

PASTOS



S.E.E.P.

N.º 44 (1). JUNIO 2014

REVISTA DE LA SOCIEDAD ESPAÑOLA PARA EL ESTUDIO DE LOS PASTOS



www.seepastos.es

PASTOS

N.º 44 (1). JUNIO 2014



En portada...

Novillas frisonas en prados de montaña

© Paula Martínez Bol

La recría de novillas frisonas en pastoreo es una actividad aún en auge en la montaña pasiega de Cantabria. En este caso, integrado en un paisaje de alto valor natural: el Parque Natural de los Collados del Asón. La vegetación característica combina los prados particulares con los brezales (*Erica vagans* en primer término) y los hayedos (al fondo).

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. Ponencias a la 53 Reunión Científica de la SEEP	5
De la investigación a la práctica: herramientas para gestionar la ganadería de montaña y los pastos comunales de Cantabria dentro de la política agraria común	6-42
J. BUSQUÉ MARCOS	
2. Artículos Científicos	43
Efecto a largo plazo de la raza de vaca y de la estrategia de alimentación sobre la producción y composición de la leche, el peso vivo y la condición corporal del ganado vacuno lechero en el sistema de pastoreo rotacional simplificado	44-58
A.I. ROCA-FERNÁNDEZ, L. DELABY, A. GONZÁLEZ-RODRÍGUEZ, M ^a .E. LÓPEZ-MOSQUERA, S. LEURENT E Y. GALLARD	
Creación y persistencia de la aversión condicionada a hojas de vid en ovino. Aplicación al pastoreo de viñedos en primavera	59-66
C.L. MANUELIAN FUSTÉ, E. ALBANELL TRULLÁS, M. ROVAI, LL.GIRALT VIDAL, A.A.K. SALAMA, C. DOMINGO GUSTEMS Y G. CAJA LÓPEZ	
Historia breve de PASTOS	67-70
J. PIÑEIRO ANDIÓN	
53 Reunión Científica de la Sociedad Española para el Estudio de los Pastos (S.E.E.P.). “PASTOS Y PAC 2014-2020”	71-73
A. MARTÍNEZ FERNÁNDEZ	
Reseñas de tesis doctorales	74-77
Instrucciones para autores	78-80

Estimados socios de la SEEP y lectores de *Pastos*. Ponemos en vuestras manos un nuevo número de la revista, el 44(1), el tercero de esta etapa en la que hemos asumido las labores de edición de la publicación. En esta ocasión, además del nuevo formato de la revista y de la inclusión como artículos de las ponencias de las Reuniones Científicas de la SEEP, cambios ya estrenados respectivamente en los dos números anteriores, presentamos como novedad la incorporación de reseñas de las tesis doctorales relacionadas con el ámbito científico de nuestra revista. Para esta primera oportunidad hemos creído conveniente incluir referencias de seis tesis doctorales defendidas en los últimos cinco años, si bien es nuestro deseo en próximos números difundir una información lo más actualizada posible. Para ello lógicamente necesitamos de vuestra colaboración y desde aquí hacemos un llamamiento para que nos hagáis llegar a cualquiera de los dos editores, esta información referente a las defensas tanto de tesis doctorales como de tesis de máster.

En el presente número publicamos en primer lugar una de las ponencias presentadas por Juan Busqué en la Reunión Científica de Cantabria bajo el lema “Pastos y PAC 2014-2020”. El autor nos muestra el modelo de simulación del pastoreo denominado “Puerto” a través de su aplicación en tres casos prácticos y la descripción de su funcionamiento en un anejo. El trabajo de indudable interés y actualidad, manifiesta el potencial del modelo como herramienta para gestionar los pastos comunales de montaña en el marco de la nueva PAC. Los dos artículos científicos siguientes tratan temas muy diferentes. El firmado por Ana I. Roca y colaboradores presenta resultados de una muy completa investigación sobre el ganado vacuno lechero en sistemas de pastoreo rotacional y en sus conclusiones incorporan algunas recomendaciones de gestión, interesantes para este sector que está de plena actualidad tras la supresión de la cuota láctea. Por otra parte el firmado por Carmen L. Manuelian y colaboradores, sobre la creación de aversión condicionada a las hojas de vid en ovino para conseguir el pastoreo del viñedo en primavera, estamos seguros que sorprenderá gratamente por su originalidad a los lectores de PASTOS que no hayan asistido a las dos últimas Reuniones Científicas de la SEEP. Para finalizar nuestro querido y admirado Juan Piñeiro, director de PASTOS durante dos décadas, nos presenta una historia breve de la revista, que con sus 44 años de antigüedad todos deseamos que continúe siendo la referencia de nuestra sociedad científica.

Acabamos agradeciendo una vez más el oficio de los revisores anónimos y de los editores asociados de PASTOS. Con su labor y dedicación esperamos ir alcanzando nuestro primer objetivo de poner al día la publicación de la revista. También necesitamos, como no, vuestras aportaciones en forma de manuscritos originales para publicar y todo tipo de comentarios, sugerencias o iniciativas relacionada con la revista que nos queráis transmitir. Por lo demás esperamos que el número sea de vuestro agrado.

Juan Busqué (juanbusque@cifacantabria.org)

Ramón Reiné (reine@unizar.es)

Editores Principales de Pastos

1

PONENCIAS A LA 53 REUNIÓN
CIENTÍFICA DE LA SEEP



DE LA INVESTIGACIÓN A LA PRÁCTICA: HERRAMIENTAS PARA GESTIONAR LA GANADERÍA DE MONTAÑA Y LOS PASTOS COMUNALES DE CANTABRIA DENTRO DE LA POLÍTICA AGRARIA COMÚN

J. BUSQUÉ MARCOS

Centro de Investigación y Formación Agrarias del Gobierno de Cantabria. C/ Héroes del 2 de Mayo, 27. 39600 Muriedas.
juanbusque@cifacantabria.org

SCIENCE INTO PRACTICE: TOOLS TO MANAGE MOUNTAIN LIVESTOCK SYSTEMS AND GRAZING COMMONS OF CANTABRIA WITHIN THE COMMON AGRICULTURAL POLICY

Historial del artículo:

Recibido: 31/12/2014

Revisado: 04/03/2015

Aceptado: 19/03/2015

Disponible online: 13/04/2015

Autor para correspondencia:

juanbusque@cifacantabria.org

ISSN: 2340-1672

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

Palabras clave:

Modelo de simulación PUERTO, escenarios de pastoreo, coeficiente de admisibilidad de pastos, instrumentos de gestión de montes, utilización forrajera.

Keywords:

PUERTO simulation model, grazing scenarios, pasture eligibility coefficient, mountain management plans, forage utilisation.

RESUMEN

La ganadería extensiva de montaña y los pastos comunales son recursos de gran importancia socio-económica y ecológica en Cantabria y en otras regiones montañosas de Europa. Aún así, y a pesar de las exigencias normativas, es notoria la actual carencia de planes de gestión que aseguren un uso silvopastoral sostenible de los terrenos comunales. Resulta paradójico que la Política Agraria Común (PAC), fuente de ingresos más importante de las ganaderías extensivas y basada principalmente en pagos por superficie agraria, no considere explícitamente la necesidad de esta gestión en su apoyo económico a estos sistemas ganaderos. El próximo programa 2015-2020 de la PAC en Cantabria centra buena parte de sus esfuerzos en pagar por el mantenimiento de pastos permanentes, con escasas exigencias sobre cómo hacerlo y con una definición de "pasto permanente" aún controvertida. Las medidas propuestas para este nuevo programa no favorecen la mejora de unos sistemas ganaderos de montaña en declive, siendo necesario considerar una visión sistémica que integre territorio y ganado en pastoreo a la escala de paisaje correcta. Desde el punto de vista técnico, es necesario disponer de herramientas que ayuden en este enfoque. En este sentido, se presenta el modelo de simulación PUERTO, que emula el funcionamiento del pastoreo en pastos comunales de montaña complejos, permitiendo evaluar si la utilización forrajera del territorio es sostenible para el pasto y los herbívoros. Este modelo se ha creado con el objetivo de servir como herramienta de apoyo a la gestión de estos sistemas, pudiendo, por tanto, ayudar desde la investigación a la construcción de una futura PAC que articule de forma más tangible sus objetivos de sostenibilidad de los agro-ecosistemas. Se presentan tres casos diferentes de aplicación del modelo PUERTO a situaciones de complejidad creciente para comprender su funcionamiento y su potencial utilidad práctica. En estos casos se muestra la capacidad del modelo de simular los efectos producidos por distintos escenarios de carga ganadera, tipos de ganado en pastoreo o superficie de pasto mejorado, así como su utilidad en el diseño de instrumentos de gestión de montes comunales de gran superficie y con múltiples rebaños en pastoreo, a través de la interpretación de los resultados predichos sobre variación del peso de los animales y utilización forrajera de la vegetación en unidades territoriales del comunal bien definidas.

ABSTRACT

Extensive livestock farming and communal grazing land are important socio-economic and ecological resources in Cantabria and in other mountainous regions of Europe. However, and even with existing regulatory mandates, it is notorious the current lack of management plans to ensure sustainable silvopastoral use in these commons. It is paradoxical that the Common Agricultural Policy (CAP), which is the most important income source in extensive livestock farms, does not consider explicitly the need for these management plans in their support to these agricultural systems. The next 2015-2020 CAP program in Cantabria focuses most of its budget in paying farmers for the maintenance of permanent pastures, with few requirements on how to do it and even with a definition of what is "permanent pasture" which is still controversial. The proposed measures in this new program do not favour the improvement of these depressed mountain livestock farming systems, as it is still necessary to view them systemically, integrating land and livestock and at a correct landscape scale. From the technical point of view, there is a need to dispose of tools that can aid in this approach. One of these is the simulation model PUERTO, which is introduced in this contribution. PUERTO emulates the functioning of grazing in complex mountainous communal rangelands, allowing for the evaluation of forage utilisation sustainability both for the land and for the herbivores. This model was created with the main objective of serving as a decision support tool to the management of this type of systems, aiming to help in the long term to the construction of a future CAP which considers in a more tangible way its objectives of agro-ecosystems sustainability. Three different cases of application of the model PUERTO are presented, considering situations of increasing complexity to help in understanding how it works and its potentiality of use. These cases show the capacity of the model to simulate the effects of different scenarios of stocking rate, type of grazing livestock species or area of improved grassland. They also demonstrate the utility of PUERTO for the implementation of management planning in large commons with many grazing herds. This is performed interpreting the predicted outputs on animal weight changes and vegetation forage utilisation in well defined land units conforming the communal land.

LA GANADERÍA DE MONTAÑA Y LOS COMUNALES EN CANTABRIA

Cantabria es una región pequeña (5.326 km²) con dos características marcadas que definen su sector agrario: es eminentemente ganadera y montañosa. La ganadería supone más del 85% del valor de la producción agraria regional (www.icanne.es), mientras que el territorio de montaña, definido por altitud y pendientes, cubre el 82% de la superficie regional (Programa de Desarrollo Rural de Cantabria 2007-2013). Esta mayoría montañosa de Cantabria alberga principalmente sistemas ganaderos extensivos, definidos por la importancia que tiene el pastoreo en la alimentación animal (Beaufoy y Ruíz-Mirazo, 2013). Las ganaderías de vacas nodrizas de razas autóctonas, o de alóctonas de orientación cárnica, o de sus mezclas, son los sistemas ganaderos extensivos predominantes, por delante del equino, ovino y caprino. Los pastos permanentes son también los pastos mayoritarios, con proporciones de la superficie agraria útil total que en Europa sólo se encuentran en otras pocas regiones: Asturias, algunas regiones montañosas de Alpes, Cárpatos y Gran Bretaña y en Irlanda, Noruega y Córcega (Comisión Europea, 2012). Se trata, además, de pastos permanentes que comprenden comunidades vegetales diversas según su composición botánica y las adaptaciones de sus plantas a diferentes condiciones de clima, suelo y perturbaciones (p.ej. pastoreo y fuego). La mayoría son comunidades vegetales poco productivas, pero muchas de sus plantas aportan características beneficiosas para la salud animal (Moreno *et al.*, 2012) y de los consumidores (Humada *et al.*, 2013), y en general son generadoras de importantes servicios ecosistémicos en mayor medida que los cultivos anuales y en forma similar a los bosques (Moulin, 2014). El interés de conservación de estos pastos en Cantabria se refleja en su alta participación (alrededor del 60%) en la superficie de la Red Natura 2000 de montaña de la región (~146.000 has). El predominio de pastos permanentes diversos y de ganadería extensiva dan como resultado que el porcentaje estimado de la superficie agraria útil regional ocupada por Sistemas Agrarios de Alto Valor Natural sea de los más altos de Europa a escala regional (por encima del 80%; Comisión Europea, 2012; Agencia Europea de Medio Ambiente, 2012).

