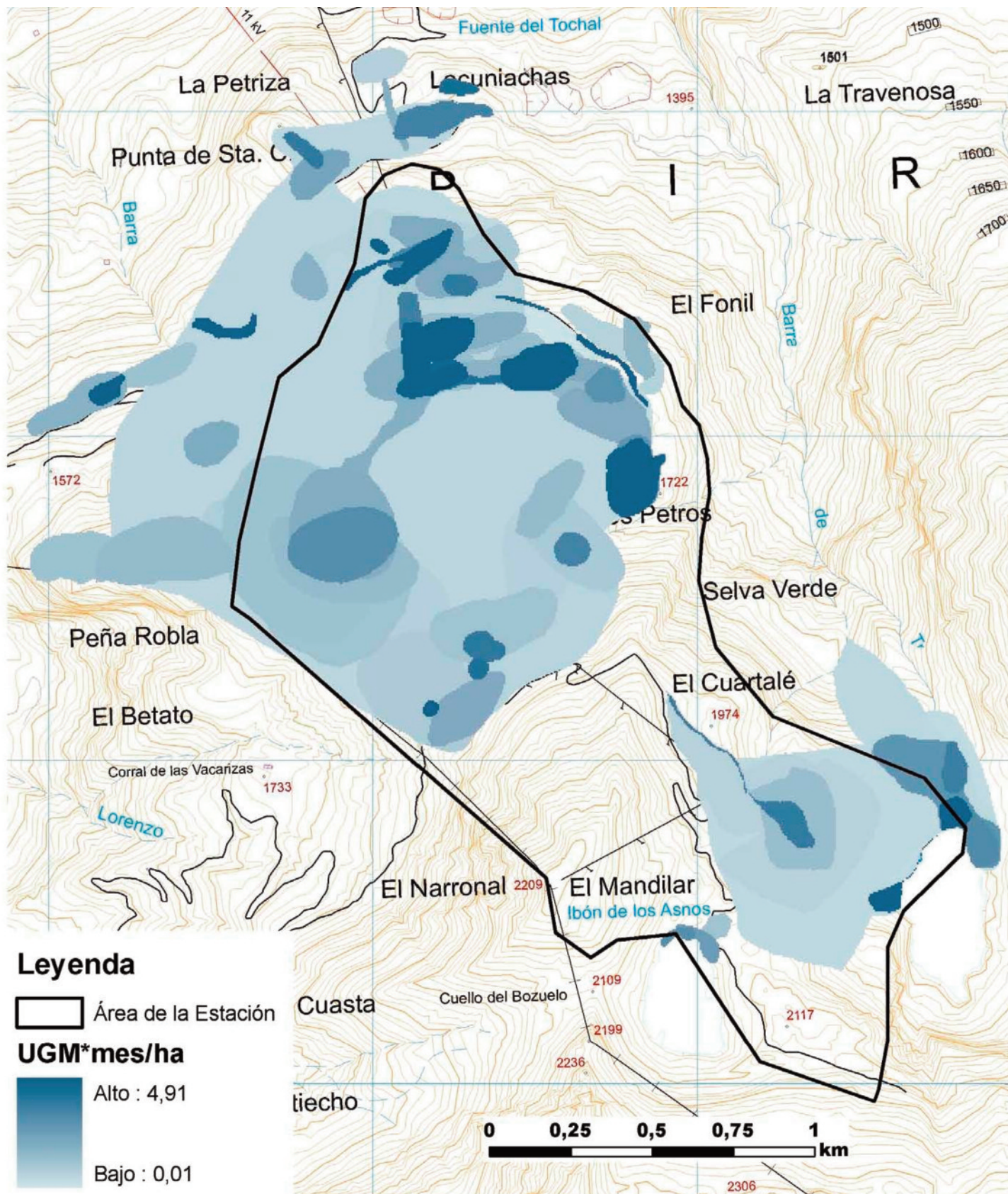


FIGURA 3. Distribución de la carga ganadera de ganado vacuno en el área de estudio.

FIGURE 3. Cattle stocking rate distribution in the study area.

En verano, las características tanto físicas como de origen antrópico condicionaban de manera importante la carga ganadera ejercida sobre los pastos. La distancia a los saladeros explicaba el 34% de la varianza del modelo, la altitud el 31%, el valor pastoral el 14%, la orientación el 14% y la distancia a bebederos sólo el 7%; el resto de variables analizadas no se incluyeron en el modelo por no ser significativas. Al tratarse de una regresión múltiple, el efecto de algunas variables puede tener un signo diferente al observado en las correlaciones simples. Éste sería el caso de la altitud, que presentó un signo positivo, matizado por su alta correlación con la distancia a los puntos de sal, que ejercía un efecto inverso.

El modelo obtenido en otoño explicaba un menor porcentaje de la variabilidad real observada en las cargas, que sólo se vieron influidas por la altitud (84% de la varianza observada) y en menor medida por la distancia a caminos e infraestructuras de la estación de esquí (16%). Como se ha indicado previamente, la distribución de los animales en otoño está menos ligada a las características del territorio. Esto podría deberse, por un lado, a la menor disponibilidad de pasto de calidad en esta época, que obliga a los rebaños a utilizar territorios inicialmente menos preferidos por la menor relación entre el coste que supone acceder a ellos y el beneficio obtenido (Bailey *et al.*, 1998), y que sin embargo se aprovechan en ausencia de otros recursos. Por otra parte, las vacas serían menos selectivas al final del otoño, al encontrarse en un estado más avanzado de la lactación y tener menores necesidades nutricionales (Farrugia *et al.*, 2006), que podrían cubrirse con el pasto disponible en zonas antes rechazadas.

Otros autores desarrollaron modelos con un reducido número de variables (Ganskopp y Bohnert, 2009), incluyendo, en este orden, la distancia en vertical y horizontal al agua, la calidad del forraje y la pendiente. Sin embargo, su capacidad predictiva era muy limitada. Putfarken *et al.* (2008) obtuvieron varios modelos considerando distintas épocas de uso y especies ganaderas, que incluían factores de origen físico, antrópico y de calidad del pasto, con coeficientes de regresión de 0,22 a 0,49. Finalmente, el modelo desarrollado por Brock y Owensby (2000) para analizar la distribución espacial de los rebaños tenía un valor predictivo muy alto, pero necesitaba de un gran número de variables (hasta 19, destacando el sistema de pastoreo, fecha de uso, pendiente, orientación, distancia a puntos de provisión de agua, bloques minerales, sombra o cercas y diversas interacciones). El modelo obtenido en este trabajo, siendo relativamente sencillo, se consideró adecuado para predecir el uso de una zona de pasto en función de sus características.

Propuestas para la optimización del manejo de los pastos

Aunque el aprovechamiento que el ganado vacuno realizaba en los pastos del área de estudio se correspondía con su capacidad sustentadora global, no en todos los casos el manejo

coincidía con el descrito como más adecuado para cada tipo de vegetación en la primera parte de este trabajo. Por tanto, se elaboraron una serie de propuestas que permitieran optimizar tanto los rendimientos del ganado como un consumo adecuado del pasto, garantizando la renovabilidad de los recursos pastables y la conservación del manto nival en invierno.

Los resultados indican que los pastos de *Bromion erecti* se aprovechaban de acuerdo con las recomendaciones establecidas; al encontrarse en las zonas más bajas del puerto, el ganado los pastaba al inicio y final del periodo de pastoreo, antes y después de subir a pastos más altos o alejados. Sin embargo, en ellos se recomendaría una mayor presión de pastoreo que permitiera controlar la proliferación arbustiva en el estrato subalpino (García González, 2008). Los pastos de *Festucion eskiae* y especialmente los de *Festucion gautieri* se evitaban de manera natural por su elevada pendiente en el primer caso o baja cobertura vegetal y escasa apetecibilidad en el segundo; este manejo se ajustaba al recomendado para prevenir la erosión del suelo.

Por el contrario, los pastos de gran calidad de *Primulion* deberían aprovecharse durante todo el verano, pero el aprovechamiento tradicional del puerto implicaba el uso de otras partidas durante la parte central del verano. Del mismo modo, los pastos de *Nardion* se utilizaban sólo al principio del verano, mientras que deberían utilizarse también en otoño, para reducir la biomasa residual, especialmente del *Nardus stricta* dominante en algunas zonas. La difícil descomposición del residuo de esta especie, de hojas y rizomas duros y coriáceos, podría comprometer la estabilidad posterior de la nieve. Otros estudios han descrito que la instalación de puntos de agua, áreas de distribución de sal o bloques vitamínico-minerales y vallados permite mejorar el uso pastoral del territorio (Bailey *et al.*, 2008). Al actuar como atrayentes del ganado y de sus efectos asociados (consumo, pisoteo, fertilización), pueden incluso contribuir a la mejora de la calidad del pasto y la prevención de su embastecimiento (Probo *et al.*, 2013). Por ello, se recomendó forzar el uso de estas áreas en la época y con la carga adecuada instalando nuevos puntos de distribución de sal o cercando temporalmente el acceso a otras zonas preferidas. Finalmente, aunque la disponibilidad de puntos de agua cercanos no fue un factor decisivo en el uso de estos pastos, se recomendó su ubicación en pendiente, el uso de válvulas de nivel constante y un mantenimiento periódico para evitar los derrames que daban lugar a la presencia de pastos higronitrófilos de *Caricion nigrae*. Con esto se facilitaría el retorno del pasto a su carácter inicial, posiblemente una comunidad de *Nardion strictae*.

Por último, se recomendaba alternar distintas zonas de reposo para evitar la acumulación de deyecciones y materia orgánica en descomposición en áreas fijas. Los ganaderos manifestaron su disponibilidad para colaborar en una mejor

gestión de los pastos objeto de este estudio (Casasús *et al.*, 2014), por lo que dichas medidas correctoras tendrían una acogida positiva.

CONCLUSIONES

Este trabajo permitió, en primer lugar, demostrar la adecuación de la metodología utilizada para la valoración de la capacidad ganadera de los pastos, ya que las cargas ganaderas observadas en los pastos de la estación de esquí en estudio se ajustaron a su capacidad sustentadora estimada. Sin embargo, el uso del territorio por el ganado fue muy heterogéneo tanto en el espacio como en el tiempo y estuvo condicionado por factores ligados al tipo de vegetación y también por aspectos de origen físico o antrópico. Las discordancias entre el uso real y el más adecuado para cada zona y tipo de pasto indican la idoneidad de establecer recomendaciones para optimizar dicho aprovechamiento, considerando tanto los rendimientos de los rebaños como la conservación de los recursos y de la calidad de la nieve en invierno y que permitan potenciar las sinergias entre ambas actividades.

AGRADECIMIENTOS

A los ganaderos y al personal de la estación de Aramón-Panticosa por las facilidades prestadas. Financiación procedente del Convenio PCTAD Aramón-CITA-UniZar (089-10AC2 2011), INIA (RTA2010-057) y FEDER.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALDEZÁBAL A., LASKURAIN N.A. Y MANDALUNIZ N. (2012). Factores determinantes del uso del espacio por parte del ganado vacuno y equino en pastos de montaña. En: Canals R.M. y San Emeterio L. (Eds) *Nuevos retos de la ganadería extensiva: un agente de conservación en peligro de extinción*, pp 325-330, Pamplona: Sociedad Española para el Estudio de los Pastos.
- ASCASO J. Y FERRER C. (1993). Valoración agronómica de los pastos de puerto del Valle de Benasque (Pirineo). Clasificación, valor forrajero y carga ganadera. *Pastos*, 23, 99-127.
- ASCASO J., FERRER C., MAESTRO M., BROCA A. Y AMELLA A. (1991). Producción y calidad de pastos de montaña (Pirineo Central) de alto valor pastoral. En: *XXXI Reunión Científica de la S.E.E.P.*, pp 241-248. Murcia: Sociedad Española para el Estudio de los Pastos.
- ATES S., CASASÚS I. Y LOUHAICHI M. (2014). Diverse and resilient agro-pastoral systems: a common goal for the Mediterranean regions. En: *"Forage resources and ecosystem services provided by Mountain and Mediterranean grasslands and rangelands"*. Reunión conjunta de las redes
- FAO Mountain Pastures, Mediterranean Forage Resources y Mountain Cheese, pp 545-557. Clermont-Ferrand, Francia.
- BAILEY D.W. (2005). Identification and creation of optimum habitat conditions for livestock. *Rangeland Ecology & Management*, 58, 109-118.
- BAILEY D.W., DUMONT B. Y WALLIS DEVRIES M.F. (1998). Utilization of heterogeneous grasslands by domestic herbivores: theory to management. *Annales de Zootechnie*, 47, 5-6.
- BAILEY D.W., VANWAGONER H.C., WEINMEISTER R. Y JENSEN D. (2008). Comparison of low-moisture blocks and salt for manipulating grazing patterns of beef cows. *Journal of Animal Science*, 86, 1271-1277.
- BARRANTES O., REINE R. Y FERRER C. (2013). Changes in land use of Pyrenean mountain pastures - Ski runs and livestock management - between 1972 and 2005 and the effects on subalpine grasslands. *Arctic Antarctic and Alpine Research*, 45, 318-329.
- BRAUN-BLANQUET J. (1979). *Fitosociología. Bases para el estudio de las comunidades vegetales*. Madrid: Blume Ediciones.
- BROCK B.L. Y OWENSBY C.E. (2000). Predictive models for grazing distribution: a GIS approach. *Journal of Range Management*, 53, 39-46.
- CASASÚS I., BERNUÉS A., SANZ A., VILLALBA D., RIEDEL J.L. Y REVILLA R. (2007). Vegetation dynamics in Mediterranean forest pastures as affected by beef cattle grazing. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 121, 365-370.
- CASASÚS I., BLANCO M., OREA M. Y REVILLA R. (2009). Aprovechamiento de pastos forestales de montaña mediterránea por vacas de cría: Pautas de actividad y selección de la dieta. En: Reiné R. et al. *La multifuncionalidad de los pastos: producción ganadera sostenible y gestión de los ecosistemas*, pp 621-626. Huesca: Sociedad Española para el Estudio de los Pastos.
- CASASÚS I., RIEDEL J.L., BLANCO M. Y BERNUÉS A. (2012a). Extensive livestock production systems and the environment. En: Casasús I., Rogosic J., Rosati A., Stokovic I. y Gabiña D. (Eds) *Animal Farming and Environment Interactions in Mediterranean Regions*. Wageningen Academic Press, 131, 81-88.
- CASASÚS I., RODRÍGUEZ-SÁNCHEZ J.A. Y SANZ A. (2014). Diagnóstico de situación y perspectivas de futuro de la ganadería en el entorno de una estación de esquí del Pirineo. *Información Técnica Económica Agraria*, 110, 71-88.
- CASASÚS I., RODRÍGUEZ-SÁNCHEZ J.A., SANZ A., BARRANTES O., REINÉ R. Y FERRER C. (2012b). Bases técnicas para el manejo de los pastos en la estación de esquí de Panticosa. En: *Informe Técnico. Convenio Panticosa Turística (grupo ARAMÓN) - CITA - Universidad de Zaragoza - Parque Científico Tecnológico Agroalimentario Aula Dei (PCTAD-089-10AC2_2011)*.
- CASASÚS I., SANZ A., VILLALBA D., FERRER R. Y REVILLA R. (2002). Factors affecting animal performance during the