Como en otras áreas de montaña europeas, los terrenos comunales ocupan la mayor parte de la superficie de los municipios de montaña de Cantabria, principalmente las zonas con peores condiciones ambientales y de acceso. Los pastos comunales proveen la alimentación de la ganadería extensiva durante más de la mitad del año (Vázquez *et al.*,

2011a). Históricamente el uso silvopastoral de los terrenos comunales estaba fuertemente regulado, ya que de ello dependía la supervivencia de las comunidades rurales (García Fernández, 1990). Esta regulación, documentada en forma de ordenanzas de pastos desde la edad media (Gómez Sal *et al.*, 1995), refleja la existencia de culturas que co-evolucionaron con los recursos naturales próximos, y que fueron expertas en su uso sostenible mediante el pastoreo del ganado (Montserrat y Fillat, 1977). Desgraciadamente, en los últimos decenios y debido a múltiples causas (Busqué *et al.*, 2005), se ha producido una pérdida notable de los conocimientos y prácticas de estas culturas, lo que se traduce en una peor adaptación de la ganadería de montaña a su entorno, con consecuencias graves ya visibles en cuanto a degradación de los paisajes pastorales de montaña (Fillat *et al.*, 2012), y productividades ganaderas asociadas a estos excesivamente bajas (Moros y Busqué, 2014). La utilización ganadera de los pastos comunales es hoy mucho más simple de como era antiguamente (García Fernández, 1990). Por último, además de los cambios en los usos es ya evidente la existencia de un cambio climático, que tiene también importantes interacciones con el uso pastoral del territorio (Agencia Europea de Medio Ambiente, 2010; Gutiérrez *et al.*, 2010; Dumont *et al.*, 2014).

LA POLÍTICA AGRARIA COMÚN (PAC) 2015-2020 Y LOS PASTOS PERMANENTES

La superficie de pastos gestionada a nivel de explotación es la referencia utilizada para los pagos más importantes de la PAC a los ganaderos. Dado su preocupante declive en las últimas décadas y su demostrado valor como generadores de servicios ecosistémicos, los pastos permanentes han sido objeto de protección especial en las últimas campañas de la PAC. En la nueva campaña 2015-2020, la existencia de pastos permanentes es uno de los requisitos para acceder al nuevo pago verde del Pilar 1 por prácticas agrícolas beneficiosas para el clima y el medio ambiente (Reglamento 1307/2013, artículo 43). La definición de lo que debe considerarse oficialmente pasto permanente ha sido objeto de un debate intenso en los últimos años, dando como resultado su ampliación desde la normativa del periodo 2007-2014 a la correspondiente al periodo 2015-2020¹. Se han añadido tipos de vegetación no mayoritariamente herbáceos si se justifica adecuadamente la existencia de prácticas tradicionales y locales ligadas a su uso. Con esta nueva normativa se reconoce la existencia de tipos de pasto mayoritariamente leñosos, o con un grado de recubrimiento muy alto del suelo por la proyección vertical de las copas de

¹ Definiciones de pastos permanentes.

Reglamento 1120/2009: "las tierras utilizadas para el cultivo de gramíneas u otros forrajes herbáceos, ya sean naturales (espontáneos) o cultivados (sembrados), y no incluidas en la rotación de cultivos de la explotación durante cinco años o más..."

Reglamento 1307/2013: a la definición anterior se añade: "... pueden incluir otras especies como arbustivos y/o arbóreos que pueden servir de pastos, siempre que las gramíneas y otros forrajes herbáceos sigan siendo predominantes, y, cuando los Estados miembros así lo decidan, pueden asimismo incluir tierras que sirvan para pastos y que formen parte de las prácticas locales establecidas, según las cuales las gramíneas y otros forrajes herbáceos no han predominado tradicionalmente en las superficies para pastos."

arbolado; pero se exige que esto quede claramente documentado (incluso cartografiado) para evitar incluir situaciones donde no se produce actividad ganadera.

La importancia de los pastos arbustivos en la montaña de Cantabria es manifiesta: en 2012 se declararon admisibles casi 111.000 has de pastos comunales (un 56% del total de pastos admisibles declarados en la región), que sirvieron para que 2.800 beneficiarios cobraran 10,3 M € de pago único; un 84% de estos pastos comunales estaban clasificados como pastos arbustivos (PR) en la base de datos del Sistema de Información Geográfica de Parcelas Agrícolas (SIGPAC).

Otra de las novedades de la nueva normativa es que, en ciertos casos, y por las exigencias de conservación de la Directiva Habitats, especialmente en la Red Natura 2000, se facilita la inclusión de pastos permanentes leñosos que pudieran considerarse medioambientalmente sensibles (Reglamento 1307/2013, artículo 45).

La exigencia de distinguir entre pasto leñoso y comunidades vegetales leñosas sin uso pastoral se debe acometer a nivel de recinto de SIGPAC, usando para ello un coeficiente corrector (coeficiente de admisibilidad de pastos, CAP), que defina el porcentaje del recinto que sí se puede considerar como pasto (Reglamento Delegado 639/2014, artículo 8). La Comisión Europea busca, por tanto, que los pagos a los ganaderos se realicen por superficies de pasto (*sensu* nomenclator de la SEEP²), pero, por otro lado, no admite que esto sea verificable mediante declaración de ganado existente en pastoreo y no de superficie, tal como sugieren múltiples organizaciones a nivel de toda Europa (Beaufoy y Poux, 2012; Beaufoy y Ruíz-Mirazo, 2013).

El Fondo Español de Garantía Agraria (FEGA), como organismo estatal encargado de hacer aplicar y gestionar las ayudas de la PAC en coordinación con las Comunidades Autónomas, ha diseñado una metodología de cálculo automático del CAP en recintos SIGPAC basada en combinar datos de pendientes, índice de verdor según valores del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) obtenido de imágenes satelitales, y la altura de la vegetación estimada usando la tecnología LiDAR (acrónimo del inglés *Laser Imaging Detection and Ranking*). A día de publicar este artículo, esta metodología ya se ha aplicado a toda la superficie considerada declarable para recibir ayudas de la PAC (febrero de 2015), pero aún es pronto para juzgar sus resultados. Desde un punto de vista técnico, aunque el esfuerzo realizado se considera un buen comienzo, se detectan aún los siguientes inconvenientes:

- No se tiene en cuenta la naturaleza de la vegetación ni del ganado existente en pastoreo. SIGPAC sólo clasifica los

pastos como PS (pasto mayoritariamente herbáceo), PR (mayoritariamente arbustivo) o PA (pasto arbolado). La metodología de cálculo del CAP del FEGA no busca distinguir entre especies o grupos de especies/grupos funcionales dominantes de herbáceas/arbustos/árboles, que permitiría determinar su idoneidad al pastoreo por cada una de las especies ganaderas habituales. La determinación del tipo de ganado utilizando el recinto podría hacerse a través de la declaración de superficies del ganadero³, o cruzando la información con el Sistema de Trazabilidad Animal implementado para las principales especies usadas en ganadería extensiva.

- El uso de una mancha (recinto) de vegetación leñosa por herbívoros domésticos en pastoreo libre, caso habitual en los pastos comunales de montaña, es función del mosaico de tipos de pasto que los animales tienen en su área general de pastoreo. Además de estudiar las características de un recinto en particular, es necesario considerar los recintos contiguos, y situarse a la misma escala espacial de percepción que la de los rebaños en pastoreo (Laca, 2008).

La escala de paisaje, bien representada en las montañas de Cantabria por los terrenos comunales, es la más adecuada para la gestión pastoral y de la conservación de unos ecosistemas de alto valor en biodiversidad y provisión de servicios ecosistémicos (Rosa *et al.*, 2013). Es también una escala bien entendida por los ganaderos de extensivo y con sentido para lograr un buen funcionamiento del ecosistema pastoral. El efecto que tiene el todo (el paisaje) sobre las partes (las manchas bien definidas de vegetación o hábitats; o recintos) es tan importante, que enfocar la gestión únicamente a la escala de mancha no permite asegurar su mejora o conservación. La PAC considera la gestión agraria sostenible como su principal objetivo, pero está lejos de alcanzarlo si, de partida, no se eligen adecuadamente las escalas en las que trabajar.

INTEGRAR CONOCIMIENTOS PARA DISEÑAR HERRAMIENTAS DE GESTIÓN

La investigación en ecología y productividad de pastos de montaña y en el comportamiento y necesidades del ganado en pastoreo en España y en otros países con buena representación en estos ecosistemas pastorales, pone de relieve una serie de aspectos importantes para la gestión:

- A lo largo de la estación de pastoreo y desde el punto de vista del ganado, el pastoreo es sostenible si los animales pueden cubrir sus necesidades nutritivas con la oferta de los pastos que tienen a su disposición.

² Cualquier recurso vegetal que sirve de alimento al ganado, bien en pastoreo o bien como forraje.

³ El FEGA contempla incluir en la Solicitud Única la indicación del tipo de actividad agraria que realiza el ganadero en el recinto, definiéndose en el caso de pastos arbustivos y arbolados la especie de ganado en pastoreo o las labores para mantener cubierta herbácea. *Plan de Acción en relación con la admisibilidad de las superficies de pastos incluidas en SIGPAC*. FEGA, Octubre de 2014.



© Juan Busqué

Vaca tudanca en pasto de diente dominado por *Agrostis capillaris* y *Festuca rubra*, y con macollas dispersas de *Juncus effusus*. Valle del Nansa, con la Sierra de Peña Sagra (El Cornón, 2.046 m.) al fondo. Junio de 2013.

- De lo anterior se deduce que, para que el ganado en pastoreo consuma pastos de bajo valor nutritivo, tiene que tener también a su disposición pastos de mayor valor nutritivo que permitan, entre todos, cubrir sus necesidades.
- Cada especie de herbívoro doméstico tiene, en pastoreo, distintas necesidades nutricionales, apetencias y capacidad de acceder a las distintas fuentes forrajeras presentes (tipos de pasto o partes de un mismo tipo de pasto).
- Cada tipo de pasto, según su grado de adaptación al pastoreo y a la disponibilidad media de recursos (suelo, temperaturas, etc.), tiene un rango de utilidades forrajeras⁴ considerado sostenible: que permite su mantenimiento en el tiempo sin experimentar cambios importantes en su estructura y composición botánica.
- Utilidades forrajeras por debajo del rango de utilización sostenible indican infra-pastoreo. En el caso de la mayoría de pastos arbustivos, el infra-pastoreo da pie a una acumulación de material muerto, dada su lenta descomposición. Esto suele producir efectos negativos cuando sobrepasa ciertos umbrales: disminución de la biodiversidad, dificultad de tránsito y alto riesgo de incendios.
- Utilidades forrajeras por encima del rango de utilización sostenible señalan sobre-pastoreo, el cual puede ser recomendable para ciertos tipos de pasto y condiciones (p.ej. algún tipo de pasto arbustivo con cobertura alta), pero

negativo en muchas otras (pastos herbáceos de buena productividad o alta biodiversidad).

La gestión sostenible del pastoreo en pastos comunales de montaña busca, por tanto, mantener los animales en condiciones corporales aceptables (que no comprometan su salud ni su rendimiento) y la vegetación en unos niveles de utilización forrajera que maximicen sus valores productivos y ecológicos a unos costes asumibles. Relacionar los pagos de la PAC con el grado de consecución de estos objetivos debería ser un objetivo de referencia importante para los que trabajamos en la investigación y en la gestión de estos recursos pastorales.

Esta visión sistémica e integradora de la gestión de los pastos de montaña y el pastoreo es compleja, con lo que su traducción en herramientas que ayuden a llevarla a cabo tampoco es sencilla. Afortunadamente, además de la investigación existente sobre ecología y productividad de pastos y de las pautas del ganado en pastoreo, en los últimos años se han producido también importantes avances en capacidad computacional y en herramientas estadísticas que han sido utilizadas para modelizar a escalas muy detalladas el clima (Gutiérrez *et al.*, 2010), los suelos (Bock *et al.*, 2007) y la distribución de la vegetación (Bedia *et al.*, 2011). La integración de estos nuevos conocimientos en un modelo dinámico que

⁴ Utilización Forrajera: proporción del pasto producido en un año que es ingerido por los herbívoros en pastoreo.

simula en el espacio y tiempo el funcionamiento del sistema clima-suelo-vegetación-herbívoro-ganadero es el objetivo de la herramienta que se presenta en este trabajo.