- grazing season in a mountain cattle production system. *Journal of Animal Science*, 80, 1638-1651.
- CHEBRO (2012) Cartografía temática. Confederación Hidrográfica del Ebro. Disponible en: <http://www.chebro.es/>
- CNIG (2012) Mapa Topográfico Nacional. Centro Nacional de Información Geográfica. Disponible en: <https://www.cnig.es/>
- DAGET P. Y POISSONET J. (1972). Un procédé d'estimation de la valeur pastorale des pâturages. *Fourrages*, 49, 31-39.
- FARRUGGIA A., DUMONT B., D'HOUR P., EGAL D. Y PETIT M. (2006). Diet selection of dry and lactating beef cows grazing extensive pastures in late autumn. *Grass and Forage Science*, 61, 347-353.
- 4 FERRER C., AMELLA A. Y MAESTRO M. (1978). Valoración de los pastos de puerto de los Valles de Tena y Canfranc. En: Ocaña M. (Ed) *Ensayo de planificación ganadera en Aragón. Estudio del ecosistema pastoral del Pirineo Aragonés y planificación técnico-económica de su explotación*, pp 111-142. Zaragoza: Institución Fernando el Católico.
- FERRER C. (1981). *Estudio geológico, edáfico y fitosociológico de la zona de pastos del Valle de Tena*. Zaragoza: Institución Fernando el Católico.
- FERRER C. (1982). Los pastos del Pirineo Central y su explotación ganadera. *El Campo* 124, 41-45.
- FERRER C., ASCASO J., MAESTRO M., BROCA A. Y AMELLA A. (1991). Evaluación de pastos de montaña (Pirineo Central): fitocenología, valor pastoral, producción y calidad. En: XXXI Reunión Científica de la S.E.E.P., pp 189-196. Murcia.
- FRASER D.A. (2004). *Factors influencing livestock behaviour and performance*. Forest Practices Branch, British Columbia Ministry of Forests, Victoria, Canada.
- GANSKOPP D.C. Y BOHNERT D.W. (2009). Landscape nutritional patterns and cattle distribution in rangeland pastures. *Applied Animal Behaviour Science*, 116, 110-119.
- GARCÍA-GONZÁLEZ R. (2008). *Management of Natura 2000 habitats. Alpine and subalpine calcareous grasslands 6170*. Comisión Europea.
- GARCÍA-GONZÁLEZ R., ALDEZÁBAL A., GARÍN I. Y MARINAS A. (2005). Valor nutritivo de las principales comunidades de pastos de los puertos de Góriz (Pirineo Central). *Pastos*, 35, 77-103.
- GARCÍA-GONZÁLEZ R., HIDALGO R. Y MONTSERRAT C. (1990). Patterns of livestock use in time and space in the summer ranges of the Western Pyrenees: A case study in the Aragón valley. *Mountain Research and Development*, 10, 241-255.
- GARTZIA M., MARINAS A., CAMPO A., GARCÍA-GONZÁLEZ R. Y GÓMEZ D. (2005). Valoración eco-pastoral de los pastos del puerto de Aísa (Pirineo Occidental). En: De la Roza, B. et al. (Eds.), *Producciones agroganaderas: Gestión eficiente y conservación del medio natural (Vol. II)*, pp. 817-824. Siero, España: Servicio Regional de Investigación y Desarrollo Agroalimentario.
- HOWERY L.D., PROVENZA F.D., BANNER R.E. Y SCOTT C.B. (1996). Differences in home range and habitat use among individuals in a cattle herd. *Applied Animal Behaviour Science*, 49, 305-320.
- ISSELIN-NONDEDEU F., REY F. Y BEDECARRATS A. (2006). Contributions of vegetation cover and cattle hoof prints towards seed runoff control on ski pistes. *Ecological Engineering*, 27, 193-201.
- JACOBS J. (1974). Quantitative measurement of food selection. A modification of the forage ratio and Ivlev's electivity index. *Oecologia*, 14, 413-417.
- KAUFMANN J., BORK E.W., BLENIS P.V. Y ALEXANDER M.J. (2013). Cattle habitat selection and associated habitat characteristics under free-range grazing within heterogeneous montane rangelands of Alberta. *Applied Animal Behaviour Science*, 146, 1-10.
- LASANTA T., LAGUNA M. Y VICENTE-SERRANO S.M. (2007). Do tourism-based ski resorts contribute to the homogeneous development of the Mediterranean mountains? A case study in the Central Spanish Pyrenees. *Tourism Management*, 28, 1326-1339.
- LEHNER P.N. (1996). *Handbook of ethological methods*. 485. Cambridge University Press Cambridge, UK.
- LÓPEZ I GELATS F., MILÁN M.J. Y BARTOLOMÉ J. (2011). Is farming enough in mountain areas? Farm diversification in the Pyrenees. *Land Use Policy*, 28, 783-791.
- PARSONS C.T., MOMONT P.A., DELCURTO T., MCINNIS M. Y PORATH M.L. (2003). Cattle distribution patterns and vegetation use in mountain riparian areas. *Journal of Range Management*, 56, 334-341.
- PROBO M., MASSOLO A., LONATI M., BAILEY D.W., GORLIER A., MAURINO L. Y LOMBARDI G. (2013). Use of mineral mix supplements to modify the grazing patterns by cattle for the restoration of sub-alpine and alpine shrub-enriched grasslands. *Rangeland Journal*, 35, 85-93.
- PUTFARKEN D., DENGLER J., LEHMANN S. Y HÄRDITL W. (2008). Site use of grazing cattle and sheep in a large-scale pasture landscape: A GPS/GIS assessment. *Applied Animal Behaviour Science*, 111, 54-67.
- SAN MIGUEL A. (2001). *Pastos naturales españoles*. Madrid: Fundación Conde del Valle de Salazar.
- SENFT R.L., RITTENHOUSE L.R. Y WOODMANSEE R.G. (1985). Factors influencing patterns of cattle grazing behavior on shortgrass steppe. *Journal of Range Management*, 38, 82-87.
- SITAR (2012) Infraestructura de datos espaciales de Aragón. Disponible en: <http://sitar.aragon.es/>
- TATE K.W., ATWILL E.R., MCDUGALD N.K. Y GEORGE M.R. (2003). Spatial and temporal patterns of cattle feces deposition on rangeland. *Journal of Range Management*, 56, 432-438.
- VAN DER MAAREL E. (1979). Transformation of cover-abundance values in Phytosociology and its effects on community similarity. *Vegetatio*, 39, 97-114.
- VILLALBA D., BLANCH M., CASASÚS I. Y REVILLA R. (1995). Pautas de comportamiento espacial y alimenticio de vacas en puertos de alta montaña. En: VI Jornadas sobre Producción Animal AIDA, pp 153-155.



EFFECTO DEL HERBIVORISMO EN LA CONSERVACIÓN DE LA ESPECIE AMENAZADA *ANDROCYMBIUM EUROPAEUM* (Lange) K. Richt

Ana Belén Robles Cruz*, Francisco Mario Cabeza Arcas, María Eugenia Ramos Font y José Luis González Rebollar

Grupo de Pastos y Sistemas Silvopastorales Mediterráneos. Estación Experimental del Zaidín (CSIC). C/ Profesor Albareda, 1, E-18008, Granada (España).

* anabelen.robles@eez.csic.es

EFFECT OF HERBIVORISM ON THE CONSERVATION OF THE ENDANGERED SPECIES *ANDROCYMBIUM EUROPAEUM* (Lange) K. Richt

Historial del artículo:

Recibido: 04/02/15

Revisado: 01/04/15

Aceptado: 29/07/15

Disponible online: 06/10/2015

Autor para correspondencia:

anabelen.robles@eez.csic.es

ISSN: 2340-1672

Disponible en: <http://polired.upm.es/index.php/pastos>

Palabras clave:

Perturbación, densidad, pastoreo, conejo, Almería.

Keywords:

Disturbance, density, grazing, rabbit, Almería.

RESUMEN

A. europaeum es un endemismo ibero-magrebí incluido en la Lista Roja de la Flora Vasculare Española (Moreno et al., 2008). Los objetivos del trabajo han sido evaluar el efecto del ganado ovino doméstico y del conejo sobre la densidad de individuos de *A. europaeum*, así como analizar la evolución de ésta especie durante cinco años de seguimiento en el Parque Natural de Cabo de Gata-Níjar. Se realizó un seguimiento durante los años 2010 a 2014, con un diseño en bloques aleatorizados (seis) con tres tratamientos (tipo de manejo) por bloque: 1) con herbivorismo de ganado y conejo (G+C+), 2) excluidas sólo al ganado (G-C+) y, 3) excluidas al conejo y ganado (G-C-); en el año 2010 no hubo exclusión. Analizando sólo las zonas con herbivorismo, se observa un aumento paulatino de la densidad desde 2010 a 2014, con efecto significativo de los años y los bloques. Durante los cuatro años de exclusión (2011-2014) nuevamente se advierte la misma respuesta para años y bloques. Sin embargo, el factor tipo de manejo no muestra efecto significativo sobre la densidad, aunque presenta mayor densidad media (individuos $0,25\text{ m}^{-2}$) el tratamiento G+C+, 67,30, respecto a G-C+, 53,85 y G-C- 60,84. Este aumento también puede observarse si consideramos el incremento de la densidad del último año en relación a 2010: 241 % (G+C+) respecto a 200 % (G-C+) y 229 % (G-C-). Estos datos sugieren que la actual gestión de la zona de estudio es sostenible para la supervivencia de *A. europaeum* y que el herbivorismo, mayoritariamente ganado y conejo, no está afectando significativamente a la supervivencia de la especie, percibiéndose una tendencia a incrementar la densidad en las zonas no excluidas. Además, parece que la especie se ve influenciada más por las variaciones interanuales que por las debidas al tipo de manejo.

ABSTRACT

A. europaeum is an ibero-magheb endemism which is included in the Red List of the Spanish Vascular Flora (Moreno et al., 2008). The aims of this work have been to evaluate the effect of domestic livestock and rabbit on the density of individuals of *A. europaeum* as well as to analyze the evolution of this species during a five-year survey in Cabo de Gata-Níjar Natural Park. Monitoring was performed from 2010 until 2014, following a randomized block design (six blocks) with three treatments (type of management) per block: 1) with herbivorism of sheep and rabbit (G+C+), only excluded to livestock (G-C+) and, 3) excluded to rabbit and livestock (G-C-). When analyzing only the areas with herbivorism, a gradual increase in density from 2010 to 2014 is observed, with significant effects of years and blocks. During the four years with exclusions (2011-2014) the same response of years and blocks is detected, but no significant differences among the three types of management are observed. Nevertheless the mean density (individual 0.25 m^{-2}) was higher for G+C+, 67.30, with respect to G-C+, 53.85 and G-C- 60.84. This increment can be also detected if we compare the density of 2014 with respect to that of 2010: 241 % (G+C+), 200 % (G-C+) and 229 % (G-C-). These data suggest that the current management of *A. europaeum* in the study area is adequate and that herbivorism, mainly by livestock and rabbit, is not significantly affecting the survivorship of this species, since an increasing trend for density in non-excluded areas has been detected. Furthermore, it seems that the species responds more rapidly to interannual climatic variations than to those caused by the type of management.



© Ana Belén Robles

Pastos xerofíticos algo nitrificados de desarrollo otoño-invernal donde vive *A. europaeum*. Zona de estudio de las Marinas-Amoladeras del Parque Natural Cabo de Gata-Níjar, Almería (Reserva de la Biosfera). Detalle de la flor, a la izquierda se puede observar rastro de pastoreo (heces).

INTRODUCCIÓN

Androcymbium Willd. es un género ligado a zonas con clima mediterráneo. Su presencia en la Cuenca Mediterránea está relacionada con las condiciones de aridez que reinaron durante el Mioceno en esta región (Caujapé-Castells *et al.*; 2001, Del Hoyo *et al.*, 2009). Comprende 57 especies que se distribuyen, principalmente, en el sur y en el extremo norte de África (50 y 7 especies, respectivamente), llegando hasta Canarias y la Península Ibérica (Del Hoyo *et al.*, 2009). En esta última está representado por una sola especie, *A. europaeum* (Lange) K. Richt., que durante mucho tiempo se incluyó en *A. gramineum* (Cav.) McBride (Pedrola-Monfort y Caujapé-Castells, 1994, 1996). Recientemente, los estudios morfológicos, fenológicos y de ADN cloroplastídico llevados a cabo en poblaciones de Almería, Marruecos, Argelia y Túnez, ponen de manifiesto que la especie del sur de España es *A. europaeum*, caracterizada por su fruto indehiscente (Del Hoyo y Pedrola-Monfort, 2010).

A. europaeum es un endemismo ibero-magrebí que pertenece a la familia *Colchicaceae*, si bien, en la revisión de *Flora iberica*

se incluye en *Liliaceae* (Talavera *et al.*, 2013). Se presenta como taxón disjunto a ambos lados del estrecho de Gibraltar (Caujapé-Castells y Pedrola, 1997; Caujapé-Castells y Jamsen, 2003), extendiéndose por la costa atlántica de Marruecos y la Península Ibérica, donde sólo se localiza en la zona litoral de la provincia de Almería entre la punta del Sabinar y la Sierra de Cabrera (Blanca *et al.*, 1999), con su mejor representación dentro del Parque Natural de Cabo de Gata-Níjar.

Este geófito presenta desarrollo otoño-invernal, pudiendo prolongar su presencia hasta el mes de abril (septiembre-abril) (Del Hoyo y Pedrola-Monfort, 2010) en función de la climatología anual. Vive en pastos xerofíticos sobre dunas móviles o fijas y a menudo en sustratos rocosos calizos o arenosos algo nitrificados, entre 0-200 m (350 m) de altitud, en el piso termomediterráneo con ombroclima semiárido-árido (Blanca *et al.*, 1999; Rico, 2013). Los pastos donde se localiza son propios del dominio de las comunidades de azufaífo (*Ziziphus lotus*), hábitat incluido como prioritario por la Directiva Hábitats (Directiva 92/43/CEE) (Blanca *et al.*, 1999; Tirado 2009). Por otra parte, desde el año 1994 está incluida en el Catálogo de Flora Silvestre Amenazada andaluza (B.O.J.A. núm.

107/1994, de 14 de julio de 1994) y en el año 2000 se incluyó en la Lista Roja de la Flora Vasculosa Española (Moreno *et al.*, 2008). Actualmente, está calificada con el grado de amenaza de *vulnerable*, en relación a la reducción de su área de distribución geográfica, afectada por graves problemas de fragmentación. Su distribución en parches está ligada a los cambios de uso de suelo, muy acentuados en la provincia de Almería desde los años 70 debido a la expansión de los invernaderos del poniente y levante almeriense, así como al desarrollo urbanístico ligado al creciente aumento de población en estos territorios (Mota *et al.*, 1996; Blanca *et al.*, 1999). Sin embargo, se desconoce cómo le afectan las perturbaciones relacionadas con la actividad de los animales silvestres o domésticos. Ecológicos y conservacionistas reconocen que muchas perturbaciones (fuego, pastoreo, movimiento de tierras, etc.) son un componente de los ecosistemas naturales (Hobbs y Huenneke, 1992), importante para el desarrollo y mantenimiento de la heterogeneidad espacial y temporal de los mismos (Whitford y Kay, 1999). El efecto de las perturbaciones de los mamíferos sobre el medio y las comunidades vegetales es compleja (Osem *et al.*, 2002), siendo diversa la respuesta de la vegetación en términos de diversidad y estructura, ya que depende de diferentes factores como es el tipo de herbívoro e intensidad de herbivoría (Milchunas y Lauenroth, 1993), de la escala tiempo, espacio o de las condiciones del suelo y el clima (Milchunas *et al.*, 1988; Hobbs y Huenneke, 1992).

En relación a los geófitos, diversos estudios ponen de manifiesto cómo prosperan en ambientes alterados (Esler *et al.*, 1999; Whitford y Kay, 1999; Diadema *et al.*, 2007; Palacio *et al.*, 2013), y en el caso de la familia *Liliaceae* (*sensu Flora iberica, op. cit.*) se ha señalado el efecto positivo que tienen los pequeños herbívoros y el ganado sobre la densidad de las poblaciones de algunas de sus especies (Gómez-García *et al.*, 1995, 2009; Borghi y Giannoni, 1997), observándose que son comidas incluso cuando tienen alcaloides altamente tóxicos (Gómez-García *et al.*, 2003). *A. europaeum* presenta similares metabolitos secundarios (colchicina, demelcocina, desmetilcolchicina y colchifolin) y se han observado tanto en los órganos vegetativos como en los de reproducción (Ellington *et al.*, 2003; Moussaid *et al.*, 2012). Sin embargo, es frecuente verlo comido, aunque su tasa de consumo varía según la localidad (Boza *et al.*, 1998). Por otra parte, su porte postrado con hojas al ras del suelo evidencia su adaptación al herbivorismo (Esler *et al.*, 1999; Noy-Mer y Oron, 2001).

El territorio del sudeste peninsular donde vive *A. europaeum* presenta una alta densidad de conejos y el pastoreo extensivo con ganado ovino perdura como única práctica tradicional (Verdú y Galante, 2002; Alados *et al.*, 2004), por lo que se puede considerar a ambos herbívoros como consumidores potenciales. Dentro de este contexto, los objetivos de nuestro trabajo han sido evaluar el efecto del ganado doméstico y del conejo sobre la densidad de *A. europaeum*, así como

analizar la evolución de la especie durante cinco años de seguimiento (2010-2014) en una de las poblaciones mejor conservadas en el Parque Natural de Cabo de Gata-Níjar.

MATERIAL Y MÉTODOS

Zona de estudio

El ensayo se llevó a cabo en la reserva integral de las Marinas-Amoladeras, principal zona esteparia del Parque Natural de Cabo de Gata Níjar (Almería, España) (36° 51' N y 2° 6' W) incluida como refugio de caza y estación zoológica. Los suelos son de naturaleza caliza, pobres y de escaso desarrollo (Girado *et al.*, 2001). Esta zona es uno de los pocos terrenos públicos dentro del parque y en él están bien representadas las subpoblaciones de *A. europaeum*, lo que motivó la selección de esta localidad para su seguimiento.

Biogeográficamente pertenece a la provincia corológica Murciano-Almeriense, sector almeriense, piso termomediterráneo semiárido-árido. La precipitación anual es de 200 mm con fuerte variación intra e interanual y la temperatura media anual es de 19 °C (Miranda *et al.*, 2009), la Tabla 1 recoge los datos climáticos de precipitación mensual y temperatura media mensual durante los años de estudio. La vegetación potencial de la zona está formada por espinares de *Ziziphus lotus* (Valle *et al.*, 2003). En la actualidad, dominan tomillares de la alianza *Helianthemo-Siderition pusillae*, reflejo de la antigua actividad cerealista-pastoral, hoy en abandono y de la que ya sólo queda el uso pastoral con oveja, junto a la actividad cinegética. El pastoreo en la zona de estudio es continuo, y se clasifica como bajo (rango de 1 a 2 en una escala de 0 a 5) (Boza *et al.*, 1998; Robles *et al.*, 2002). Los días de pastoreo pueden variar, ya que la alimentación de los animales se complementa con subproductos de invernadero aprovechados directamente en los corrales.

Diseño experimental

Para evaluar el efecto del ganado ovino y el conejo sobre la población de *A. europaeum* se instalaron en campo 18 parcelas de 2,5 m x 2,5 m. Se ha seguido un diseño de seis bloques aleatorizados separados unos de otros entre 300 y 400 m, diferenciando en cada uno de ellos tres tratamientos (tipos de manejo): 1) con herbivorismo de ganado y conejo (G+C+), 2) excluidas sólo al ganado (G-C+) (con malla cinegética) y 3) excluidas al conejo y ganado (G-C-) (con malla romboidal de 4 cm de luz). Los seguimientos se realizaron durante cinco años consecutivos (2010 a 2014) en el período de floración-fructificación: 23/03/2010, 08/02/2011, 21/01/2012, 16/01/2013, 15/01/2014. En el primer año de estudio el muestreo se retrasó hasta el mes de marzo, sin embargo, la abundante lluvia caída desde diciembre de 2009 (184,2 mm) hasta marzo de 2010 (enero: 88,8 mm, febrero: 90 mm y marzo: 62 mm)

Meses	2009-2010		2010-2011		2011-2012		2012-2013		2013-2014	
	P _p	T ^a	P _p	T ^a	P _p	T ^a	P _p	T ^a	P _p	T ^a
Septiembre	48,4	24,2	3,0	24,7	13,6	24,7	10,0	23,4	4,8	24,2
Octubre	3,0	21,6	19,8	19,4	12,2	21,1	23,8	19,3	0,2	21,0
Noviembre	9,0	17,8	66,4	14,8	38,2	17,1	68,8	17,1	17,8	14,7
Diciembre	184,2	14,1	69,8	13,3	4,0	13,6	0,2	13,4	29,2	13,3
Enero	88,8	12,7	24,4	12,4	19,4	12,4	2,6	12,8	8,2	13,1
Febrero	90,0	13,7	16,6	12,9	0,2	11,2	14,8	12,5	23,2	13,34
Marzo	62,0	13,9	26,6	14,8	4,4	14,8	8,2	14,6	3,4	14,98
Pp Total/T ^a media ¹	333,4	18,1	183,4	16,9	87,4	17,8	105,4	17,2	60,2	17,3

¹ Suma/Promedio: en ambos comprenden los valores de septiembre a enero.

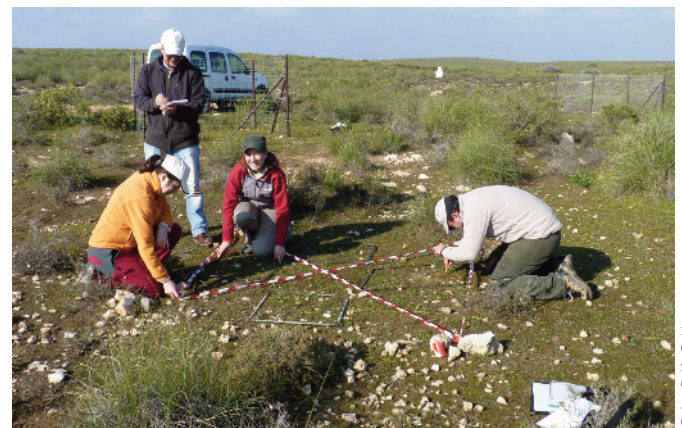
TABLA 1. Precipitación mensual (P_p, mm) y temperatura media mensual (T^a, °C) durante los cinco años de seguimiento. Se incluyen los meses del año meteorológico hasta la fecha de muestreo en cada año: 2010 (2009-2010), 2011 (2010-2011), 2012 (2011-2012), 2013 (2012-2013), 2014 (2013-2014).

mantuvo en flor a los individuos durante largo tiempo, y no se observaron individuos secos o muertos sobre el terreno durante el muestreo.

La densidad de *A. europaeum* en cada parcela y año se ha evaluado mediante el censo de individuos en cuadrados de 50 cm x 50 cm, tomando cuatro cuadrados por parcela, distribuidos según los cuatro puntos cardinales (N, S, E y O): 24 cuadrados por tratamiento (seis bloques por cuatro cuadrados). De cara al análisis, se han utilizado valores promediados de los medidos en los cuatro cuadrados por parcela y año. Cada individuo de *A. europaeum* está formado por un conjunto de hojas enteras lineares a estrechamente triangulares, sésiles y envainadoras, reunidas en roseta (4 a 12) en el ápice del tallo, a modo de involucro que rodea las flores (1 a 6) (Blanca *et al.*, 2009; Rico, 2013), aunque en la zona de estudio como máximo se han observado 3 flores por roseta. En Amoladeras, la naturaleza del sustrato (costra caliza) dificulta la agrupación de los individuos, y estos aparecen aislados en la mayoría de los casos y con una sola flor. En condiciones de suelo más favorables los pies de las plantas se agrupan, lo que hace más difícil su diferenciación. Para unificar la labor de evaluación entre los observadores, previo al muestreo se establecieron y practicaron criterios para la identificación correcta de los individuos. Por lo general, desde el inicio se obtuvieron resultados bastante coincidentes y sin sesgos entre observadores. Cada año los muestreos se realizaron por dos o tres observadores, estando al menos uno de ellos presente en todos los muestreos.

Las parcelas de exclusión se instalaron en mayo de 2010, después de haber realizado el primer muestreo de densidad (marzo), por lo que este año debe ser considerado como año cero, sin tratamientos de exclusión. Para evaluar el efecto del herbivorismo sobre *A. europaeum* se comparan zonas excluidas (G-C+ y G-C-) con zonas con herbivoría (G+C+) a lo largo de cuatro años de seguimiento (2011 a 2014). Por otra parte, para determinar la evolución de la especie en la zona de estudio se analizan los cinco años de muestreo (2010-2014) sólo en las parcelas con herbivorismo (G+C+), ya que estas representan el manejo que actualmente se realiza en Amoladeras.

TABLA 1. Monthly precipitation (P_p, mm) and monthly mean temperature (T^a, °C) for the duration of the study. Months of the meteorological year up to the sampling date for each year are included: 2010 (2009-2010), 2011 (2010-2011), 2012 (2011-2012), 2013 (2012-2013), 2014 (2013-2014).



© Ana Belén Robles

Parcelas de muestreo (2,5 m x 2,5 m) en la zona de las Marinas-Amoladeras. Se puede observar los tres tratamientos (Tipo de manejo) de un bloque: 1) Delante: parcela con herbivorismo de ovejas y conejos (G+C+), 2) Atrás izquierda: parcela excluida sólo al ganado (G- C+) (con malla cinegética) y 3) Atrás derecha: parcela excluida al conejo y ganado (G- C-) (con malla romboidal/4 cm de luz). En la parcela G+C+ detalle del censo de densidad (cuatro cuadrados de 50 cm x 50 cm).

Análisis estadístico

En todos los análisis se ha considerado la densidad como variable respuesta, transformándose sus valores al logaritmo neperiano con el fin de cumplir las condiciones de normalidad de los residuos y homocedasticidad (tests Shapiro-Wilk y Bartlett respectivamente).

Previo a establecer las parcelas de exclusión (año 2010: sin tratamientos) se comprobó que los datos de partida (densidad) en los tres niveles de manejo (G+C+, G-C+ y G-C-) eran homogéneos. Para ello, se realizó con los datos de 2010 un ANOVA univariante de dos vías, considerando como factores el tipo de manejo y los bloques.

En el resto de los análisis incluidos en el trabajo: i) evolución temporal y, ii) efecto del herbivorismo; la variación de la densidad se estudia siguiendo modelos lineales que consideran la existencia de medidas repetidas, efectos fijos y aleatorios, y una estructura jerarquizada de las observaciones. Para ello se

han empleado modelos lineales mixtos (MLM), utilizando el programa estadístico R 3.2.1 (R Core Team, 2014) y su librería *nlme* (Pinheiro y Bates, 2000).

Para estudiar la evolución de la densidad de la especie desde 2010 a 2014, se ha considerado sólo el tratamiento con herbivorismo (G+C+), el cual representa el manejo actual en el área de estudio. Se han diferenciado un factor aleatorio, el bloque (seis niveles) y una covariable, el año (2010 a 2014). Por otro lado, para evaluar el efecto del herbivorismo durante cuatro años (2011 a 2014), se han considerado un factor fijo, el tipo de manejo (tres niveles), anidado al bloque (seis niveles) como factor aleatorio, y una covariable, el año (de 2011 a 2014). En ambos análisis, se probaron y compararon distintos MLM de complejidad creciente utilizando como criterio de estimación el método de Máxima Verosimilitud. La determinación del mejor modelo en cada análisis se realizó considerando sus valores de los Criterios de Información de Akaike (AIC) y de Bayes (BIC) y su representación en figuras (figuras 1 y 2) para la elección del modelo con mejor ajuste.