EL MODELO DE SIMULACIÓN PUERTO

Este modelo de simulación dinámica (Hernández *et al.*, 2011) simula el funcionamiento de los aspectos más relevantes para la gestión de los sistemas pastorales. El Anexo a este artículo describe en detalle la estructura del modelo, la información de partida necesaria, los procesos que simula, los parámetros que contiene y la programación empleada. PUERTO puede abarcar desde situaciones sencillas (p.ej. un tipo de pasto aprovechado por un tipo de ganado), hasta ecosistemas pastorales complejos, tales como la mayoría de los comunales de montaña, con una distribución espacio-temporal heterogénea de orografía, pastos, clima, disponibilidad forrajera y rebaños ganaderos en pastoreo (Busqué *et al.*, 2006, 2007; Menéndez *et al.*, 2012; Requena, 2014).

El componente suelo-pasto del sistema está representado por teselas *i* compuestas cada una por un suelo con una profundidad y textura determinada, por una vegetación homogénea formada por uno o más tipos de pasto *f* y con unas condiciones de clima (temperaturas, precipitación y radiación solar) y fertilidad (nitrógeno orgánico y mineral) concretas. La existencia de más de un tipo de pasto en una tesela puede deberse a una disposición horizontal en mosaico (p.ej. matorral de *Erica vagans* y *Ulex gallii* en mosaico con pasto herbáceo de *Agrostis curtisii*), o por una disposición vertical de dos estratos leñoso-herbáceo cuando el estrato superior son árboles o arbustos altos (p.ej. escobas de *Genista florida* con pasto herbáceo dominado por *Deschampsia flexuosa* en su sotobosque). **El componente herbívoro** del sistema está representado por rebaños *h* compuestos por un número de animales de la misma especie, pero pudiendo pertenecer a su vez a grupos diferentes *c* según su raza, sexo o estado fisiológico.

El modelo contempla los procesos de crecimiento, senescencia, desfronde y descomposición de la vegetación (partes aérea y subterránea), mineralización del nitrógeno orgánico e ingestión y rendimientos productivos del ganado (Figura 1 del Anexo), simulando estos procesos a lo largo de un año completo en pasos de tiempo *t* cortos (p.ej. cada 10 días). El modelo no considera los procesos de cambios en la composición botánica de la vegetación, lo que limita sus simulaciones a un año completo. Para su funcionamiento, el modelo necesita información de partida sobre la disposición espacial de suelos y vegetación y la disposición espacio-temporal de variables climáticas y de los rebaños en pastoreo. Los siguientes apartados del artículo muestran tres ejemplos de aplicación del modelo simulando tres casos de complejidad creciente: 1) un sólo tipo de pasto y tres situaciones de

pastoreo; 2) una batería de escenarios de pastoreo típicos de comunales de la media montaña cántabra, donde se varía la participación de distintas especies ganaderas, la carga ganadera total y la proporción de la superficie total ocupada por pasto de mejor calidad; y 3) los pastos comunales de un municipio de la montaña media de Cantabria. Es importante remarcar que la simulación de estos casos no ha sido sometida aún a validaciones robustas con datos experimentales reales, aunque sí se ha comprobado que responde adecuadamente a la dinámica esperada desde un conocimiento general del funcionamiento de este tipo de sistemas.

CASO 1. SIMULACIÓN DE UN ÚNICO TIPO DE PASTO Y DISTINTAS PRESIONES DE PASTOREO

Este caso sencillo sirve para entender el tipo de información generada por el modelo PUERTO, es decir la dinámica en los valores de los componentes y procesos principales del sistema suelo-planta-animal, tal como están especificados en la figura 1 del anexo. El modelo simula un pasto permanente de diente productivo de la Europa atlántica, comúnmente denominado *Festuca-Agrostis* (eunis.eea.europa.eu/habitats/1008) en referencia a dos de sus gramíneas más frecuentes: *Festuca gr. rubra* y *Agrostis capillaris*. Como datos climatológicos se utilizan los diarios de 2013 correspondientes a la estación meteorológica de Santander-Parayas. Se considera un suelo de textura franca y espesor de 50 cm, y se simula la aplicación de estiércol a mediados de marzo, equivalente a una aplicación de 30 kg-ha⁻¹ de N orgánico fácilmente mineralizable. Se prueban tres escenarios de pastoreo: (i) sin pastoreo, (ii) pastoreo de una vaca pardo-alpina seca por hectárea y (iii) pastoreo de 2 vacas pardo-alpinas secas por hectárea. Los pastoreos son continuos desde mediados de abril hasta finales de noviembre. Las simulaciones se realizan para 10 años seguidos con las mismas condiciones de clima, pastoreo y manejo, lo que permite alcanzar unos valores de los componentes del pasto y del suelo razonables al inicio del año 10, que es el año de referencia utilizado. Las figuras 1 a 4 y la tabla 1 muestran la dinámica anual y mensual simulada de los procesos y componentes de la parte aérea del pasto de *Festuca-Agrostis* para los tres escenarios de pastoreo.

La estructura del pasto a lo largo del año es marcadamente diferente en cada escenario (Figura 1), con una relación inversa entre los componentes de biomasa viva, muerta en pie y muerta despegada y la presión de pastoreo. Esta relación es más fuerte en el pasto muerto en pie, llegando a ser el componente de biomasa aérea más abundante en el escenario sin pastoreo.

Lógicamente, la ingestión de pasto por los herbívoros (Figura 2, Tabla 1) es la variable que mejor explica el patrón de los componentes de la biomasa aérea según la presión de pastoreo.

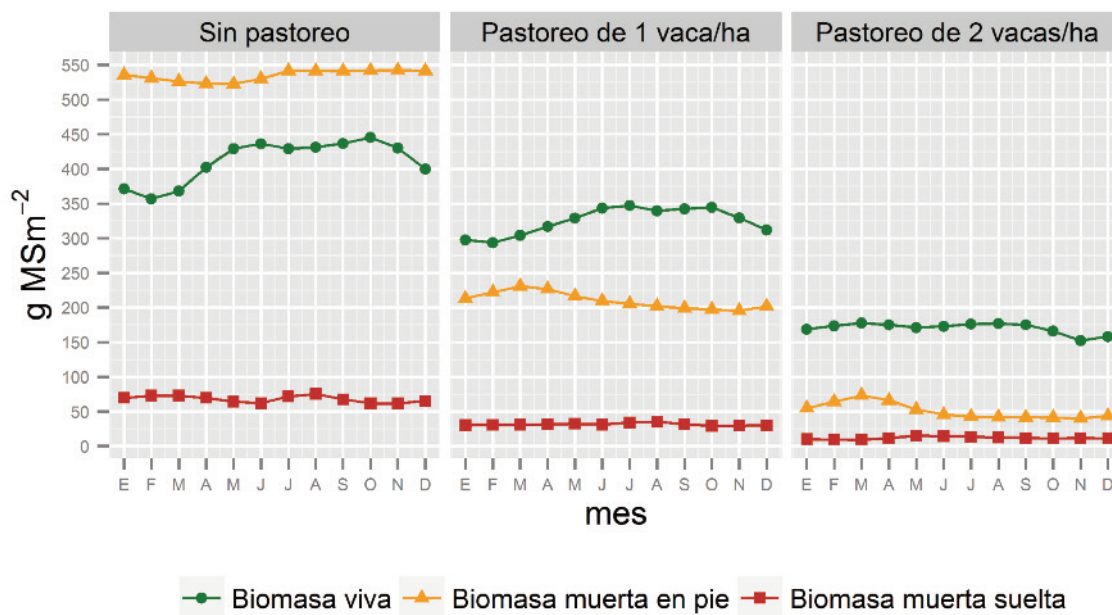


FIGURA 1. Medias mensuales de las simulaciones del modelo PUERTO para los componentes aéreos de la biomasa vegetal de un pasto herbáceo del tipo *Festuca-Agrostis* bajo tres escenarios diferentes de pastoreo.

FIGURE 1. Simulated monthly average values for the aerial biomass components of a *Festuca-Agrostis* grassland under three different grazing scenarios according to the PUERTO model.

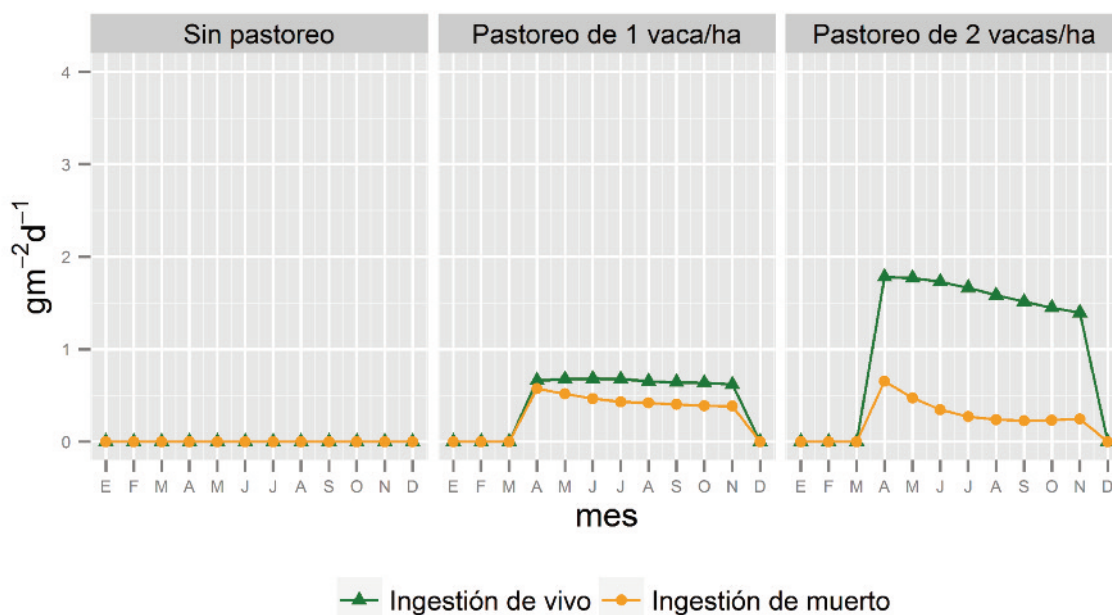


FIGURA 2. Medias mensuales de las simulaciones del modelo PUERTO para la ingestión del material vegetal de un pasto herbáceo del tipo *Festuca-Agrostis* bajo tres escenarios diferentes de pastoreo.

FIGURE 2. Simulated monthly average values of intake of live and dead aerial biomass of a *Festuca-Agrostis* grassland under three different grazing scenarios according to the PUERTO model.

Por su parte, la propia estructura del pasto afecta también la ingestión, al incidir en la capacidad de los animales de seleccionar el pasto vivo frente al muerto. Así se observa que, por unidad animal (vaca), la ingestión de biomasa viva-muerta es mayor-menor para 2 vacas·ha⁻¹ (8,1-1,7 kgMS· vaca⁻¹·d⁻¹) que para 1 vaca·ha⁻¹ (6,6-4,5 kgMS·vaca⁻¹·d⁻¹).

patrón relacionado tanto con las condiciones ambientales (Figura 4), como con la propia estructura del pasto (Figura 1). Al igual que con los componentes de la biomasa (Figura 1), la magnitud de los procesos de la vegetación disminuye al aumentar la presión de pastoreo. Esto es más evidente en el caso de la senescencia y el desfronde, ya que su magnitud es función fundamentalmente de la cantidad presente de biomasa viva y muerta en pie respectivamente. Estos procesos también pueden variar por la ocurrencia de condiciones

Por su parte, los procesos característicos de la vegetación (crecimiento, senescencia y desfronde; Figura 3), siguen un

ambientales extremas: estrés hídrico y bajas temperaturas, algo que no ocurre con el clima simulado; o por cambios en la presión de pastoreo, la cual es estable en cada escenario simulado. Por su parte, el crecimiento del pasto varía poco entre escenarios (Figura 3, Tabla 1), siendo de ello responsable la aparente compensación que se produce entre dos de las

condiciones ambientales: el nitrógeno disponible (más alto con menos pastoreo) y la humedad del suelo (más alta con más pastoreo) (Figura 4).