RESULTADOS

La Tabla 2 muestra los resultados de densidad media (individuos 0,25 m⁻²) de *A. europaeum* para cada año de estudio (2010 a 2014) y tipo de manejo (G+C+, G-C+, G-C-).

En el primer año de estudio (2010: sin tratamiento de manejo) (Tabla 2), no se detectaron diferencias significativas entre los tres tipos de manejo ($F = 0,16$; g.l. = 2; p -valor > 0,05), lo que muestra la homogeneidad en los datos de partida entre las parcelas correspondientes a estos tres tratamientos. Sí hubo diferencias significativas entre bloques ($F = 5,55$, g.l. = 5; p -valor = 0,01), lo que indica la heterogeneidad entre estos. No se observó interacción entre los factores tipo de manejo y el bloque.

Para determinar la evolución de la densidad de *A. europaeum* durante los cinco años de seguimiento, se analizaron

sólo las parcelas con herbivorismo (G+C+), que reflejan el manejo actual que se lleva a cabo en la zona. Desde el año 2010 a 2014 se advierte un incremento paulatino de la densidad de individuos de *A. europaeum* (Tabla 2 y Figura 1). La Tabla 3 muestra los cinco MLM que mejor ajustan esta evolución creciente. El menor valor AIC y BIC indica que el Modelo M5 (polinomial hasta la potencia cuarta) es el que presenta mejor ajuste, seguido por el modelo M2 (lineal), ambos representados en la Figura 1. Estos modelos incluyen la covariable año y el factor aleatorio bloque, lo que indica que para el tratamiento G+C+, tanto el año como el bloque afectan significativamente a la densidad. También en la Figura 1 se observa distinta variabilidad en las cuatro mediciones realizadas por parcela y año (líneas verticales sobre círculos).

La Tabla 4 muestra los cinco mejores MLM, considerando los efectos fijos del herbivorismo (distintos tipos de manejo: G+C+, G-C+, G-C-) y del tiempo (años 2011 a 2014), y los aleatorios del bloque y del tratamiento anidado al bloque (efecto parcela). El M5, que es el modelo polinomial de la covariable año hasta la potencia cúbica es el que presenta el mejor ajuste, siguiéndole el modelo M4 (polinomial cuadrático) y el M2 (lineal) (ver AIC y BIC en Tabla 4; y Figura 2). La inclusión de los tratamientos de manejo, bien como efecto fijo aditivo (modelo M3), o interaccionando con el año (modelos no mostrados en la Tabla 4), produjo modelos con peor capacidad predictiva, señalando así la falta de significación estadística de los manejos probados sobre la densidad de plantas. Al igual que en el anterior análisis, se observa que los efectos aleatorios bloque y tratamiento dentro de bloque (parcela), mostraron una varianza importante, más alta en casi todos los modelos que la varianza residual.

La Figura 2 corrobora los valores aportados en la Tabla 4. Se observa que en casi todas las parcelas (Bloque x Tratamiento) los tres modelos M2, M4 y M5 se ajustan bastante bien a las densidades medidas de 2011 a 2014. También se aprecia que el intercepto de los modelos (altura de las líneas respecto al eje horizontal) varía de forma notable entre bloques (comparar p.ej. los bloques 1 y 2) y también entre tratamientos dentro de los

Años	Tipo de manejo (individuos 0,25 m ⁻²)			EED	Media Años* (ind-0,25 m ⁻²)
	G+C+	G-C+	G-C-		
2010 (Sin tratamiento: Tipo Manejo)	26,27	22,08	23,30	4,36	23,89
Con tratamiento: Tipo Manejo					
2011	50,15	40,98	48,89	9,21	46,67
2012	46,83	36,57	41,92	7,73	41,77
2013	67,47	55,41	53,58	10,35	58,82
2014	93,00	69,58	77,44	18,11	80,01
Media manejo (4 años)	61,63	48,67	53,57	9,21	(*EED = 6,64)

TABLA 2. Densidad de *A. europaeum* (individuos 0,25 m⁻²) para los años (2010 a 2014) y según el tipo de manejo: 1) con herbivorismo de ovejas y conejos (G+C+), 2) excluido al ganado ovino (G-C+) y 3) excluido al ganado ovino y conejo (G-C-). EED: error estándar de la diferencia. Los datos de la fila Media manejo se calculan para los años de exclusión: 2011 a 2014.

TABLE 2. Density of *A. europaeum* (individuals 0.25 m⁻²) for years and type of management: 1) with herbivorism of sheep and rabbit (G+C+), excluded to ovine livestock (G-C+) and, 3) excluded to rabbit and ovine livestock (G-C-). EED: standard error of the difference. Data of row Media manejo are calculated for years 2011 to 2014.

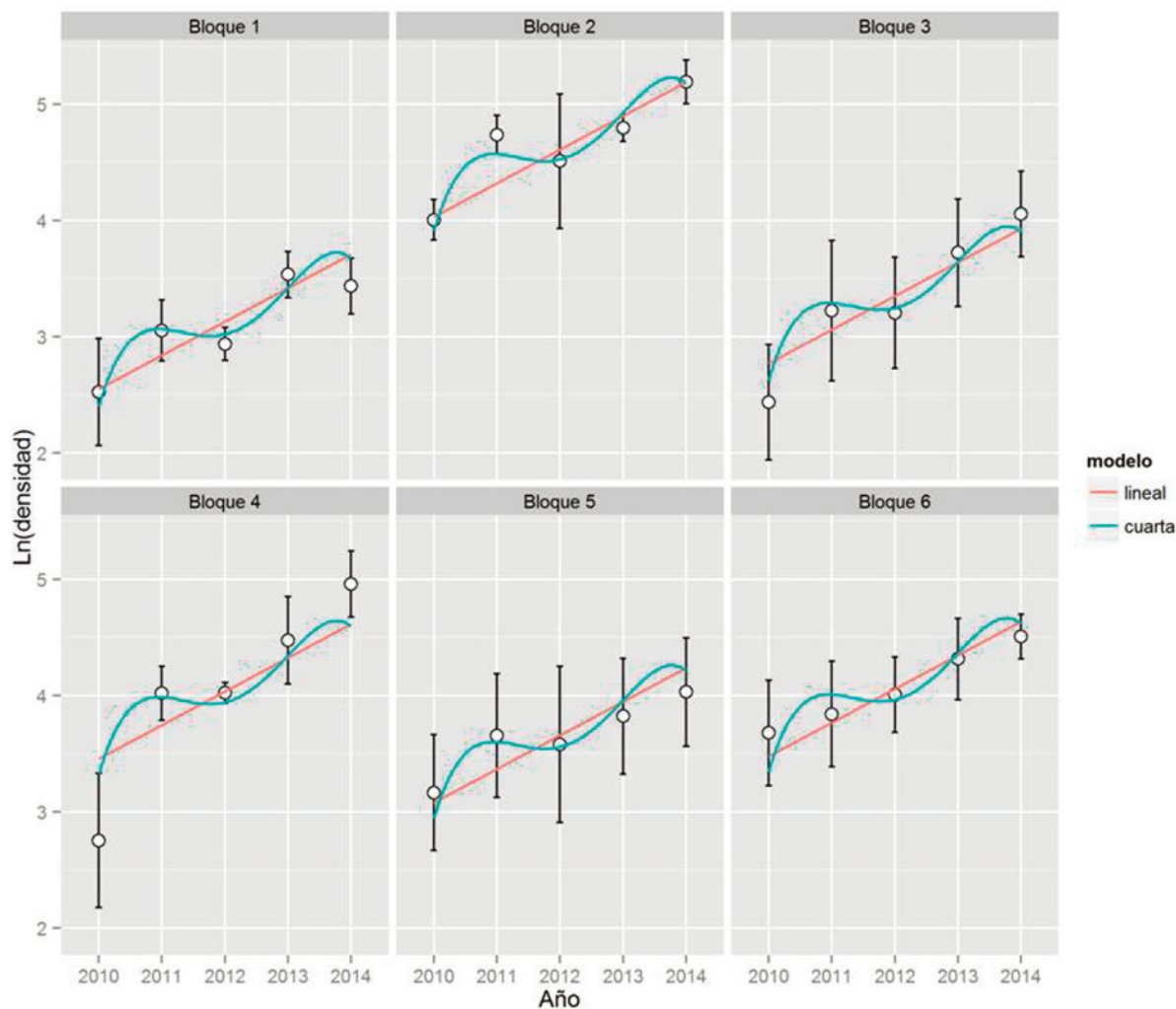


FIGURA 1. Densidad de *A. europaeum* (individuos 0,25 m²) por bloque (seis niveles) en el tratamiento con herbivorismo de ovejas y conejos (G+C+) durante cinco años de seguimiento (2010 a 2014). Se representan los valores medios (círculos) del logaritmo neperiano de la densidad en cada parcela y año, así como las predicciones (líneas) de dos de los modelos lineales mixtos ajustados (potencia cuarta y lineal), considerando como covariable el año. Las barras verticales sobre los círculos señalan la desviación típica de las cuatro mediciones de densidad realizadas en cada parcela y año.

FIGURE 1. Density of *A. europaeum* (individuals 0.25 m²) per block (six levels) in the treatment with herbivorism of sheep and rabbit (G+C+) during a five-year sampling (2010 to 2014). The average values of the naepierian logarithm of the density (circles) in each plot and year, as well as predictions (lines) of two of the adjusted mixed linear models (forth power and lineal) considering the year as a covariable are represented. Vertical bars on the circles indicate the standard deviation of the four measures of density in each plot and year.

bloques (comparar p.ej. las tres gráficas del bloque 4), pero sin un patrón definido claro de valores diferentes de unos tratamientos a otros. También, al igual que lo apuntado en el anterior análisis, se observan diferencias en la variabilidad de las cuatro mediciones realizadas en cada parcela-año (magnitud de las líneas verticales sobre círculos) a nivel de bloques (p.ej. bloque 1 respecto a bloque 5), parcelas (p.ej. dentro de bloque 6, parcela G+C+ respecto a las otras dos) y años dentro de parcelas (p.ej. bloque 4 parcela G-C+).

Aunque el tipo de manejo no mostró un efecto significativo sobre la densidad (ver los valores del intervalo de confianza de los parámetros β_2 y β_3 del modelo M3, Tabla 4), los valores absolutos de la densidad (Tabla 2), señalan un ligero

aumento de ésta en las parcelas con herbivorismo (G+C+) respecto a los tratamientos con algún grado de exclusión (G-C+ y G-C-), tendencia que se mantiene desde el año 2012 hasta 2014. Por otra parte, el tratamiento excluido sólo al ganado (G-C+) presentó los valores más bajos. En relación al año, en todos ellos se observa que la densidad aumento respecto al primero, exceptuando el 2012 que disminuyó ligeramente.

DISCUSIÓN

El área de estudio se asienta en una zona esteparia con abundante roca superficial. La diferente rugosidad de la superficie

Modelos Estructura de los efectos fijos	Desviación estandar (efectos aleatorios)			Criterios	
	Bloque	Residuo		AIC	BIC
M1: $LnD = \alpha$ $\alpha = 3,81(3,37-4,24)$	0,46 (0,23-0,94)	0,52 (0,39-0,69)		61,46	65,67
M2: $LnD = \alpha + \beta \times A$ $\alpha = 3,52(3,08-3,96); \beta = 0,29(0,22-0,36)$	0,50 (0,28-0,91)	0,25 (0,19-0,33)		27,65	33,26
M3: $LnD = \alpha + \beta \times A + \psi \times A^2$ $\alpha = 3,54(3,10-3,99); \beta = 0,34(0,22-0,47);$ $\psi = -0,03(-0,08-0,03)$	0,50 (0,28-0,91)	0,25 (0,18-0,32)		28,66	35,67
M4: $LnD = \alpha + \beta \times A + \psi \times A^2 + \omega \times A^3$ $\alpha = 3,65(3,19-4,11); \beta = 0,32(0,20-0,44);$ $\psi = -0,17(-0,33- -0,01); \omega = 0,05(-0,004 - 0,10)$	0,50 (0,28-0,91)	0,22 (0,17-0,30)		27,23	35,63
M5: $LnD = \alpha + \beta \times A + \psi \times A^2 + \omega \times A^3 + \phi \times A^4$ $\alpha = 3,75(3,29-4,22); \beta = -0,03(-0,34-0,28);$ $\psi = -0,28(-0,45- -0,11); \omega = 0,33(0,10-0,58);$ $\phi = -0,07(-0,13- -0,01)$	0,51 (0,28-0,91)	0,20 (0,15-0,26)		23,44	33,25

TABLA 3. Modelos lineales mixtos probados de la evolución temporal de la densidad de plantas de *A. europaeum* sometidas al manejo actual de la zona con herbivorismo de ovejas y conejos (tratamiento G+C+) para el periodo 2010-2014. *LnD* es el logaritmo neperiano de la densidad y *A* es el año. *AIC* y *BIC* son los criterios de información de Akaike y Bayes, respectivamente. Los valores entre paréntesis corresponden al intervalo de confianza del 95%.

TABLE 3. Tested Lineal Mixed Model of the temporal evolution of density of plants of *A. europaeum* under the current management at the area with herbivorism of sheep and rabbit (treatment G+C+) for the period 2010-2014. *LnD* is the naeperian logarithm of density and *A* is the year. *AIC* and *BIC* are the Akaike and Bayes information criteria, respectively. Values in brackets are the 95% confidence interval.