Las sumas anuales de los valores de crecimiento de pasto y de ingestión de pasto verde, sirven para calcular los valores

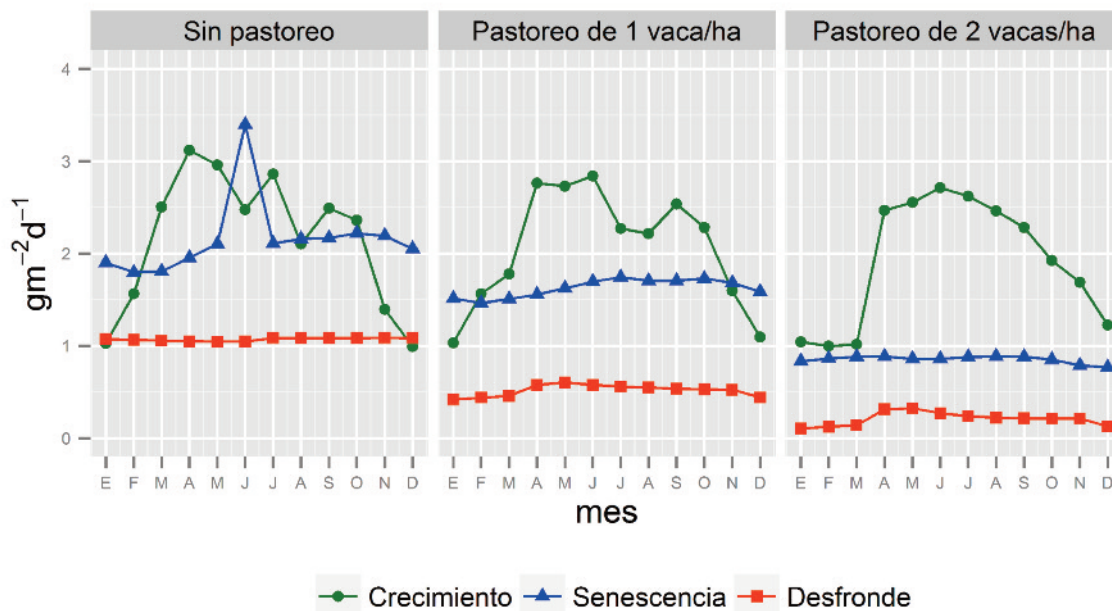


FIGURA 3. Medias mensuales de las simulaciones del modelo PUERTO para los procesos de crecimiento, senescencia y desfronde de la parte aérea de un pasto herbáceo del tipo *Festuca-Agrostis* bajo tres escenarios diferentes de pastoreo.

FIGURE 3. Simulated monthly average values of growth, senescence and litter deposition of the aerial biomass of a *Festuca-Agrostis* grassland under three different grazing scenarios according to the PUERTO model.

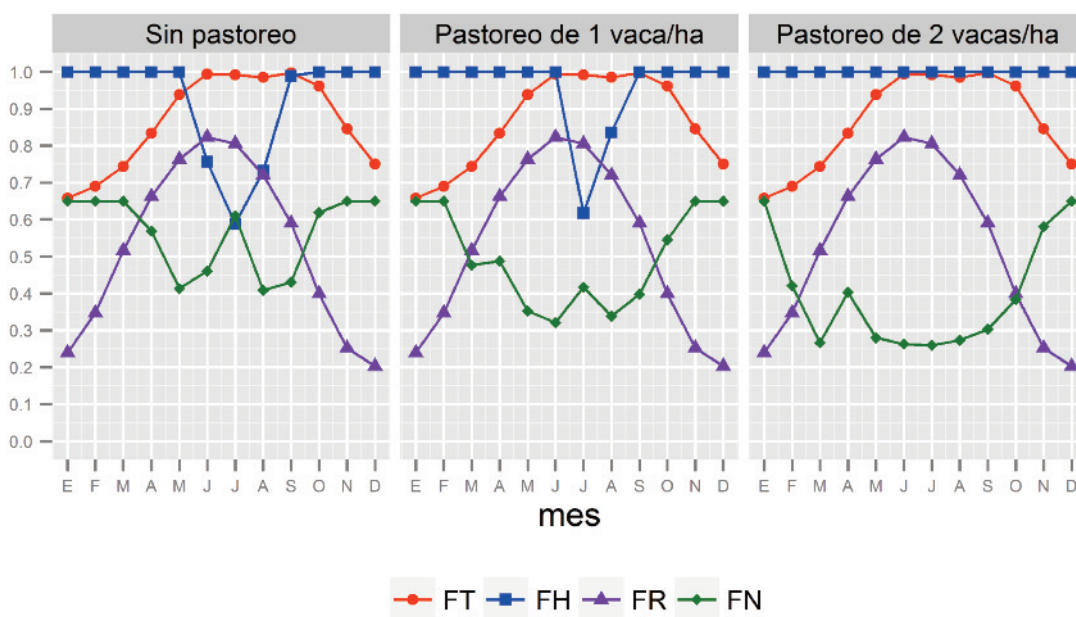


FIGURA 4. Medias mensuales de las simulaciones del modelo PUERTO para los factores de corrección del crecimiento vegetal por temperatura FT, humedad en el suelo FH, radiación FR y nitrógeno FN correspondientes a un pasto herbáceo del tipo *Festuca-Agrostis* bajo tres escenarios de pastoreo diferentes.

FIGURE 4. Simulated monthly average values of vegetation growth correction factors due to temperature FT, soil humidity FH, radiation FR and nitrogen FN of a *Festuca-Agrostis* grassland under three different grazing scenarios according to the PUERTO model.

Escenario	Crecimiento (g·m ⁻² ·año ⁻¹)	Senescencia (g·m ⁻² ·año ⁻¹)	Desfronde (g·m ⁻² ·año ⁻¹)	Ingestión vivo (g·m ⁻² ·año ⁻¹)	Utilización Forrajera
Sin pastoreo	775	775	385	0	0
Pastoreo de 1 vaca·ha ⁻¹	741	585	186	157	0,21
Pastoreo de 2 vacas·ha ⁻¹	690	307	747	386	0,56

TABLA 1. Valores anuales predichos por el modelo PUERTO de variables indicadoras de la dinámica de la biomasa aérea de un pasto herbáceo del tipo *Festuca-Agrostis* bajo tres escenarios diferentes de pastoreo. La utilización forrajera se calcula como la relación entre ingestión y crecimiento.

TABLE 1. Predicted annual values by the PUERTO model of variables explaining the dynamics of the aerial biomass of a *Festuca-Agrostis* grassland under three different grazing scenarios. Forage utilisation is calculated as the ratio between intake and growth.

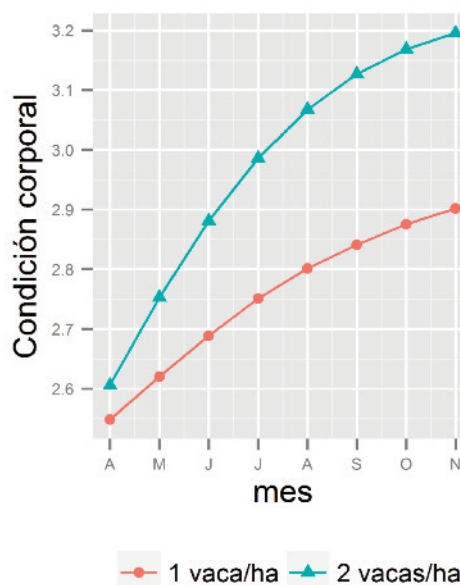
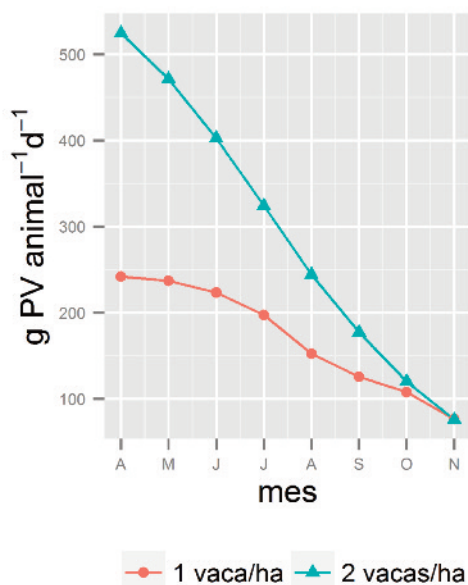


FIGURA 5. Medias mensuales de las simulaciones del modelo PUERTO para la variación diaria de peso (izquierda) y la condición corporal (derecha) de los dos escenarios de vacas en pastoreo sobre pasto de *Festuca-Agrostis*.

FIGURE 5. Simulated monthly average values of change in animal daily live weight (left) and body condition score (right) of the two scenarios of cattle grazing on a *Festuca-Agrostis* grassland according to the PUERTO model.

de utilización forrajera (UF; Tabla 1). La UF para 1 vaca·ha⁻¹ (0,21) se sitúa probablemente por debajo de lo considerado sostenible para pastos de *Festuca-Agrostis*, lo que indicaría una posible degradación del pasto a medio plazo hacia otro tipo de comunidades vegetales de menor valor forrajero.

este caso (p.ej. Wright *et al.*, 1989; Baumont *et al.*, 2006). La simulación de este tipo de sistemas de pastoreo sencillos también resulta adecuada para recrear escenarios donde varíen factores como clima, suelo y presión de pastoreo, con el objetivo de estudiar las posibles interacciones existentes, de gran interés para una gestión adaptativa del pastoreo.

El balance entre la energía neta ingerida y la energía necesaria para cubrir las necesidades del ganado en pastoreo, da como resultado las variaciones en sus pesos y los cambios en sus condiciones corporales (Figura 5). En los dos escenarios de pastoreo contemplados, el balance es siempre positivo y con mejores valores para el caso de 2 vacas·ha⁻¹ (aumento de la condición corporal de las vacas en 7 décimas) que para 1 vaca·ha⁻¹ (aumento de la condición corporal en 4 décimas). La mayor ingestión de forraje vivo por vaca para 2 vacas·ha⁻¹ (Tabla 1), resultado a su vez de la mayor capacidad para seleccionar forraje vivo frente a muerto (Figura 2) dada la estructura del pasto (Figura 1), explica estos resultados.

CASO 2. SIMULACIÓN DE ESCENARIOS DE PASTOREO EN UNA MEZCLA DE VEGETACIÓN TÍPICA DE LA MEDIA MONTAÑA DE CANTABRIA

El uso de este tipo de escenarios sencillos es muy conveniente para validar los aspectos más generales del modelo, ya que es corriente encontrar mucha información de experimentos en la literatura científica semejantes a los ejemplos de

Este caso es un ejemplo que permite ver la utilidad de una herramienta como el modelo PUERTO para estudiar opciones de pastoreo y gestión típicos de los pastos comunales de montaña. El ejemplo considera de partida una mancha de vegetación donde se mezclan en grano fino tipos de vegetación arbustiva-herbácea común en suelos ácidos y podsolizados de la media montaña de Cantabria: 40% de la superficie dominado por *Pseudarrhenatherum longifolium*, gramínea de porte medio y bajo valor forrajero, 40% de matorral de *Ulex gallii* y 20% de matorral de brezos de bajo

porte (p.ej. *Erica cinerea*, *E. vagans*, *E. mackaiana*). Este tipo de vegetación mayoritariamente leñosa suele clasificarse en SIGPAC como pasto arbustivo (PR), y en el caso de la cuantificación del CAP por el método del FEGA, obtendría posiblemente un valor bajo (menor del 50%).

Entre los escenarios a probar se considera la existencia de una cantidad variable de pasto de *Festuca-Agrostis* (0, 10, 20 ó 30% de la superficie total, dispuesto en una mancha continua). Este tipo de pasto, de mayor productividad que los anteriores, es relativamente frecuente en las zonas de menor pendiente, con suelos más fértiles y mayor accesibilidad y uso por el ganado. Las proporciones ensayadas cubren el rango que es habitual encontrarse en la media montaña, o sería viable alcanzar desde un punto de vista económico.

Otra variable utilizada para generar escenarios es la especie ganadera en pastoreo, probándose porcentajes diferentes de vacuno y equino en pastoreo único o mixto (0, 25, 50, 75 y 100% de una de las dos especies frente a la otra). De cara a este ejemplo se ha optado por elegir estas especies por ser las actualmente predominantes, aunque simular escenarios con ganado menor sería también de gran interés para cuantificar sus numerosas ventajas en este tipo de ecosistema pastoral (García Prieto et al., 2009). La última variable a utilizar en la generación de escenarios es la carga ganadera instantánea, probándose cuatro niveles: 0,50, 0,75, 1,00 y 1,25 UGM·ha⁻¹.

Se han tomado condiciones de suelo y clima normales para este tipo de vegetación, y como ganado hembras adultas secas de razas rústicas, con una condición corporal media (2,5) al inicio del pastoreo y con una duración del pastoreo de 8 meses (abril a noviembre).

En total se comparan 80 escenarios diferentes (5 combinaciones de especies ganaderas × 4 cargas ganaderas × 4 proporciones de pasto mejorado). La viabilidad de los escenarios se mide con dos criterios relativamente sencillos: (1) que la utilización forrajera de los cuatro tipos de vegetación presentes se encuentre en unos rangos de interés (Figura 6), y (2) que se produzcan variaciones de peso o condición corporal del ganado dentro de unos rangos razonables (Figura 7).

En cuanto al primer criterio, se distingue entre los tipos de vegetación que se quiere conservar, pastos de *Festuca-Agrostis* y brezal, y los que se quiere mejorar: matorral de *Ulex gallii* y pasto de *Pseudarrhenatherum longifolium*. La conservación del pasto de *Festuca-Agrostis* tiene un objetivo productivo, mientras que la de los brezales, además de por su interés natural (hábitat recogido en el anexo I de la Directiva 92/43), también se justifica por sus efectos saludables sobre el ganado que los ramonea (Moreno et al., 2012). Por la distinta fertilidad de sus suelos y adaptación a la defoliación, estos dos tipos de vegetación tienen unos rangos de utilización forrajera sos-

tenible (RUFs) marcadamente diferentes (Armstrong y MacDonald, 1992; Rickert, 1996). Por su parte, para los pastos de *Pseudarrhenatherum longifolium* y los matorrales de *Ulex gallii* el objetivo es reducir su presencia, o al menos frenar su expansión, algo que se puede conseguir a medio-largo plazo con animales en pastoreo capaces de defoliar o ramonear estas plantas por encima o a niveles similares a su capacidad de regeneración. Los terrenos dominados por *Ulex gallii* son los que tienen mayor incidencia de quemadas provocadas en la media montaña ácida de Cantabria, con lo que resulta primordial reducir su cobertura allí donde se presenta como especie vegetal fuertemente dominante.

La simulación con el modelo PUERTO de los valores de utilización forrajera (Figura 6) muestra que ninguno de los 80 escenarios produce una utilización forrajera del *Ulex* por encima de su rango sostenible, mientras que 15 escenarios al menos consiguen una UF dentro de dicho rango, algo que mantendría su proporción relativamente estable. De esos 15 escenarios, 12 corresponden a situaciones donde las yeguas predominan, siempre bajo las dos cargas ganaderas más altas. Los tres únicos escenarios con UF sostenible de *Ulex* y una proporción idéntica de vacas y yeguas se consideran inviables por producir un elevado sobre-pastoreo del brezal. Por la misma razón se rechazan también dos de los 12 escenarios con UF sostenible de *Ulex* y pastoreo mayoritario de yeguas (escenarios $CG_{1,25}\text{-Yeguas}_{75\%}\text{-F-A}_{20\%}$ y $CG_{1,25}\text{-Yeguas}_{75\%}\text{-F-A}_{30\%}$). Los 10 escenarios considerados viables con respecto a los objetivos de conservación de *Ulex* y brezo cumplen también sobradamente con el objetivo de sobre-utilizar el pasto de *Pseudarrhenatherum*, pero solo dos cumplen con el objetivo de no sobre-pastar el pasto de *Festuca-Agrostis*: $CG_{1,00}\text{-Yeguas}_{75\%}\text{-F-A}_{30\%}$ y $CG_{1,00}\text{-Yeguas}_{100\%}\text{-F-A}_{30\%}$.

El segundo criterio referente al mantenimiento del ganado en unas condiciones corporales adecuadas, se define considerando viables las situaciones en las que las ganancias o pérdidas de condición corporal (CC) no sobrepasen la condición corporal de referencia (2,5) ± 20%. Es decir, que los animales se encuentren en un rango de entre 2 y 3 puntos de condición corporal. Superar la barrera de CC=3 no será razonable para este tipo de ecosistema y ganado porque estaría probablemente asociado a una baja utilización de los peores recursos, y por tanto a procesos de matorralización y embastecimiento. Por su parte, bajar de CC=2 tendría repercusiones graves en la productividad del ganado.

La Figura 7 muestra la evolución de la CC para los 80 escenarios simulados. De los 22 escenarios viables en cuanto a CC, 17 corresponden a las dos cargas ganaderas más bajas. Sólo en un escenario (100% yeguas y 30% F-A) es posible mantener la CC de los animales en el rango establecido a la carga ganadera más alta (1,25 UGM ha⁻¹). El pastoreo de especies únicas es más viable (16 escenarios: 12 de yeguas y 4 de vacas) que los mixtos (6 escenarios). Del pastoreo mixto,

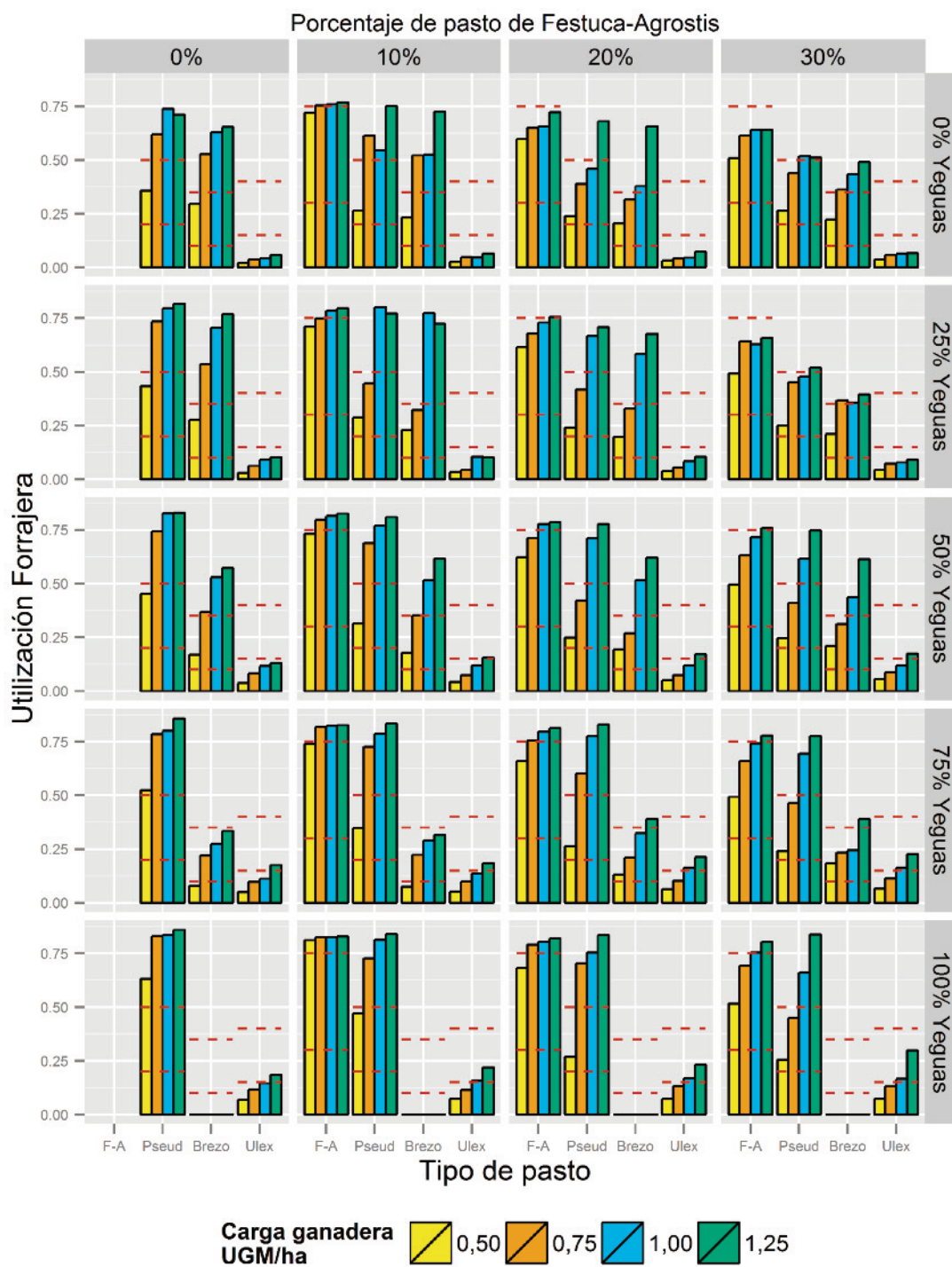


FIGURA 6. Valores simulados de Utilización Forrajera para cada tipo de pasto (eje horizontal de cada figura) en los 80 escenarios recreados con el modelo PUERTO según tipo de ganado en pastoreo (filas; lo que no es yeguas es vacas), porcentaje de pasto mejorado (columnas) y carga ganadera (colores). El espacio delimitado entre las rayas discontinuas para cada tipo de pasto señala su rango de utilización forrajera sostenible.

FIGURE 6. Forage utilisation values for each type of pasture (horizontal axis of each figure) in the 80 scenarios simulated with PUERTO according to the grazing livestock species (rows, the percentage of improved grassland area (columns) and the stocking rate (colours). The area between dashed lines for each type of pasture is the range of sustainable forage utilisation.

la mayoría de escenarios viables (5) corresponden a aquellos con un porcentaje de equino igual o menor al 50%. La ausencia de pasto de *Festuca-Agrostis* sólo consigue ser viable en 3 ocasiones, todas correspondiendo a la CG más baja, y dos de ellas a pastoreo de yeguas exclusivamente.

Si se toman en cuenta de forma conjunta los objetivos de utilización forrajera y de mantenimiento de la condición corporal de los animales, el resultado es que de los escenarios probados sólo resultaría viable el correspondiente al pastoreo único de yeguas, con una carga ganadera de 1 UGM·ha⁻¹ y con un