Modelos Estructura de los efectos fijos	Desviación estandar (efectos aleatorios)			Criterios	
	Bloque	Tratamiento en Bloque	Residuo	AIC	BIC
M1: $Y = \alpha$ $\alpha = 3,89(3,59-4,19)$	0,31 (0,14-0,70)	0,30 (0,18-0,50)	0,31 (0,26-0,37)	78,43	87,53
M2: $Y = \alpha + \beta \times A$ $\alpha = 3,80(3,50-4,10); \beta = 0,19(0,15-0,23)$	0,31 (0,14-0,70)	0,32 (0,21-0,50)	0,19 (0,16-0,23)	29,88	41,26
M3: $Y = \alpha + \beta_1 \times A + \beta_2 \times (G-C+) + \beta_3 \times (G-C-)$ $\alpha = 3,89(3,52-4,26); \beta_1 = 0,19(0,15-0,23);$ $\beta_2 = -0,20(-0,62- 0,21); \beta_3 = -0,08(-0,49-0,33)$	0,31 (0,15-0,69)	0,31 (0,20-0,48)	0,19 (0,16-0,23)	32,72	48,66
M4: $Y = \alpha + \beta \times A + \psi \times A^2$ $\alpha = 3,71(3,41-4,01); \beta = 0,10(0,05-0,15);$ $\psi = 0,08(0,05-0,12)$	0,32 (0,14-0,70)	0,32 (0,21-0,50)	0,17 (0,14-0,20)	15,69	29,35
M5: $Y = \alpha + \beta \times A + \psi \times A^2 + \omega \times A^3$ $\alpha = 3,62(3,32-3,93); \beta = 0,22(0,14-0,31);$ $\psi = 0,23(0,14-0,31); \omega = -0,09(-0,15-0,04)$	0,31 (0,14-0,70)	0,33 (0,22-0,50)	0,15 (0,12-0,18)	5,85	21,79

TABLA 4. Modelos lineales mixtos probados de la densidad de plantas de *A. europaeum* considerando los tratamientos de herbivorismo como efecto fijo, anidado al bloque (efecto aleatorio) y los años (2011-2014) como covariable. *LnD* es el logaritmo neperiano de la densidad, *A* es el año, *G-C+* es el tratamiento de exclusión del ganado y *G-C-* el tratamiento de exclusión de ganado y conejos. *AIC* y *BIC* son los criterios de información de Akaike y Bayes, respectivamente. Los valores entre paréntesis corresponden al intervalo de confianza del 95%.

TABLE 4. Tested Lineal Mixed Model of the density of plants of *A. europaeum* considering treatments as fixed effect, nested to the block (random effect) and the year (2011-2014) as a covariable. *LnD* is the naeperian logarithm of density, *A* is the year, *G-C+* is the treatment only excluded to livestock and *G-C-* is the treatment excluded to rabbit and livestock. *AIC* and *BIC* are the Akaike and Bayes information criteria, respectively. Values in brackets are the 95% confidence interval.

del sustrato genera diversidad de situaciones microtopográficas, las cuales tienen una fuerte influencia en la escorrentía, en la capacidad superficial de almacenamiento de agua y en el acúmulo de sedimentos (Rodríguez-Caballero *et al.*, 2012). Pensamos que dichas situaciones podrían haber incidido en la distribución y densidad de *A. europaeum*. Así, en el campo se puede observar cómo esta especie se reparte de manera discontinua sobre el terreno, probablemente aprovechando las localizaciones dispersas de acúmulo de suelo y agua. Las diferencias observadas entre bloques en el primer año de muestreo (2010) y el efecto significativo de los bloques e incluso de las parcelas dentro de los bloques en el resto de años (2011-2014) (ver Figuras 1 y 2, y Modelos en Tablas 3

y 4,) pueden ser reflejo de la gran heterogeneidad microtopográfica y edáfica existente. En relación a las condiciones edáficas, Membrives *et al.* (2003), estudiando diferentes especies del género *Androcymbium* de Sudáfrica, señalan la importancia que puede tener la heterogeneidad edáfica (cantidad de suelo y disponibilidad hídrica) en el desarrollo de las especies de este género, pudiendo afectar a la gran variabilidad morfológica de las especies. En nuestro caso, dadas las variaciones de la densidad de *A. europaeum* en relación a las distintas localizaciones en campo (bloques y parcelas), consideramos necesario plantear futuros trabajos que pudieran clarificar esta respuesta, posiblemente ante las diferencias de suelo.

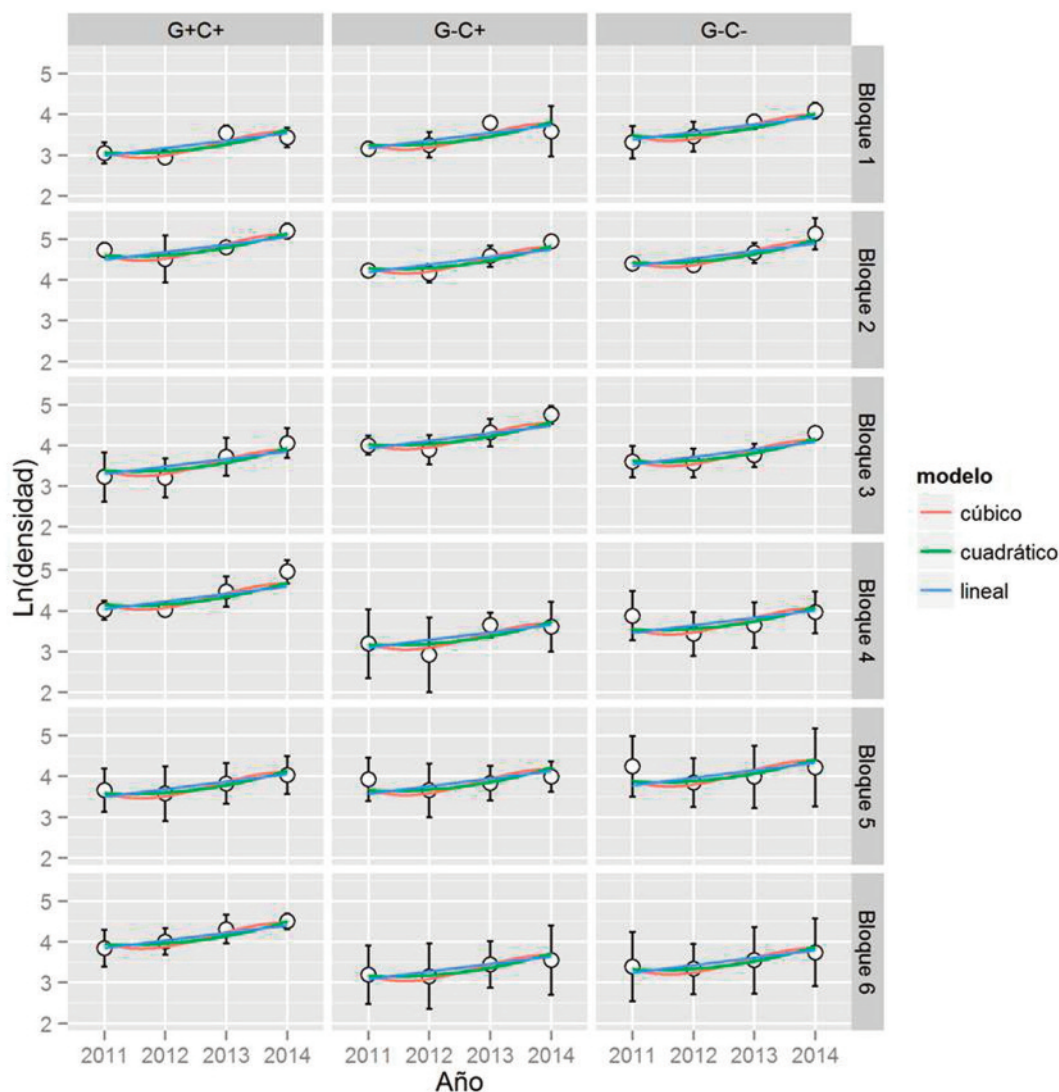


FIGURA 2. Densidad de *A. europaeum* (individuos 0,25 m⁻²) por tipo de manejo (tres tratamientos: G+C+, G-C+, G-C-) y por bloque (seis niveles) durante cuatro años de seguimiento (2011 a 2014). Se representan los valores medios (círculos) del logaritmo neperiano de la densidad por parcela y año, así como las predicciones (líneas) de tres de los modelos lineales mixtos ajustados (cúbico, cuadrático y lineal) considerando como covariable el año. Las barras verticales sobre los círculos señalan la desviación típica de las cuatro mediciones de densidad realizadas en cada parcela y año.

FIGURE 2. Density of *A. europaeum* (individuals-0.25 m⁻²) per type of management (three treatments: G+C+, G-C+, G-C-) and per block (six levels) during a four-year survey (2011 to 2014). The average values of the neapierian logarithm of the density (circles) per plot and year, as well as predictions (lines) of three of the adjusted mixed linear models (cubic, quadratic and lineal) considering the year as a covariable are represented. Vertical bars on the circles indicate the standard deviation of the four measures of density in each plot and year.

El área del parque de Cabo de Gata-Níjar de las Marinas-Amoladeras está diferenciada como una Zona de Refugio de Caza y Ecológica (Guirado *et al.*, 2001); en ella están permitidos los usos cinegético, turismo ecológico y el pastoreo, a lo que hay que sumar la actividad propia de la fauna silvestre. El seguimiento de *A. europaeum* durante cinco años consecutivos pone de manifiesto que el número de individuos ha aumentado en más del triple respecto al primer año de muestreo (3,4 veces mayor en 2014 que en 2010, en parcelas G+C+), lo que indica que las poblaciones de esta especie no están en retroceso en la zona de Amoladeras. La tendencia significativa a incrementar la densidad en un período de cinco años (Figuras 1 y 2) sugiere un posible efecto de los factores climáticos

en la dinámica poblacional de esta especie. En este sentido, diversos trabajos señalan la gran influencia de las incidencias climáticas en las especies con bulbo, tanto en su distribución biogeográfica y diversidad de especies, como en el crecimiento y fisiología de los individuos (Esler *et al.*, 1999; Rossa y von Willert, 1999; Caujapé-Castells *et al.*, 2002; Proches *et al.*, 2006). En relación a la humedad, Rossa y von Willert (1999) indican cómo los geófitos y herbáceas anuales deben completar su ciclo de vida en un corto período de tiempo, motivado por la disponibilidad de agua en el suelo.

En relación al clima, *A. europaeum* inicia su desarrollo con las primeras lluvias de otoño, frecuentemente en octubre, aunque

si la climatología es favorable (humedad y temperatura) los primeros pies pueden aparecer a finales de septiembre (Del Hoyo y Pedrola-Monfort, 2010). Considerando la precipitación total y temperatura media del período de desarrollo (Tabla 1: Pp Total/Tª Media de septiembre a enero), se observa como, a pesar de que el año 2009-2010 fue extremadamente lluvioso, la densidad fue la más baja. Este menor número de individuos pudo estar motivado porque, aunque llovió a finales de septiembre, la sequía extrema del verano previo y la mayor temperatura en este mes (mínima: 18° C) podrían haber impedido reponer el contenido hídrico del suelo y, por tanto, la emergencia de los individuos. A esto hay que sumar la casi nula lluvia caída durante octubre y noviembre, junto a la considerable temperatura media (sobre todo en octubre, Tabla 1), lo que también pudo limitar el agua disponible en el suelo y la función fotosintética. En este sentido, Esler *et al.* (1999) señalan que las lluvias tempranas que siguen a veranos secos pueden conducir a la estimulación del crecimiento temprano en geófitos. Sin embargo, la insuficiente humedad del suelo originada por períodos de sequía prolongados puede, en cambio, producir un estrés severo en los órganos subterráneos, lo que tendría un impacto negativo en el crecimiento posterior de las plantas al verse obligadas a gastar las reservas de carbohidratos almacenadas en los bulbos. Respecto a la temperatura óptima de fotosíntesis, Rossa y von Willert (1998) observaron que ésta es algo más baja en los geófitos que en otros grupos funcionales, variando entre 12 °C y 19 °C, aunque hubo una especie con 22 °C. Así, las temperaturas elevadas de septiembre y octubre (Tabla 1) pudieron incidir negativamente en el desarrollo de la especie. Además, estos mismos autores señalan que las temperaturas y radiaciones muy altas afectan negativamente a las especies de porte postulado, como es también el caso de *A. europaeum*.

Debido a que la presencia de las herbáceas efímeras está estrechamente ligada a las lluvias (Anderson y Hoffman, 2007; Miranda *et al.*, 2009), otro aspecto que podría haber perjudicado el desarrollo de *A. europaeum* en el año 2010 es la inusual precipitación de los meses de diciembre y enero (273 mm), que supera el total medio anual en esta zona (200 mm; Miranda *et al.*, 2009), lo que podría haber favorecido a los terófitos y haber limitado por competencia la proliferación de geófitos.

Aunque el factor tipo de manejo no tuvo efecto significativo sobre la densidad, se advierte que la densidad media del tratamiento con herbivorismo (G+C+) fue algo mayor al final del estudio en relación a los otros tratamientos excluidos (Tabla 2). Esto también se puede apreciar si tenemos en cuenta los incrementos de densidad del último año de muestreo (2014) respecto al primero (2010): mayor en el tratamiento con herbivoría (G+C+: 241,46 %) respecto al excluido sólo al ganado (G-C+: 199,66 %, G-C-: 229,79 %). Estudios realizados en pastos mesófilos del norte de la Península Ibérica, han podido constatar el efecto positivo del herbivorismo en *Merendera montana* (L.) Lange, otra especie de la familia *Liliaceae* (Gómez-García

et al., 2003, 2004), aunque no hay que olvidar que estos ambientes son muy diferentes a los semiáridos donde vive *A. europaeum*, lo que puede condicionar la respuesta de las especies. Los anteriores autores encontraron un incremento de individuos en las zonas perturbadas por topillos (*Myrcotus duodecimcostatus* de Séllys-Longchamps) respecto a las no perturbadas. Este herbívoro se alimenta preferentemente de los bulbos, previa retirada de las envueltas por su mayor toxicidad. La ruptura de bulbos durante el proceso de búsqueda, contribuye a la dispersión asexual de los mismos. Algo parecido podría pasar en relación al conejo y *A. europaeum*, ya que en el campo, junto a las escaraduras de conejo, proliferan envueltas del bulbo. Trabajos realizados con estratos de bulbo de esta especie y suministrados a ratones, han demostrado su mediana toxicidad, aunque ésta depende de la concentración ingerida (Moussaid *et al.*, 2012). En nuestro ensayo, la actividad excavadora del conejo unida al pisoteo del ganado, que dispersaría y enterraría los bulbos, podría estar afectando positivamente a la propagación de la especie en el tratamiento con herbivorismo (G+C+). Además, la mayor cobertura de herbáceas que se puede advertir en las parcela excluidas, tanto al ganado (G-C+) como al ganado y conejo (G-C-), podría contribuir a reducir el crecimiento de *A. europaeum* por competencia con el pasto. En este sentido, diversos trabajos señalan que los geófitos muestran preferencia por los espacios abiertos desprovistos de vegetación y de baja productividad (Hoffmann *et al.*, 1998; Noy-Meir y Oron, 2001), los cuales frecuentemente están creados por la actividad del pastoreo y pequeños mamíferos (Naveh y Whittaker, 1979; Gómez-García *et al.*, 1995; Borghi y Giannoni, 1997; Todd y Hoffman, 2009; Sternberg *et al.*, 2000; Osem *et al.*, 2002). Así mismo, la bioperturbación actuaría reduciendo la competencia con otras especies vegetales y aumentando la disponibilidad de nutrientes en el suelo (Canals y Sebastiá, 2000, 2004; Canals *et al.*, 2003; Gómez-García *et al.*, 2003), lo que favorecería la colonización de estas zonas por las especies bulbosas. Además, en pastos herbáceos mediterráneos se ha visto una mayor respuesta al pastoreo de los geófitos de hoja estrecha de las familias *Iridaceae* y *Liliaceae*, como la que parece presentar *A. europaeum* (Noy-Meir y Oron, 2001).