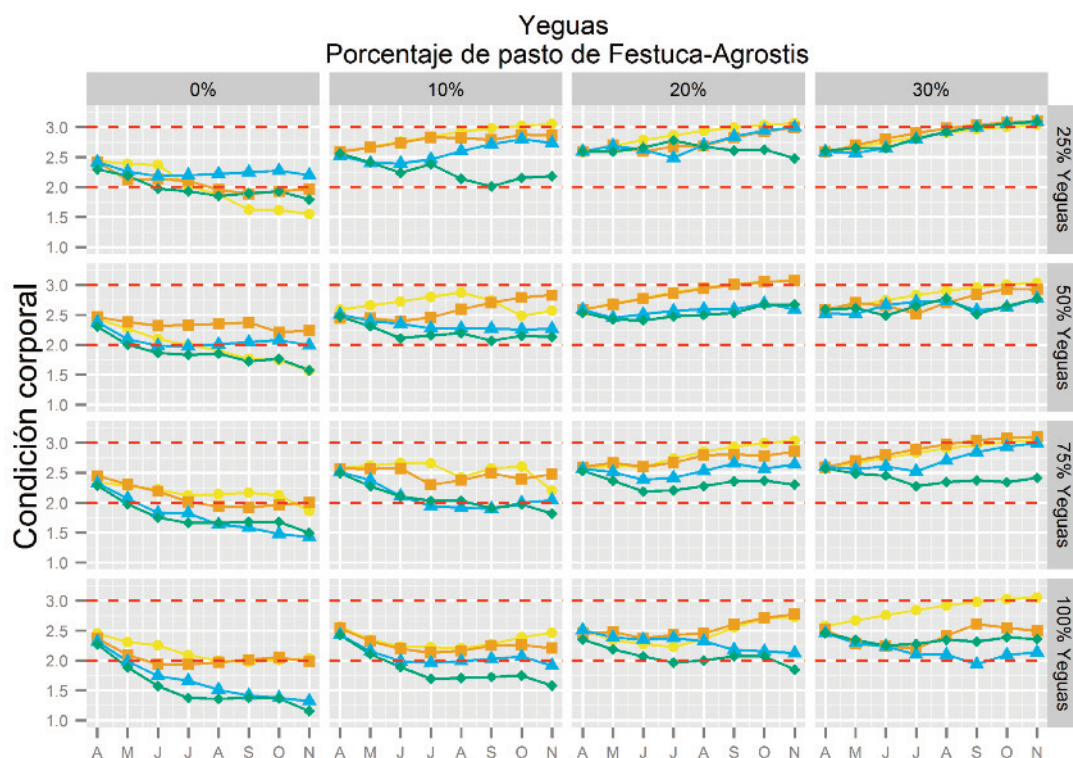
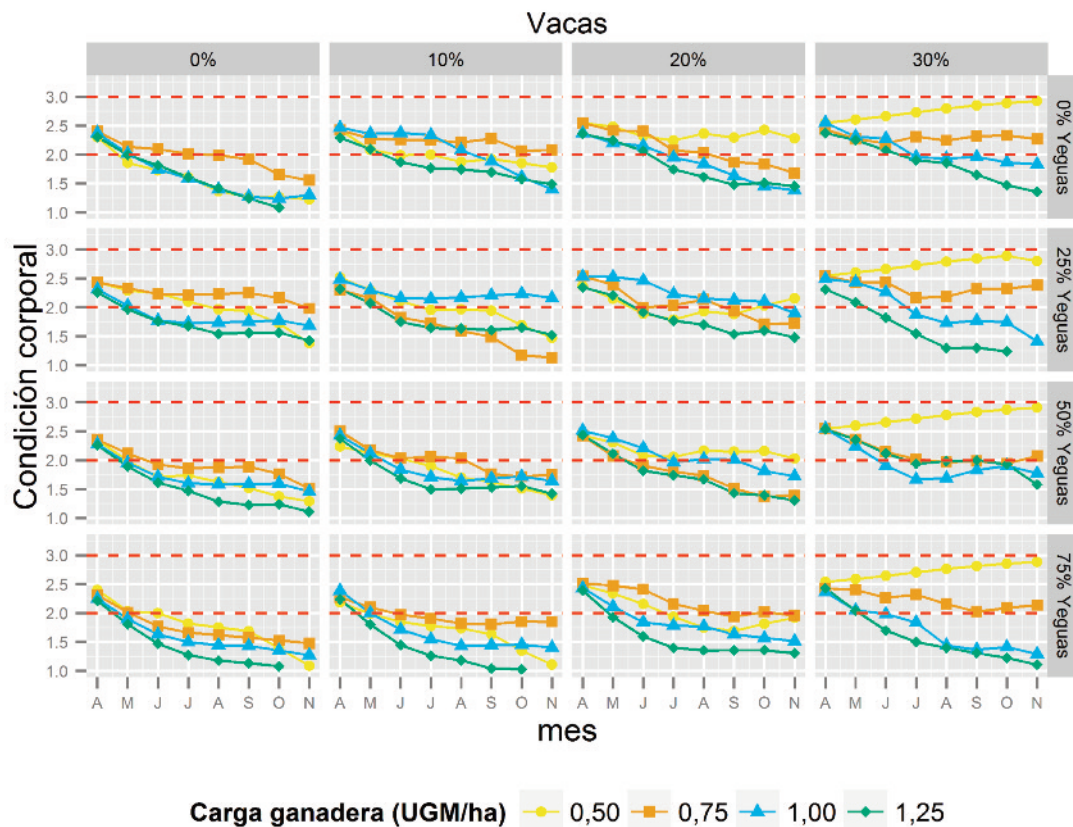


FIGURA 7. Variación mensual simulada de la condición corporal del ganado equino (arriba) y vacuno (abajo) en los 80 escenarios recreados con el modelo PUERTO: tipo de ganado en pastoreo (filas), porcentaje de pasto mejorado (columnas) y carga ganadera (colores). El espacio delimitado entre las dos rayas discontinuas rojas señala el rango de condiciones corporales consideradas viables (2-3).

FIGURE 7. Monthly values of body condition of mares (above) and cattle (below) for the 80 scenarios simulated with PUERTO according to the grazing livestock species (rows), the percentage of improved grassland area (columns) and the stocking rate (colours). The area between dashed lines is the range of viable body condition scores (2-3).

30% de la superficie de pasto de *Festuca-Agrostis*. Si, además de estos objetivos, se añadieran otros de rentabilidad económica sin ayudas externas, este escenario también sería probablemente considerado inviable. Estos resultados ponen en evidencia la dificultad de alcanzar sistemas de pastoreo sostenibles únicamente con ganado mayor en la media montaña ácida de la Cordillera Cantábrica, algo ya puesto de manifiesto en estudios experimentales (García Prieto *et al.*, 2009; Celaya *et al.*, 2011). Con estos resultados, resulta paradójico que la notable carencia actual de pastoreo de ovino y caprino en estos ecosistemas es en buena parte resultado del escaso apoyo que estos sistemas han recibido en comparación con el predominante de vacas nodrizas en los programas de la PAC de las últimas décadas (Osoro *et al.*, 1999).

CASO 3. SIMULACIÓN DEL SISTEMA PASTORAL A ESCALA DE PAISAJE

Los pastos comunales, como parte que son de los montes, están obligados a contar con instrumentos de gestión, tal como queda recogido en la Ley de Montes de 2003. Para la redacción de los primeros instrumentos de gestión de montes en Cantabria (proyectos de ordenación en Montes de Utilidad Pública), y en lo que se refiere a los recursos pastorales, se está actualmente empleando el modelo PUERTO como herramienta de apoyo. La información que se necesita para aplicar PUERTO a nivel de monte cubre varios de los requerimientos mínimos definidos en estos proyectos de ordenación⁵ (p.ej. indicación de las características del clima, suelo, definición de unidades inventariables, infraestructuras, vegetación y características del ganado en pastoreo: titularidad, tipo, cantidad, distribución y manejo). Por su parte, la aplicación del modelo PUERTO en las condiciones actuales de los montes permite evaluar objetivamente el uso de sus recursos pastorales, cuantificando su magnitud e influencia sobre la dinámica de los ecosistemas presentes, aspectos también contemplados en los proyectos de ordenación⁶. Además de esta visión territorial del uso de los pastos, el modelo PUERTO también permite estimar los rendimientos ganaderos generados a escala de unidad inventariable⁷, lo que aporta información difícil de obtener de otra manera para completar el balance económico del monte. La cuantificación por unidad inventariable del uso pastoral y su valor respecto a objetivos de conservación y de producción, permite posteriormente priorizar las necesidades de mejora entre las distintas unidades inventariables del monte, objetivo último de los proyectos de ordenación.

En este apartado se muestra la aplicación del modelo PUERTO en el amplio territorio pastoral de Tudanca, municipio de 5.226 hectáreas, representativo de la media montaña

cantábrica (Vázquez *et al.*, 2011a). La mayor parte de la superficie de Tudanca (83%) es terreno comunal, correspondiendo mayoritariamente a cuatro Montes de Utilidad Pública propiedad de los cuatro pueblos que conforman el municipio (Figura 8). Los pastos comunales son principalmente arbustivos (78% de su superficie es pasto arbustivo –PR– según SIGPAC). La ganadería extensiva es la principal actividad económica, con 24 explotaciones familiares y 787 cabezas de vacuno y 349 de equino (Vázquez *et al.*, 2011b).



FIGURA 8. Ortofoto del municipio de Tudanca (Cantabria). Las líneas amarillas delimitan el terreno abierto al pastoreo (comunal) correspondiente a los cuatro pueblos (con sus nombres). Difuminado en blanco se señalan los terrenos manejados de forma privada, aunque en su mayoría sólo durante una parte del año. Las líneas rojas señalan las unidades inventariables (con sus números) utilizadas para la simulación con el modelo PUERTO.

FIGURE 8. Orthophoto of the municipality of Tudanca (Cantabria). Yellow lines delimit the pastoral commons of the four existing villages (with their names). Blurred in white is the land managed privately, although most of it during just certain periods of the year. Red lines mark the pastoral units (with their numbers) used for the simulation with PUERTO.

⁵ En Cantabria esta legislación es muy reciente: Orden GAN/63/2014, de 9 de diciembre, por la que se aprueban las instrucciones generales de ordenación de montes de Cantabria.

⁶ Esta información también resulta valiosa para los planes de gestión de espacios protegidos, obligatorios para la Red Natura 2000 (Ley 42/2007 del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad). En Cantabria, una proporción alta de los pastos comunales se encuentran dentro de la Red Natura 2000.

⁷ *Sensu* proyecto de ordenación en Cantabria (Orden GAN/63/2014): unidades menores de división del monte, que se pueden diferenciar por su vegetación y por límites naturales o artificiales fácilmente identificables.

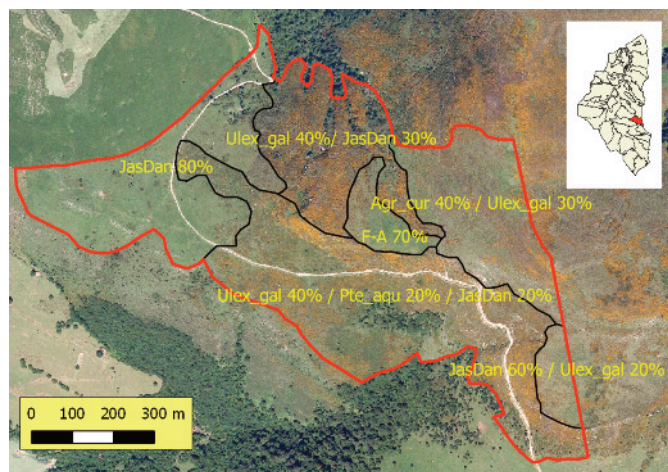


FIGURA 9. Unidad Inventarial n°16 del municipio de Tudanca (ver Figura 8) utilizada como ejemplo para mostrar los resultados del modelo PUERTO a escala de unidad inventarial. Esta unidad tiene una superficie total de 64 hectáreas. Los polígonos delimitados por líneas negras son las teselas de vegetación. El texto en amarillo define su composición dominante. Ulex_gal: matorral de *Ulex gallii*; JasDan: pasto de diente herbáceo asimilable a la asociación fitosociológica *Jasiono laevis-Danthonietum decumbentis*; Agr_cur: pasto de diente herbáceo asimilable a la asociación *Carici piluliferae-Agrostietum curtisii*; F-A: pasto dominante en *Festuca rubra* y *Agrostis capillaris*; Pte_aqu: *Pteridium aquilinum*.

FIGURE 9. Pastoral unit n°16 of the municipality of Tudanca (see Figure 8) used as an example to show the results of the PUERTO model at the level of a pastoral unit. The total area of the unit is 64 hectares. The black lines delimit distinct vegetation patches, which are defined by the yellow text. Ulex_gal: *Ulex gallii* shrub; JasDan: grassland of the phytosociological association *Jasiono laevis-Danthonietum decumbentis*; Agr_cur: grassland of the phytosociological association *Carici piluliferae-Agrostietum curtisii*; F-A: *Festuca-Agrostis* grassland; Pte_aqu: bracken.

La escala más apropiada para representar las características del sistema pastoral y los resultados de las simulaciones del modelo PUERTO es la unidad inventarial (UI; Figura 8). Una vez que se corre el modelo para todo el territorio con la información de partida necesaria (datos de clima, suelo, vegetación y pastoreo de los distintos rebaños; Figura 1 del Anexo), los resultados del modelo por UI pueden consultarse en informes generados automáticamente, permitiendo así interpretar las características y el uso que éstas están experimentando. A continuación se representa la información generada para una UI cualquiera de Tudanca (Figuras 9 y 10 y Tablas 2 y 3).

La Tabla 2 resume características de partida y resultados de aplicar PUERTO sobre los tipos de vegetación presentes en la UI con interés para la gestión. Aspectos como la cobertura, superficie ocupada, pendiente o inclusión del tipo de vegetación en el Anexo I de la Directiva Habitats son importantes para definir qué tipo de actuaciones se podrían programar potencialmente en la UI dentro de un proyecto de ordenación del monte (p.ej. desbroces o enmiendas). La predicción con PUERTO de la utilización forrajera (columna UF de la Tabla 2) permite clasificar el uso pastoral de cada tipo de vegetación como sostenible o no (equilibrado vs. sobre- o infra-pastoreo; última columna de la Tabla 2), ayudando con ello a evaluar la necesidad de acometer las actuaciones potencialmente viables, o planificar mejor el pastoreo. En la UI n°16 existe el potencial de mejorar de forma mecanizada (p.ej. desbroces o fertilización) bastante superficie sin limitaciones por pendiente o por interés de conservación. Por otra parte se pastorea en exceso casi todos sus tipos de vegetación, lo que indica que sería recomendable mejorar la distribución del ganado entre esta UI y las UI vecinas.

Estrato	Nombre	Dir 9243	Tes	Cob (%)	Pend (%)	Sup (ha)	pend35 (%)	UF	RUFS	Grado pastoreo
Herbáceo	JasDan	sí	5	99	29	22,2	42	0,67	0,25-0,65	sobre-
	Agr_cur	no	4	97	35	7,6	36	0,67	0,20-0,60	sobre-
	F_A	no	1	100	22	1,7	44	0,84	0,30-0,75	sobre-
	Sen_jac	no	2	100	22	1,0	38	0,00	0,10-0,40	--
Mat. bajo	Ulex_gal	no	6	98	37	18,1	39	0,18	0,15-0,40	equil.
	Brezo_bajo	sí	6	98	34	6,7	42	0,60	0,10-0,35	sobre-
	Rubus	no	1	95	36	0,5	72	0,71	0,10-0,40	sobre-
Mat. Alto	Eup_pol	no	1	96	32	0,5	33	0,31	0,10-0,40	equil-
	Pte_aqu	no	1	100	41	4,9	25	0,66*	0,30-0,60*	sobre-*
Árboreo	Cra_mon	no	1	100	22	0,8	36	0,82*	0,30-0,60*	sobre-*

JasDan: pasto de diente herbáceo asimilable a la asociación *Jasiono laevis-Danthonietum decumbentis*; Agr_cur: pasto de diente herbáceo asimilable a la asociación *Carici piluliferae-Agrostietum curtisii*; F-A: pasto dominante en *Festuca rubra* y *Agrostis capillaris*; Sen_jac: *Senecio jacobea*; Ulex_gal: matorral de *Ulex gallii*; Brezo_bajo: brezos de baja talla. Rubus: *Rubus ulmifolius*; Eup_pol: *Euphorbia polygalifolia*; Pte_aqu: *Pteridium aquilinum*; Cra_mon: *Crataegus monogyna*. * UF correspondiente al estrato herbáceo presente debajo del dosel superior.

TABLA 2. Comunidades vegetales presentes en la Unidad Inventarial n°16. Dir9243: incluida en el Anexo I de la Directiva Habitats. Tes: número de teselas ocupadas. Cob: cobertura vegetal media de las teselas. Pend: pendiente media de las teselas. Sup: superficie ocupada. pend35: porcentaje de la superficie con pendiente menor de 35% (i.e. fácilmente mecanizable). UF: Utilización forrajera. RUFS: Rango de utilización forrajera sostenible. Grado pastoreo: sobre-pastoreo, equilibrado o infra-pastoreo. Las columnas en itálica son valores predichos por el modelo.

TABLE 2. Vegetation communities of the pastoral unit n°16. Dir9243: included in annex I of the Habitats Directive. Tes: number of vegetation patches. Cob: average vegetation cover of the patches. Pend: average slope of the vegetation patches. Sup: area occupied. pend35: percentage of the area with a slope of less than 35% (i.e. easy to work with tractors). UF: forage utilisation. RUFS: range of sustainable forage utilisation. Grado pastoreo: over-grazed, in equilibrium or under utilised. Columns in italics are predicted values according to PUERTO.



© Germán Maestro

Vacas limusinas pasciendo en un escajal-helechal (*Ulex gallii* y *Pteridium aquilinum*). Detrás, bosque de robles (*Quercus petraea*) y hayas (*Fagus sylvatica*). Hermandad de Campoo de Suso. Septiembre de 2014.

La Tabla 3 cuantifica la ingestión por cada rebaño presente en la UI nº16 del forraje (digestible) existente. Este valor estimado por el modelo PUERTO tiene en cuenta la capacidad de ingestión de cada tipo de ganado (según especie y estado fisiológico)

sobre cada tipo de pasto (según su botánica, estructura y accesibilidad), la selección entre las distintas fuentes de forraje en oferta en el área de pastoreo (esa UI y otras adyacentes que formen su área de pastoreo), y la competencia por el pasto entre

Animal	CEA	UGM	Días	Ing total (kg MSd)	Ing en UI (kg MSd)	UI/Total (%)	UI rebaño / UI todos (%)
Equino	39-015	10,0	360	16.526	11.437	69,2	21,6
	39-037	12,0	360	21.550	5.103	23,7	9,7
	39-113	17,0	150	26.812	3.876	14,5	7,3
	39-112	11,0	150	18.152	2.627	14,5	5,0
	39-114	6,0	150	8.655	1.248	14,4	2,4
	39-011	3,0	150	4.208	599	14,2	1,1
Vacuno	39-015	50,4	150	37.273	10787	28,9	20,4
	39-015	33,6	120	25.530	5.641	22,1	10,7
	39-013	31,1	120	37.609	5.464	14,5	10,3
	39-015	20,0	120	21.439	3.573	16,7	6,8
	39-013	15,0	120	12.804	2.458	19,2	4,7
Total		32.994 UGMxd	230.558	52.813	22,9	100	

TABLA 3. Rebaños utilizando la Unidad Inventarial (UI) nº16. CEA: Código de Explotación Agraria del propietario. UGM: unidades de ganado mayor medias en la UI durante el tiempo de pastoreo. Días: días de pastoreo en la UI. Ing total: Ingestión total del rebaño en pastoreo en todo el territorio (kg de materia seca digestibles). Ing en UI: Ingestión del rebaño correspondiente a la UI. UI/Total: porcentaje de la ingestión total del rebaño en la UI. UI rebaño/UI todos: porcentaje de la ingestión total en la UI que corresponde al rebaño. Las columnas en itálica son valores predichos por el modelo.

TABLE 3. Livestock herds using the pastoral unit (PU) nº16. CEA: farm official code. UGM: average livestock units in the PU during the grazing period. Días: number of grazing days in the PU. Ing total: Herd annual forage intake in all its grazing range (kg of digestible DM). Ing en UI: Herd annual forage intake in the PU. UI/Total: percentage of the herd total forage intake corresponding to the PU. UI rebaño/UI todos: percentage of total forage offtake in the PU which corresponds to the herd. Columns in italics are predicted values according to PUERTO.

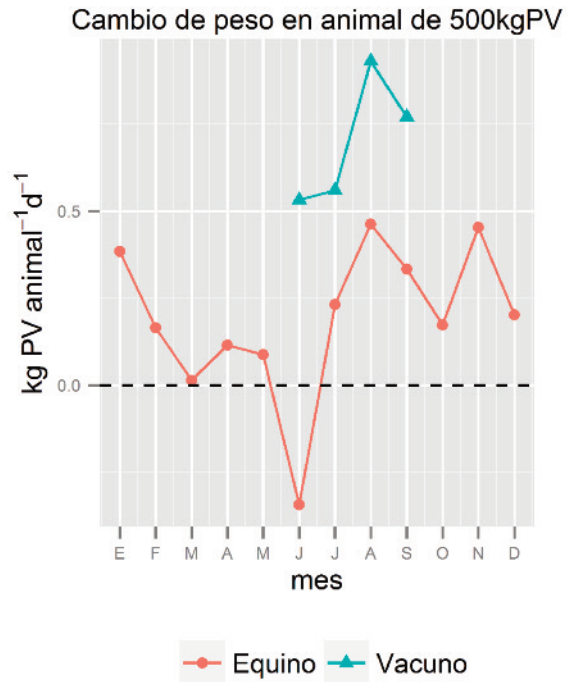
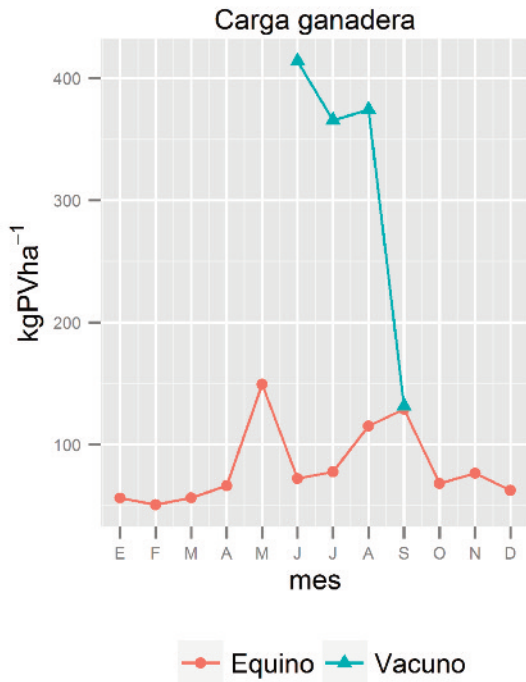
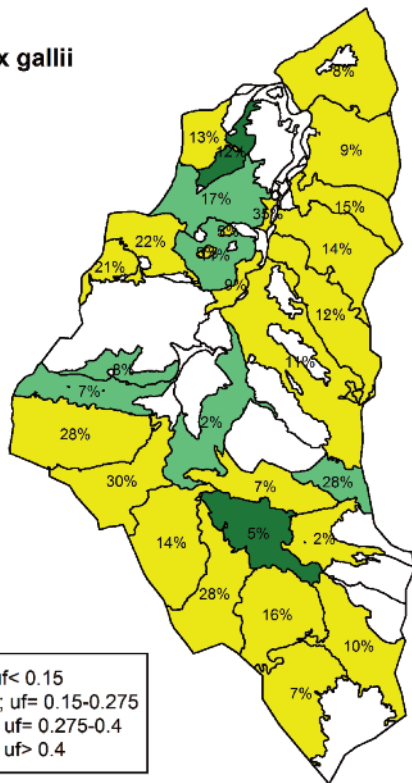


FIGURA 10. Valores mensuales medios predichos de carga ganadera y variación de peso diaria para un animal tipo en la Unidad Inventarial n°16, calculados ponderando por la ingestión de forraje digerible de los rebaños en la UI.

FIGURE 10. Average monthly predicted values of stocking rate (left) and live weight daily changes for a standard animal type (right) in the pastoral unit n°16. Values are calculated weighing according to the intake of digestible forage of the herds using the PU.

Matorral de Ulex gallii



Pasto de Festuca-Agrostis

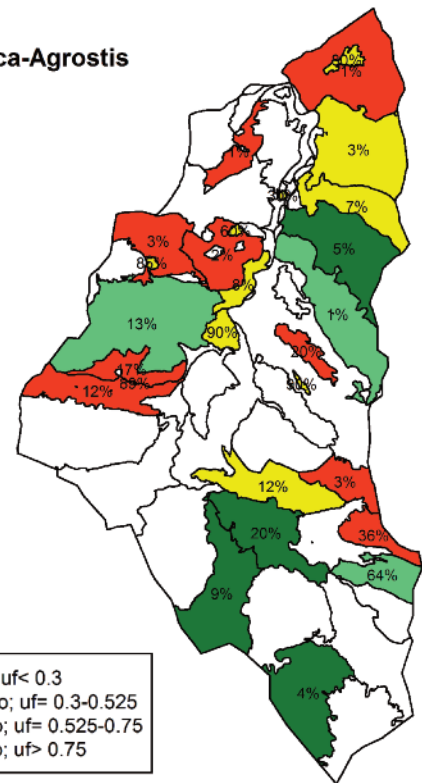
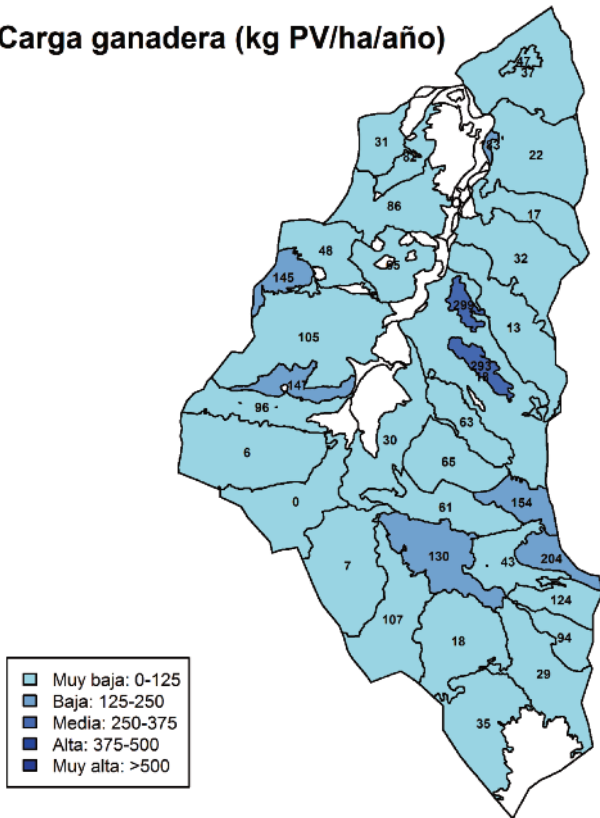


FIGURA 11. Valores predichos por el modelo de la Utilización Forrajera (uf) de dos tipos de vegetación con amplia representación en Tudanca, y su correspondencia con el grado de sostenibilidad del pastoreo. Los valores en las unidades inventariables indican el porcentaje de superficie de estas ocupada por el tipo de vegetación.