Por otra parte, el seguimiento de la densidad para los cuatro años de exclusión (2011-2014) refleja una respuesta más rápida de *A. europaeum* a las variaciones propias de los años (probablemente climáticas) que a las debidas al manejo (con o sin herbívoros). Esto queda reflejado en la similar o mayor capacidad predictiva de los modelos lineales mixtos considerando sólo el año, que en el modelo donde se consideró el año y el manejo de la herbivoría (Tabla 4 y Figura 2). Similar comportamiento ha sido puesto de manifiesto en pastos áridos-semiáridos mediterráneos, en donde se ha observado que los cambios en composición y estructura de la vegetación están más estrechamente ligados a las variaciones de precipitación que a las debidas al tipo o intensidad de pastoreo (Sternberg *et al.*, 2000; Anderson y Hoffman, 2007; Ruiz-Mirazo y Robles,

2012). Las plantas que componen estos pastos han evolucionado con una carga de herbívoros probablemente mucho más alta a la actual, por lo que están adaptadas al pisoteo y al consumo de los animales (Milchunas *et al.*, 1988).

Nuestros resultados evidencian que el pastoreo moderado que se lleva a cabo en la zona (Robles *et al.*, 2002 y 2013), junto a la actividad del conejo y otros animales silvestres (Verdú y Galante, 2002) no está afectando a la supervivencia de la especie, como ha sido puesto de manifiesto en otros trabajos llevados a cabo en el litoral almeriense sobre especies vegetales amenazadas (Mota *et al.*, 1996; Mendoza *et al.*, 2014). Creemos que en otras zonas próximas a la de nuestro estudio, donde abundan los cultivos bajo plástico, probablemente la verdadera amenaza para la conservación de *A. europaeum* radique en el crecimiento mal planificado de estos cultivos, más que a un posible efecto de los herbívoros.

Consideramos que, dada la larga historia de pastoreo en el mediterráneo, cuatro años de exclusión son posiblemente insuficientes para extraer conclusiones definitivas sobre el efecto del herbivorismo sobre la densidad de *A. europaeum*, a pesar de advertirse una tendencia al aumento con la herbivoría.

CONCLUSIONES

Nuestros resultados sugieren que la actual gestión del territorio en la zona de estudio es sostenible para la supervivencia de *A. europaeum* y, que el herbivorismo, mayoritariamente ganado y conejo, no está afectando significativamente a la supervivencia de la especie, aunque se advierta una tendencia a un incremento de la densidad en las zonas no excluidas a los herbívoros mayoritarios. Además, parece que la especie se ve influenciada más por las variaciones interanuales que las debidas al tipo de manejo (con herbívoros y sin herbívoros).

A la luz de los resultados, y teniendo en cuenta la larga historia evolutiva en común entre pastos y herbívoros, consideramos que serían necesarios más años de seguimiento para determinar la respuesta de la especie ante la acción del ganado y del conejo.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado a través del Convenio de colaboración entre la Consejería de Medio Ambiente y Conservación del Territorio de la Junta de Andalucía y el Consejo Superior de Investigaciones Científicas para la realización del Proyecto de investigación: "Ganadería extensiva y biodiversidad". Agradecemos a D. José Santiago Guirado Romero y a Dña. Rosa Mendoza Castellón, responsables del proyecto en dicha Consejería, las sugerencias realizadas en el seguimiento de la especie. Especialmente, queremos agradecer la ayuda

prestada en los muestreos a nuestro compañero D. Mauro Tognetti Barbieri.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS

- ALADOS C.L., PUEYO Y., BARRANTES O., ESCÓS J. GINER L. Y ROBLES A.B. (2004) Variations in landscape patterns and vegetation cover between 1957 and 1994 in a semi-arid Mediterranean ecosystem. *Landscape Ecology*, 19 (5), 543-559.
- ANDERSON P.M.L. Y HOFFMAN M.T. (2007) The impacts of sustained heavy grazing on plant diversity and composition in lowland and upland habitats across the Kamiesberg mountain range in the succulent Karoo, South Africa. *Journal of Arid Environments*, 70 (4), 686-700.
- BLANCA G., CABEZUDO B., CUETO M., FERNÁNDEZ-LÓPEZ C. Y MORALES-TORRES C. (2009) *Flora Vascular de Andalucía Oriental*. Vol. 4. Sevilla, España: Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía.
- BLANCA G., CABEZUDO B., HERNÁNDEZ-BERMEJO J.E., HERRERA C.M., MOLERO J., MUÑOZ J. Y VALDÉS B. (1999) *Libro Rojo de la Flora Silvestre Amenazada de Andalucía. Especies en peligro de Extinción*. Tomo I. Sevilla, España: Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía.
- BORGHI C.E. Y GIANNONI S.M (1997) Dispersal of geophytes by mole-voles in the Spanish Pyrenees. *Journal of Mammalogy*, 78, 550-555.
- BOZA J., ROBLES A.B., GONZÁLEZ-HERNÁNDEZ A., BARRROSO F., FERNÁNDEZ-REBOLLO P. Y TERRADILLOS A. (1998) *Análisis de los Pastos y Evaluación de la Capacidad Sustentadora del Parque Natural de Cabo de Gata-Níjar*. Sevilla, España: SINAMBA. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía.
- CANALS R.M., HERMAN D.J. Y FIRESTONE M.K. (2003) How disturbance by fossorial mammals alters N cycling in a California annual grassland. *Ecology*, 84, 875-881.
- CANALS R.M. Y SEBASTIÁ M.T. (2000) Soil nutrient fluxes and vegetation changes on molehills. *Journal of Vegetation Science*, 11, 23-30.
- CANALS R. M. Y SEBASTIÁ M.T. (2004) Papel de las perturbaciones de pequeños mamíferos en pastos de montaña. *Pastos*, 34 (1), 47-60.
- CAUJAPÉ-CASTELLS J. Y JANSEN R.K. (2003) The influence of the Miocene Mediterranean desiccation on the geographical expansion and genetic variation of *Androcymbium gramineum* (Cav.) McBride (Colchicaceae). *Molecular Ecology*, 12, 1515-1525.
- CAUJAPÉ-CASTELLS J. Y PEDROLA-MONFORT J. (1997) Space-time patterns of genetic structure within a stand of *Androcymbium gramineum* (Cav.) McBride (Colchicaceae). *Heredity*, 79, 341-349.
- CAUJAPÉ-CASTELLS J., JANSEN R.K., MEMBRIVES N., PEDROLA-MONFORT J., MONTSERRAT J.M. Y ARDANUY

- A. (2001) Historical biogeography of *Androcymbium* Willd. (*Colchicaceae*) in Africa: evidence from cpDNA RFLPs. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 136, 379-392.
- CAUJAPÉ-CASTELLS J., JANSEN R.K., PEDROLA-MONFORT J. Y MEMBRIVES N. (2002) Space-time diversification of *Androcymbium* Willd. (*Colchicaceae*) in western South Africa. *Plant Systematic and Evolution*, 232, 73-88.
- DEL HOYO A., GARCÍA-MARTÍN J.L. Y PEDROLA-MONFORT J. (2009) Temporal and spatial diversification of the African disjunct genus *Androcymbium* (*Colchicaceae*). *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 53 (3), 848-861.
- DEL HOYO A. Y PEDROLA-MONFORT J. (2010) Taxonomic clarification in W Mediterranean *Androcymbium* (*Colchicaceae*): *A. wyssianum* sunk in the synonymy of *A. gramineum* and *A. europaeum* restored. *Willdenowia*, 40, 47-53.
- DIADEMA K., MÉDAIL F. Y BRETIGNOLLE F. (2007) Fire as a control agent of demographic structure and plant performance of a rare Mediterranean endemic geophyte. *Comptes Rendus Biologies*, 330, 691-700.
- ELLINGTON E., BASTIDA J., VILADOMA F., SIMÁNEK V. Y CODINA C. (2003) Occurrence of colchicine derivatives in plants of the genus *Androcymbium*. *Biochemical Systematics and Ecology*, 31, 715-722.
- ESLER K.J., RUNDEL P.W. Y VORSTER P. (1999) Biogeography of prostrate-leaved geophytes in semi-arid South Africa: hypotheses on functionality. *Plant Ecology*, 142 (1-2), 105-20.
- GÓMEZ-GARCÍA D., AZORÍN J. Y AGUIRRE J. (2009) Effects of small-scale disturbances and elevation on the morphology, phenology and reproduction of a successful geophyte. *Journal of Plant Ecology*, 2 (1), 13-20.
- GÓMEZ-GARCÍA D., AZORÍN J., BASTIDA J., VILADOMAT F. Y CODINA C. (2003) Seasonal and spatial variations of alkaloids in *Merendera montana* in relation to chemical defence and phenology. *Journal of Chemical Ecology*, 29 (5), 1117-1126.
- GÓMEZ-GARCÍA D., AZORÍN J., GIANNONI S.M. Y BORGHI C.E. (2004) How does *Merendera montana* (L.) Lange (*Liliaceae*) benefit from being consumed by mole-voles?. *Plant Ecology*, 172, 173-181.
- GÓMEZ-GARCÍA D., BORGHI C.E. Y GIONNONI S.M. (1995) Vegetation differences caused by pine vole mound building in subalpine plant communities in the Spanish Pyrenees. *Vegetatio*, 117, 61-7.
- GUIRADO J., NAVARRO M., FERNÁNDEZ-PALACIOS J. (2001) El Parque Natural Marítimo-Terrestre de Cabo de Gata-Níjar. Un espacio excepcional. *PH Boletín 37* (Especial Monográfico: Institutos de Patrimonio), 181-188.
- HOBBS R.J. Y HUENNEKE L.F. (1992) Disturbance, diversity, and invasion: implication for conservation. *Conservation Biology*, 6, 324-337.
- HOFFMANN A.J., LIBERONA F. Y HOFFMANN A. E. (1998) Distribution and Ecology of Geophytes in Chile. En: Rudel *et al.* (Eds) *Landscape Disturbance and Biodiversity in Mediterranean-Type Ecosystems. Ecological Studies* Vol. 136, pp 231-253. Berlin-Heidelberg, Germany: Springer-Verlag.
- MEMBRIVES N., PEDROLA-MONFORT J. Y CAUJAPÉ-CASTELLS J. (2003) Leaf morphology and anatomy of genus *Androcymbium* (*Colchicaceae*) in Southwest Africa. *Collectanea Botanica*, 26, 83-99.
- MENDOZA-FERNÁNDEZ A.J., MARTÍNEZ-HERNÁNDEZ F., PÉREZ-GARCÍA F. J., GARRIDO-BECERRA J.A., BENITO B.M., SALMERÓN-SÁNCHEZ E., GUIRADO J., MERLO M.E. Y MOTA J.F. (2014) Extreme habitat loss in a Mediterranean habitat: *Maytenus senegalensis* subsp. *europaea*. *Plant Biosystems - An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology*, 1-27. Disponible en: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/11263504.2014.995146#.VM-g2NKG-rk>
- MILCHUNAS D.G. Y LAUENROTH W.K. (1993) Quantitative effects of grazing on vegetation and soils over a global range of environments. *Ecological Monographs*, 63 (4), 327-366.
- MILCHUNAS D.G., SALA O.E. Y LAUENROTH W.K. (1988) A generalized model of the effects of grazing by large herbivores on grasslands community structure. *The American Naturalist*, 132, 87-106.
- MIRANDA J.D., PADILLA F.M., LÁZARO R. Y PUGNAIRE F.I. (2009) Do changes in rainfall patterns affect semiarid annual plant communities? *Journal of Vegetation Science*, 20 (2), 269-276.
- MORENO J.C. coord. (2008). *Lista Roja 2008 de la flora vascular española*. Madrid, España: Dirección General de Medio Natural y Política Forestal (Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino y Sociedad Española de Biología de la Conservación de Plantas).
- MOTA J.F., PEÑAS J., CASTRO H., CABELLO J., GUIRADO J.S. (1996) Agricultural development vs biodiversity conservation: The Mediterranean semiarid vegetation in El Ejido (Almería, south-eastern Spain). *Biodiversity and Conservation*, 5, 1597-1617.
- MOUSSAID M., ELAMRANI A.A., BOURHIM N. Y BENAÏSSA M. (2012) Bulbes d'*Androcymbium gramineum* (Cav.) J.F.Macbr. (*Colchicaceae*) composition chimique, étude pharmacologique et toxicologique chez les souris. *Bulletin de la Société Royale des Sciences de Liège*, 81, 90-100.
- NAVEH Z. Y WHITTAKER R.H. (1979) Structural and floristic diversity of shrublands and woodlands in northern Israel and other Mediterranean regions. *Vegetatio*, 41, 171-190.
- NOY-MEIR I. Y ORON T. (2001) Effects of grazing on geophytes in Mediterranean vegetation. *Journal of Vegetation Science*, 12, 749-760.
- OSEM Y., PEREVOLOTSKY A. Y KIGEL J. (2002) Grazing effect on diversity of annual plant communities in a semi-arid rangeland: interactions with small-scale spatial and temporal variation in primary productivity. *The Journal of Ecology*, 90 (6), 936-946.
- PALACIO S., BUENO C.G., AZORÍN J., MAESTRO M. Y GÓMEZ-GARCÍA D. (2013) Wild-boar disturbance increases

- nutrient and C stores of geophytes in subalpine grasslands. *American Journal of Botany*, 100 (9), 1790-1799.
- PEDROLA-MONFORT J. Y CAUJAPÉ-CASTELLS J. (1994) Allozymic and morphological relationships among *Androcymbium gramineum*, *A. europaeum*, and *A. psammophilum* (Colchicaceae). *Plant Systematic and Evolution*, 191, 111-126.
- PEDROLA-MONFORT J. Y CAUJAPÉ-CASTELLS J. (1996) Genetic and morphological divergence in the *Androcymbium gramineum* complex (Colchicaceae). *Plant Systematic and Evolution*, 201, 149-162.
- PINHEIRO J.C. Y BATES D.M. (2000) *Mixed effect models in S and S-PLUS*. New York, USA: Springer.
- PROCHES S., COWLING R.M., GOLDBLATT P., MANNING J.C. Y SNIJMAN D.A. (2006) An overview of the Cape geophytes. *Biological Journal of the Linnean Society*, 87 (1), 27-43.
- R CORE TEAM (2014) R: *A language and environment for statistical computing*. Viena, Austria: R Foundation for Statistical Computing. Disponible en: <http://www.R-project.org>.
- RICO E. (2013) *Androcymbium*. En: Talavera *et al* (Eds) *Flora iberica* 20, pp 103-105. Madrid, España: Real Jardín Botánico, CSIC.
- ROBLES A.B., BARROSO F.G., GONZÁLEZ A., BOZA J. Y GONZÁLEZ-REBOLLAR J.L. (2002) Propuesta metodológica para el diagnóstico del estado de los pastos en el Parque Natural de Cabo de Gata Níjar. En: Chocarro C. *et al.* (Eds) *Producción de Pastos, Forrajes y Céspedes*, pp 573-578. Lleida, España: Universitat de Lleida.
- ROBLES A.B., RAMOS M.E. Y GONZÁLEZ-REBOLLAR J.L. (2013) Efecto del herbivorismo en la conservación de la especie amenazada *Androcymbium gramineum* (Cav.) McBri-dec. En: Busqué J. *et al.* (Eds) *Pastos y PAC 2014-2020*, pp 33-40. Potes, Cantabria, España: Sociedad Española para el Estudio de los Pastos.
- RODRÍGUEZ-CABALLERO E., CANTÓN Y., CHAMIZO S., AFANA A. Y SOLÉ-BENET A. (2012) Effect of biological soil crusts on surface roughness and implications for runoff and erosion. *Geomorphology*, 145-146, 81-89.
- ROSSA B. Y VON WILLERT D.J. (1999) Physiological characteristics of geophytes in semi-arid Namaqualand, South Africa. *Plant Ecology*, 142, 121-132.
- RUIZ-MIRAZO J. Y ROBLES A.B. (2012) Impact of targeted sheep grazing on herbage and holm oak saplings in a silvopastoral wildfire prevention system in south-eastern Spain. *Agroforestry Systems*, 86, 477-491.
- STERNBERG M., GUTMAN M., PEREVOLOTSKY A., UNGAR E.D. Y KIGEL J. (2000) Vegetation response to grazing management in a Mediterranean herbaceous community: a functional group approach. *Journal Applied Ecology*, 37, 224-237.
- TALAVERA S., ANDRÉS C., ARISTA M., FERNÁNDEZ PIEDRA M.P., RICO E., CRESPO M.B., QUINTANAR A., HERRERO A. Y AEDO C. (Eds) (2013) *Liliaceae-Agavaceae. Flora iberica* 20. Madrid, España: Real Jardín Botánico, CSIC.
- TIRADO R. (2009) 5220 Matorrales arborescentes con *Ziziphus* (*). En: VV.AA. (Eds) *Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en España*, pp 68. Madrid, España: Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino.
- TODD S.W. Y HOFFMAN M.T. (2009) A fence line in time demonstrates grazing-induced vegetation shifts and dynamics in the semiarid Succulent Karoo. *Ecological Applications*, 19, 1897-1908.
- VALLE F., ALGARRA J.A., ARROJO E., ASENSI A., CABELLO J., CANO E., CAÑADAS E.M., CUETO M., DANA E., DE SIMÓN NAVARRETE E., DÍEZ-GARRETAS B., GARCÍA-FUENTES A., GIMÉNEZ E., GÓMEZ-MERCADO F., JIMÉNEZ MORALES M.N., LINARES J.E., LORITE J., MELLENDO M., MONTOYA M.C., MOTA J., NAVARRO F.B., PEÑAS J., SALAZAR C. Y TORRES J.A. (2003) *Mapa de Series de Vegetación de Andalucía*. Madrid, España: Editorial Rueda.
- VERDÚ J.R. Y GALANTE E. (2002) Climatic stress, food availability and human activity as determinants of endemism patterns in the Mediterranean region: the case of dung beetles (Coleoptera, Scarabaeoidea) in the Iberian Peninsula. *Diversity and Distributions*, 8 (5), 259-274.
- WHITFORD W.G. Y KAY F.R. (1999) Biopedturbation by mammals in deserts: a review. *Journal of Arid Environments*, 41, 203-230.



RESEÑAS DE TESIS DOCTORALES

■ **Autora:** Aida López Sánchez

Título Tesis Doctoral con Mención Internacional:

“Balancing management and preservation of Mediterranean scattered oak woodlands (Dehesas) in human-dominated landscapes”

Programa/Facultad/Universidad: Investigación Forestal Avanzada/E.T.S.I Montes/Universidad Politécnica de Madrid

Directores: Dra. Sonia Roig Gómez y Dr. Rodolfo Dirzo Minjarez

Fecha defensa: 30 de Junio de 2015

Resumen

La investigación desarrollada en esta Tesis Doctoral ha sido llevada a cabo en los sistemas agroforestales mediterráneos, principalmente en las dehesas. Estos sistemas tienen gran importancia ecológica y socioeconómica, y mantienen altos valores medioambientales y de diversidad biológica a la vez que producen importantes servicios ecosistémicos.

La tesis estudia: i) la evidencia de la existencia de un cambio global del estrato arbóreo y del manejo del pastoreo en el todo el área de distribución de la dehesa durante los últimos 60 años; ii) la importancia del papel que juega el arbolado disperso y el adecuado manejo del ganado en la mejora de la producción, calidad y diversidad de las comunidades herbáceas, que a su vez, un pasto herbáceo bien desarrollado es importante para la rentabilidad del sistema, evaluando estos efectos bajo distintos escenarios de clima y calidad de estación; y iii) la evidencia de la falta de regeneración en sistemas agroforestales mediterráneos bajo distintos tipos de manejo del pastoreo, y además se evalúa el crecimiento y desarrollo de las pocas plántulas existentes que serán las que aseguren la viabilidad y persistencia y de estos sistemas.

El arbolado disperso de estos sistemas ha experimentado una reducción importante en su densidad arbórea y fracción de cabida cubierta durante el periodo entre 1950-1980 donde tuvieron lugar importantes transformaciones en la actividad agropecuaria. La cabaña ganadera de ovino disminuyó drásticamente en los años 70 en comparación a la de bovino que desde entonces ha aumentado progresivamente hasta la actualidad.

En el estudio de la regeneración en estos sistemas agroforestales, se constata que el mismo manejo del ganado do-

méstico (especialmente bovino) durante bastante tiempo (mínimo 30 años) ha provocado una reducción significativa de la densidad de las plántulas. Además la probabilidad de ocurrencia y la intensidad de daños por herbivoría es mayor bajo pastoreo bovino (con daños más intensos y consistentes) que bajo pastoreo ovino o sin pastoreo doméstico (presencia de ciervos). También el patrón de crecimiento de las plantas jóvenes encontradas estuvo afectado por el tipo de manejo, generando plántulas achaparradas en el caso del bovino y plántulas esbeltas favoreciendo el crecimiento en altura en el caso del ovino.

La presencia de un arbolado disperso genera una mayor diversidad en las comunidades herbáceas y ejerce un efecto variable en la producción de biomasa según las condiciones de disponibilidad de agua. Los pastos herbáceos asociados al ecotono en el borde de la copa de grandes árboles mostraron valores especialmente altos de diversidad herbácea. La presencia del ganado bajo pastoreo continuo de intensidad moderada a alta, especialmente el bovino (presente en zonas con algo más de humedad edáfica), incrementó los rendimientos de producción y diversidad del estrato herbáceo.

Los resultados de esta tesis muestran la importancia del equilibrio entre la producción y la conservación de los sistemas agroforestales mediterráneos para obtener una producción sostenible de servicios ecosistémicos mientras se asegura la perpetuación del sistema a largo plazo. Es crucial diseñar planes de gestión incorporando objetivos de conservación que integren técnicas silvopastorales apropiadas para poder aplicar en los sistemas agroforestales mediterráneos. Los resultados han sido parcialmente publicados en Plos ONE y Grass and Forage Science.

Palabras Clave: Dehesas, interacción ganado-arbolado-pasto herbáceo, diversidad alfa y beta, producción de pastos herbáceos, ecotono, especies de pastoreo doméstico y silvestre, pastos herbáceos desarbolados, silvopastoralismo, gestión ganadera, bovino, ovino, abandono de sistemas silvopastorales, *Cervus elaphus*, regeneración del arbolado en sistemas agroforestales, herbivoría, *Quercus ilex*, *Quercus agrifolia*.

Disponible en:

<http://oa.upm.es/37266/>

■ **Autor:** Miguel Ángel Minaya Santa Cruz

Título Tesis Doctoral: “*A multigenomic approach to the phylogeny, evolution and biogeography of the grass subfamily Pooideae with an emphasis on the subtribe Loliinae*”

Programa/Facultad/Universidad: Ciencias Agrarias y del Medio Natural/ Escuela Politécnica Superior-Huesca/Universidad de Zaragoza

Directora: Dra. Pilar Catalán Rodríguez

Fecha defensa: 10 de Abril de 2015

Resumen

El principal foco de interés de la presente tesis ha sido explorar diversos procesos de duplicación, recombinación, pseudogenización, conversiones génicas y poliploidización en las gramíneas templadas (Poaceae), poniendo un mayor énfasis en la subfamilia Pooideae. Para ello hemos utilizado el análisis de genes nucleares, cloroplásticos y mitocondriales. Estos estudios, junto con la construcción de una robusta filogenia desde un enfoque molecular, la estimación de los tiempos de divergencia y los patrones biogeográficos históricos, logran explicar de lo micro a lo macroevolutivo la aparición de nuevos linajes, y sus patrones de dispersión y de distribución histórica. En su conjunto, esta tesis doctoral ofrece una importante contribución en el campo de la sistemática molecular y evolutiva, logrando avances significativos y ofreciendo nuevas herramientas para el estudio de los genes en las plantas.

Como conclusiones generales cabe destacar: *i)* La compleja y singular dinámica evolutiva del gen nuclear copia simple (LCNG) *β-amylase* y del gen mitocondrial *rps3* en la familia Poaceae. Dicha dinámica evolutiva ha sido corroborada a través de la detención de secuencias bajo pseudogenización, paralogía, homeología, recombinación y desplazamientos filogenéticos. *ii)* La existencia de MITES (Miniature Inverted Repeat Transposable Elements) en regiones intrónicas y espacios intergénicos de los genes *β-amylase*, *Xylose isomerase (xly)*, *Barley leucine zipper (blz-1)*, *Nucellin (nuc)* y *Disrupted meiotic cDNA (dmc1)* nos ayudan a interpretar la compleja dinámica evolutiva del genoma nuclear de las gramíneas, el cual ha resultado ser mucho más complejo e intrincado de lo esperado. La hipótesis más plausible que explica la existencia de dichos elementos transponibles dentro de las Loliinae templadas es su adquisición independiente en diferentes momentos, seguida de múltiples pérdidas y transferencias horizontales. *iii)* La identificación y evaluación de genes y secuencias bajo recombinación, pseudogenización y con una presión evolutiva negativa es un paso clave en el uso de marcadores moleculares como fuente de datos en reconstrucciones

filogenéticas. La existencia de dichos eventos evolutivos ha resultado ser mucho más común de lo esperado en gramíneas. Quizá estemos en los albores de entender que el modelo de evolución génica en plantas, actualmente limitado a especiaciones, duplicaciones y pérdidas de genes, es mucho más amplio debiéndose incorporar a la rutina investigadora fenómenos como microconversiones, o transferencias horizontales de genes entre especies alejadas filogenéticamente. *iv)* Las filogenias presentadas en esta tesis doctoral, basadas en marcadores nucleares (*ITS*, *β-amylase*) y plastídicos (*matK*, *ndhF*, *trnH-psbA*, *trnTL* y *trnLF*), fueron en general altamente congruentes con los trabajos publicados hasta la fecha. Cabe destacar la nueva relación observada entre los clados Brachypodieae + corepoids, y los cinco nuevos linajes descritos correspondientes mayormente a Loliinae Australes: el clado Euroasiático - Sur Americano, el clado sur Africano - centro Americano, el clado de África tropical - sur Africano, el clado de Vulpias Americanas + Pampas, y el clado Afroalpino. *v)* Las dataciones de Pooideae calibradas con fósiles indican que la diversificación más temprana dentro del clado BEP ocurrió entre el Paleoceno medio y el Eoceno temprano. Dichas diversificaciones parecen estar relacionadas con un periodo de calentamiento global. Sin embargo, el desarrollo de un clima más frío y seco durante el Eoceno tardío y el Oligoceno favoreció la diversificación de las Pooideae debido probablemente a la formación de grandes espacios abiertos en forma de prados y praderas. Nuestras estimaciones indican que la subtribu Loliinae se originó durante el Oligoceno tardío, y divergió fundamentalmente durante el Mioceno medio y el tardío. *vi)* Los escenarios biogeográficos reconstruidos para la subtribu Loliinae sugieren que la mayor parte de sus ancestros se dispersaron mediante neocolonizaciones, recolonizaciones y migraciones a larga distancia desde el hemisferio norte al sur, pero también en dirección opuesta e incluso dentro del hemisferio sur. Las “festucas de hoja ancha” presentaron un inequívoco ancestro común en el Mediterráneo occidental. Sin embargo, el grupo de las “festucas de hoja fina” muestran *a priori* dos orígenes independientes: el Mediterráneo occidental y la región Patagónica.

Palabras Clave: Dataciones filogenéticas, dispersión-larga distancia, elementos transponibles, genética, incongruencias filogenéticas, Poaceae, poliploidía, recombinaciones génicas, sistemática molecular, tasas de diversificación, taxonomía, transferencia horizontal de genes.

Disponible en:

<http://zaguan.unizar.es/record/31598>

INSTRUCCIONES PARA AUTORES

ÁMBITO DE LA REVISTA

La revista PASTOS admite artículos originales sobre la producción y utilización de pastos y forrajes, dentro de las áreas de conocimiento siguientes: recursos naturales (suelo, agua, clima, etc.) en los que se basa la producción de pastos y forrajes; ecología, nutrición, protección, selección, mejora, manejo y conservación de especies forrajeras y pratenses; nutrición, alimentación y manejo de animales; sistemas de producción animal con base en pastos y forrajes; aprovechamiento de pastos; impacto ambiental de las explotaciones ganaderas; estudios económicos; etc. El envío de un trabajo a PASTOS implica que sus autores no han enviado simultáneamente el mismo original a otra revista para su publicación.

CESIÓN DE DERECHOS DE LOS AUTORES

Dado que la revista es de libre acceso, la publicación en PASTOS implica la cesión de los derechos de los autores para que PASTOS pueda difundir sus artículos a través de las bases de datos que estime oportunas.

IDIOMAS

La revista PASTOS acepta artículos originales en español e inglés.

TEXTOS ORIGINALES

Los textos originales se escribirán utilizando el programa Word de Microsoft Office. No se requiere ninguna especificación en cuanto a formato (fuente de letras, espacios, etc). La extensión máxima de los artículos científicos será de 70.000 caracteres (sin espacios). Para las revisiones científicas y ponencias de reuniones científicas no hay un límite prefijado de caracteres.

ENVÍO DE LOS ORIGINALES

Se enviarán por correo electrónico a uno o a los dos editores principales de la Revista PASTOS, D. Juan Busqué Marcos (juanbusque@cifacantabria.org) y D. Ramón Reiné Viñales (rreine@unizar.es).

PROCESO DE REVISIÓN DE LOS ORIGINALES

Los editores principales enviarán los originales recibidos a uno de los editores asociados del área al que corresponda el trabajo. El editor asociado asignará la evaluación a un mínimo de dos revisores anónimos externos y expertos en la temática.

ORGANIZACIÓN DEL TEXTO

Los artículos científicos tendrán la siguiente disposición:

- Título principal en idioma original (máximo 25 palabras)
- Título en segundo idioma (inglés o español)

- Título abreviado (para cabecera de páginas; máximo 50 caracteres con espacios)
- Nombre autor/es
- Dirección autor/es
- Correo electrónico del autor de contacto
- Resumen en idioma original
- Resumen en segundo idioma (inglés o español)
- Palabras clave en idioma original
- Palabras clave en segundo idioma (inglés o español)
- Introducción
- Material y métodos
- Resultados
- Discusión (o junto a Resultados)
- Conclusiones
- Agradecimientos
- Referencias bibliográficas

NOMBRE DEL AUTOR O AUTORES

Nombre completo y dos apellidos. La dirección de los autores incluirá la dirección postal completa. Si los distintos autores tienen direcciones diferentes, debe indicarse con un superíndice numérico.

Se señalará el autor para la correspondencia con un asterisco y una nota con su correo electrónico a continuación de las direcciones.

Ejemplo: Juan Fernández García*¹, Antonio Gómez Ferrán¹ y Raúl Andrés Sarmiento²

¹ Área de Producción Animal. Facultad de Veterinaria. Universidad de Cádiz. Plaza de la Ciencia s/n E-25371 Cádiz (España).

² Área de Ecología. Facultad de Biología. Universidad de Toledo. E-45071 Toledo (España).

* jfgarcia@tmail.com

RESUMEN

Debe ser informativo, no indicativo, para permitir al lector apreciar el contenido e interés del trabajo. Debe informar sobre objetivos, metodología, resultados y conclusiones. En su contenido no debe haber referencias ni al texto, ni a las figuras, ni a las tablas del artículo resumido. Máximo de 300 palabras para artículos científicos y notas de investigación, y 450 para las revisiones científicas.

PALABRAS CLAVE

El resumen irá seguido de un máximo de cinco palabras clave que no estén contenidas en el título.

SUBAPARTADOS

Para los apartados "Material y Métodos", "Resultados" y "Discusión", se podrá estructurar el texto en unidades menores como subapartados jerarquizados.

TABLAS

Las tablas deben estar concebidas y estructuradas de tal modo que puedan leerse y entenderse por sí mismas, con independencia del texto. Se recomienda hacerlas con el procesador de textos y nunca insertadas como imagen desde otro programa. Se situarán al final del texto, después del apartado de referencias bibliográficas, aunque los autores podrán indicar su preferencia de ubicación en el trabajo. Los títulos irán encima de las tablas.

Se traducirá al segundo idioma inmediatamente debajo del título en idioma original.

FIGURAS

Las figuras deben estar concebidas y diseñadas de tal modo que puedan leerse y entenderse por sí mismas, con independencia del texto. Se enviarán en formato JPG o TIF a una resolución mínima de 300 ppp, o como fichero de excel. Se indicará en el texto del artículo su lugar de inserción. Se recomienda que las figuras sean originalmente en color, pero cuidando que sean comprensibles en la escala de grises. El pie (título de la figura) no formará parte de la figura. Se escribirá a continuación de las tablas con la correspondiente traducción al segundo idioma.

FOTOGRAFÍAS

Se recomienda incluir dos fotografías que ayuden a entender mejor aspectos importantes del trabajo. Estas deberán enviarse como archivos TIF, JPG o PSD, con una calidad mínima de 300 ppp. Se publicarán en color. El pie (texto de la fotografía) no formará parte de la fotografía. Se escribirá en el texto a continuación de los pies de figuras con la correspondiente traducción al segundo idioma. Se recomienda especificar el autor de la fotografía.

CITAS DENTRO DEL TEXTO

Todas las citas que aparezcan en el texto deben figurar también en el apartado de referencias bibliográficas, situado al final del texto, y viceversa.

1. Si el nombre/s del autor/es no forma parte del texto se citarán solamente los apellidos, sin iniciales, entre paréntesis, en letra minúscula, seguidos del año de la publicación, separado por una coma, en el lugar que corresponda.

Ejemplos: Caso de un autor "... (Garcés, 1995a)...", caso de dos autores "... (Pérez y Marqués, 2005)...", caso de más de dos autores "... (Navarro *et al.*, 2010)..."

2. Si el nombre/nombres del autor/es forma parte del texto se pone el año entre paréntesis.

Ejemplos: "...según los trabajos de Garcés (1995a), Pérez y Marqués *et al.* (2005), Navarro *et al.* (2010), ...".

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS (al final del texto)

Las referencias bibliográficas se ordenarán por orden alfabético de apellidos del autor o primer autor, si son varios. Para distintos trabajos de un mismo autor, o autores, se seguirá el orden cronológico del año de publicación. Si en un mismo año hay más de una publicación de un autor, o autores, se distinguirán añadiendo una letra al año de publicación.

Ejemplo: 2013a, 2013b.

Forma de presentación de las referencias al final del texto:

• Caso de revistas:

Formato:

APELLIDO/S INICIAL/ES [del nombre],...,..., Y APELLIDO/S INICIAL/ES [del nombre] [de los autores] (año) Título del artículo. *Nombre completo de la revista [en cursiva]*, volumen (número), primera página-última página (del artículo).

Ejemplos:

PÉREZ A. Y MARQUÉS C. (2005) Caracterización de un sistema productivo forrajero basado en el uso de recursos endógenos. *Pastos*, 27(2), 124-145.

NAVARRO A.M., REQUÉS G. Y FERNÁNDEZ-RICO V. (2013) Factores asociados al crecimiento de *Dactylis glomerata* L. bajo distintos niveles de fertilización nitrogenada. *Pastos*, 41(2), 1-14.

• Caso de libros de un solo autor o grupo de autores para toda la obra:

Formato:

APELLIDO/S INICIAL/S [del nombre],...,..., Y APELLIDO/S INICIAL/S [del nombre] [de los autores] (año) *Título del libro [en cursiva]*. Ciudad de la Editorial, País: Nombre de la Editorial.

Ejemplos:

ALONSO MARTÍNEZ J. (2008) *Los recursos forrajeros de la baja Extremadura*. Badajoz, España: Ediciones Alday.

JONES J., INGLISH J.K. Y SMITH A.S. (2012) *British grasslands under siege*. Wallingford, UK: Commonwealth Agricultural Bureaux.

• Caso de libros colectivos, con capítulos escritos por distintos autores:

Formato:

APELLIDO/S INICIAL/S [del nombre],...,..., Y APELLIDO/S INICIAL/S [del nombre] [de los autores] (año) Título del artículo o capítulo. En: Apellido/s Inicial/s [del nombre],...,..., y Apellido/s Inicial/s [del nombre] [de los editores] (Ed, si es solamente un editor, o Eds, si son dos o más editores) *Título del libro (en cursiva)*, pp. primera página-última página (del artículo o capítulo). Ciudad de la Editorial, País: Nombre de la Editorial.

En el caso de que haya más de dos editores se pondrá solamente el primero seguido de las palabras *et al.*

Ejemplos [con uno o dos editores]:

SMITH A. (2010) Measuring productivity. En: Taylor B.J.F. (ed) *Measurements of pasture systems*, pp. 25-40. Bristol, Australia: Ferguson and Liar Ltd.

MARTÍNEZ N. Y RUÍZ M.T. (2002) Fuegos prescritos. En: García P. y Bosque M. (eds) *Usos y problemática del fuego*, pp. 115-147. Ciudad Real, España: Verdeamor.

Ejemplo [con tres o más editores]:

GARCÍA-NAVARRO R., ALVARENGA J. Y CALLEJA A. (2009) Efecto de la fertilización fosfórica sobre la presencia de especies en el forraje de prados de montaña. En: Reiné R. *et al.* (Eds) *La multifuncionalidad de los pastos: producción ganadera sostenible y gestión de los ecosistemas*, pp 197-203. Huesca, España: Sociedad Española para el Estudio de los Pastos.

• **Caso de recursos en internet:**

En el caso de que la referencia bibliográfica tenga un acceso URL a su contenido, se recomienda especificarlo al final de la referencia con la fecha de consulta.

Ejemplo:

ALONSO MARTÍNEZ J. (2008) *Los recursos forrajeros de la baja Extremadura*. Badajoz, España: Ediciones Alday.

Disponible en: <http://pastosextremadura.org/librorecursos.pdf>. Consulta: 14 abril 2013.

UNIDADES DE MEDIDA

Para las unidades de medida se seguirá el SI (Sistema Internacional de Unidades). En general, los símbolos se escriben en minúsculas, salvo si se trata de la primera palabra de una frase o del nombre "grado Celsius", quedando invariables en plural. Nunca los símbolos van seguidos de punto, salvo si se encuentran al final de una frase. En este caso el punto corresponde a la ortografía habitual de la frase pero no forma parte del símbolo (es incorrecto escribir kg., ha., km.).

El símbolo de litro será L cuando vaya precedido por un número y 1 cuando lo sea por un prefijo de fracción (ejemplo, ml). Cuando las unidades no vayan precedidas por un número se expresarán por su nombre completo, sin utilizar su símbolo. Ejemplos de símbolos comunes: kilogramo = kg, hectárea = ha, metro = m, kilómetro = km. (en este último caso el punto no forma parte del símbolo, se pone porque es final de frase).

Expresión algebraica de los símbolos de las unidades SI

1. Multiplicación. Cuando una unidad derivada está formada multiplicando dos o varias unidades, los símbolos de las unidades se separarán por un espacio. *Ejemplo:* N m.
2. División. Cuando una unidad derivada está formada dividiendo una unidad por otra, se puede utilizar una barra inclinada (/), una barra horizontal o exponentes negativos. *Ejemplo:* m/s o m s⁻¹. No debe utilizarse la barra inclinada y los exponentes negativos en un mismo artículo. Hay que optar por uno de los dos.
3. Nunca, en una misma línea, debe seguir a una barra inclinada un signo de multiplicación o de división, a no ser que se utilicen paréntesis para evitar toda ambigüedad. *Ejemplo 1:* m/s² o m s⁻², son expresiones correctas, pero m/s/s, es incorrecta. *Ejemplo 2:* m kg/(s³ A) o m kg s⁻³ A⁻¹, son expresiones correctas, pero m kg/s³/A y m kg/s³ A, son incorrectas.

NOTACIÓN NUMÉRICA

1. En el texto se utilizarán palabras para los valores de cero a nueve y cifras para los valores superiores.
2. Debe dejarse un espacio entre grupos de tres dígitos, tanto a la izquierda como a la derecha de la coma (15 739,012 53). En números de cuatro dígitos puede omitirse dicho espacio. Los nú-

meros de los años deben escribirse sin separar el primer dígito del segundo (es correcto escribir año 2011). Ni el punto, ni la coma deben usarse como separadores de los miles.

Ejemplo: el número ciento veintitrés millones trescientos veinticinco mil ciento setenta se escribe 123 325 170 (123.325.170 o 123,325,170 son formas incorrectas).

3. Las operaciones matemáticas solo deben aplicarse a símbolos de unidades (kg/m³) y no a nombres de unidades (kilogramo/metro cúbico).
4. Debe estar perfectamente claro a qué símbolo de unidad pertenece el valor numérico y qué operación matemática se aplica al valor de la magnitud. *Ejemplo:* es correcto escribir 35 cm x 48 cm o 100 g ± 2 g (35 x 48 cm o 100 ± 2g son formas incorrectas).

CIFRAS DECIMALES

Dentro del texto en español:

Se separarán de la parte entera por una coma abajo (,).

Ejemplo: 10,17 (10.17 es forma incorrecta).

Dentro del texto en inglés (summary):

Se separarán de la parte entera por un punto.

Ejemplo: 10.17 es correcto.

ABREVIATURAS

Las abreviaturas deberán definirse la primera vez que se mencionen en el texto (*Ejemplo:* "política agraria común (PAC)") y de nuevo en todas las tablas y figuras donde aparezcan.

NOMBRES DE PLANTAS, CULTIVARES, ETC.

El nombre botánico de las plantas se escribirá en cursiva, en letra minúscula, con excepción de la primera del género, que será mayúscula.

El nombre de las variedades comerciales, o cultivares, se escribirá con letra normal y entre comillas simples o bien con letra normal precedido de cv (símbolo de cultivar) cuando sigan al nombre botánico de la especie.

Ejemplo: *Lolium multiflorum* Lam. "Tama" o *Lolium multiflorum* Lam. cv Tama.

En el caso de cultivos de microorganismos se indicará la procedencia y denominación cuando estén depositados en colecciones reconocidas. Los nombres vulgares de plantas deben ir seguidos del nombre botánico entre paréntesis la primera vez que aparezcan en el texto.