FIGURE 11. Predicted values of Forage Utilisation (uf) by the PUERTO model of two common vegetation types in Tudanca, and its correspondence to the degree of grazing sustainability (colours). Values in the pastoral units refer to the percentage of their area occupied by the vegetation type.

Carga ganadera (kg PV/ha/año)



Variación peso (kg PV/ha/año)

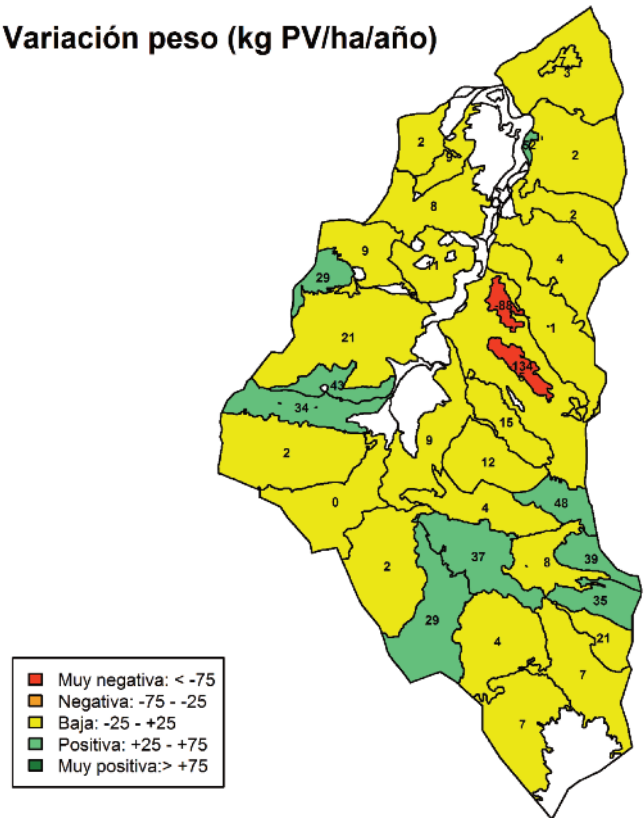


FIGURA 12. Carga ganadera (izquierda) y variación de peso por hectárea (derecha) anuales por unidad inventarial en el municipio de Tudanca.

FIGURE 12. Annual stocking rate (left) and livestock live weight changes per hectare (right) in each pastoral unit of the municipality of Tudanca.

los distintos rebaños compartiendo la UI. De cara a planificar la gestión del monte, y en el caso de esta UI la mejora en la distribución del ganado en pastoreo mencionada, la información aportada en la Tabla 3 permite valorar la viabilidad de realizar posibles cambios, al indicar el grado de dependencia de los rebaños presentes del forraje existente en la UI. Por ejemplo, se puede observar que el ganadero con código de explotación agraria –CEA- terminada en 015 es el más dependiente de esta UI, con un 35% del forraje digestible ingerido por sus rebaños (uno de equino y tres de vacuno) procedente de ella, lo que a su vez supone un 52% del total de forraje digestible consumido en la UI (última columna de la Tabla 3).

El uso directo de la carga ganadera, calculada a partir de las UGM y los días de pastoreo en la UI (ver columnas en Tabla 3) es útil como indicador de presión de pastoreo en sistemas ganaderos sencillos (p.ej. el del caso 1 con un solo tipo de pasto y un solo tipo de ganado). Sin embargo, en sistemas de pastoreo complejos, como el mostrado en este ejemplo de Tudanca, la carga ganadera (Figura 10) no es una variable útil para evaluar si el pastoreo es sostenible, al no considerar los factores ligados a los herbívoros, la orografía y la vegetación mencionados más arriba. La información generada por PUERTO sobre utilización forrajera y rendimientos ganaderos, expresada a escala de unidad inventarial, sí está relacionada de forma directa con la sostenibilidad del uso pastoral. De

cara a valorar la vegetación del comunal como pasto, y como alternativa o complemento a la definición de un coeficiente de admisibilidad de pastos (CAP), o un rango de cargas ganaderas, se debería verificar que, a escala de UI, se cumple que la utilización forrajera se sitúa dentro de los rangos considerados sostenibles, y que el ganado en pastoreo mantiene su condición corporal dentro de unos rangos también sostenibles, tal como quedó expresado en el ejemplo mostrado en el apartado anterior (caso 2).

En el caso de la UI nº16, se observa que el rendimiento ganadero es positivo (Figura 10; balance anual de +48 kg PV·ha⁻¹). Pero esto ocurre a costa de una sobre-utilización de los mejores recursos forrajeros, aunque también parece evitarse la acumulación de biomasa en el matorral (Tabla 2). Todo esto sucede bajo una carga ganadera anual de 154 kgPV·ha⁻¹·año⁻¹, equivalente a 0,31 UGM·ha⁻¹·año⁻¹, valor que podría parecer bajo para inducir a sobre-pastoreo.

Es importante consultar los resultados del modelo PUERTO en todo el territorio de estudio. Para ello, lo más conveniente es representar en mapas las variables de interés para todas las unidades inventariales del territorio (Figuras 11 y 12). La Figura 11 muestra la utilización forrajera de dos de las comunidades vegetales más representativas del paisaje pastoral de Tudanca: los matorrales de *Ulex gallii* y los pastos herbáceos de

Festuca-Agrostis. La utilización forrajera del matorral de *Ulex gallii* (Figura 11 izquierda) se sitúa en casi todas las UI en valores de infra-pastoreo, algo muy característico de la media montaña ácida de Cantabria, y que genera uno de los problemas ambientales más graves de la región, como son los incendios forestales (Carracedo *et al*, 2009). Por su parte, la utilización forrajera del pasto de *Festuca-Agrostis* (Figura 11 derecha) presenta una heterogeneidad alta, desde zonas infrautilizadas y claramente indicadoras de abandono del pastoreo, hasta zonas sobrepastadas ligadas generalmente a los mejores accesos, topografía o proximidad a puntos de agua permanentes.

En la Figura 12 se representan los valores anuales de carga ganadera y de variación de peso por hectárea. Casi todo el territorio pastoral de Tudanca tiene cargas ganaderas muy bajas (media de 57 kgPV·ha⁻¹·año⁻¹), con variaciones de peso en los animales en pastoreo muy ligeras (media de +10 kg·ha⁻¹·año⁻¹). En el rango de cargas ganaderas muy bajas y bajas (0-250 kgPV·ha⁻¹·año⁻¹) parece existir una relación positiva entre carga ganadera y variación de peso, mientras que en las dos UI donde la carga ganadera es superior (UI nº 7 y nº 8 según Figura 8), se producen pérdidas de peso notables. Posiblemente en estas UI exista una suplementación del ganado a principios de primavera con heno almacenado en cabañas localizadas en las propias UI, algo que no se contempló en la información de partida del modelo.

CONCLUSIONES

La gestión de los recursos pastorales de montaña es un objetivo que debería considerarse prioritario en Cantabria por su importancia superficial, socio-económica y ecológica. La administración regional está impulsando medidas para articular esta gestión, pero desde dos visiones diferentes: la territorial y la ganadera, acometiéndose también en departamentos diferentes. Estas dos visiones, el pasto comunal y las ganaderías familiares que lo aprovechan, forman el mismo sistema silvopastoral, y sería conveniente buscar fórmulas de gestión integrada.

La PAC supone la fuente principal de financiación para implementar este tipo de planes de gestión silvopastorales, cuyo objetivo final debería ser mejorar el estado productivo y de conservación de los recursos pastorales, y cuantificar los servicios ecosistémicos generados para su correcto pago a los ganaderos que los hacen posible. Actualmente nada de esto está ocurriendo, y los pastos comunales se relacionan con la PAC principalmente como moneda de cambio superficial para justificar los derechos de ganaderos particulares. Así, la visión ganadera de estos sistemas se lleva la mayor parte de la financiación de la PAC, y la visión enfocada en el territorio adolece de financiación suficiente para poder realizar su gestión con garantías.

Aparte de la mayor facilidad que desde el punto de vista político y de gestión de fondos tiene este enfoque de la PAC, un aspecto que puede también explicarlo es la falta de criterios y capacidad técnica actual de la administración pública para poner en marcha planes de gestión en estos sistemas ganaderos. Además del gran vacío existente en técnicos de la administración asesorando sobre el terreno (no inspeccionando), en esto también somos culpables los investigadores, que no hemos podido o sabido comunicar nuestro trabajo, o incluso trabajamos a una escala diferente de la que necesita la gestión.

El modelo PUERTO presentado en este trabajo, aún a falta de mejoras y trabajos experimentales de validación, es un ejemplo de lo que puede ser una herramienta de apoyo a la gestión, útil también para trabajar en conjunto investigadores, técnicos, gestores, propietarios y ganaderos. Afortunadamente, el modelo está ya siendo aplicado en la gestión de pastos comunales de Cantabria con resultados muy positivos, tanto por las posibilidades que ofrece para invertir adecuadamente los escasos recursos existentes, como por permitir compatibilizar los distintos objetivos que se presentan entre los agentes involucrados. El idioma común que aporta el modelo PUERTO para todos estos agentes facilita su interacción y negociación. Actualmente se está trabajando en la creación de una interfaz de usuario que facilite a los técnicos encargados de la gestión y planificación de los comunales la entrada de la información necesaria para correr el modelo, así como la generación automática de informes con los resultados. Es este un aspecto clave para ampliar el uso de este modelo a otros ámbitos geográficos y poder también, así, validar el modelo en más situaciones y continuar con su mejora.

Desde el punto de vista de la investigación, este tipo de modelos ayuda a organizar los conocimientos existentes de aspectos concretos del sistema, evaluando su importancia, y facilitando la identificación de carencias de conocimientos y, por tanto, focalizando las líneas futuras de investigación. De esta manera, se facilita también la formación y el mantenimiento de redes de investigación entre los investigadores en sistemas ganaderos de montaña, que en nuestro país, aparte de ser pocos, nos encontramos dispersos en distintas comunidades autónomas y organismos de investigación. Finalmente es también importante remarcar que modelos de simulación como PUERTO deben considerarse como una de las posibles herramientas de apoyo a la gestión. Lo ideal sería su empleo en conjunto con otras herramientas, como el monitoreo periódico del pasto y los animales apoyándose en el gran desarrollo tecnológico existente en comunicación, robótica y sensores automáticos (collares GPS en animales, sensores de temperaturas y humedad en el suelo, drones, etc), y el desarrollo de estructuras organizativas de participación social que permitan transmitir ágilmente la información para que todos los actores implicados se involucren en la toma de decisiones.

A pesar de que el programa PAC 2015-2020 ya está prácticamente definido y no acomete de forma decidida un plan para mejorar la ganadería de montaña (Domínguez, 2014; Beaufoy y Ruíz Mirazo, 2013), desde la investigación es conveniente que sigamos pensando en que parte de esta mejora depende de nuestro trabajo, diseñando y mejorando herramientas de apoyo a la gestión que la administración pueda utilizar para emplear de la mejor forma posible los fondos públicos de la PAC. Si conseguimos en los próximos años aplicar con éxito este tipo de herramientas nacidas en proyectos de investigación en proyectos de gestión real del territorio y de la ganadería extensiva, tendremos más posibilidades de que en el próximo programa de la PAC estas herramientas se utilicen para calcular de una forma más solvente los pagos a los ganaderos según los servicios que éstos aportan a la sociedad, impulsando así de forma masiva una mejor gestión de nuestros recursos públicos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGENCIA EUROPEA DE MEDIO AMBIENTE (2010). *Europe's ecological backbone: recognising the true value of our mountains*. 252p. EEA Report 6/2010.
- AGENCIA EUROPEA DE MEDIO AMBIENTE (2012). *Updated High Nature Value Farmland in Europe*. 61p. EEA Technical Report.
- ARMSTRONG H.M. Y MACDONALD A.J. (1992). Test of different methods for measuring and estimating utilization rate of heather (*Calluna vulgaris*) by vertebrate herbivores. *Journal of Applied Ecology* 29, 285-294.
- BAUMONT R., TRACLET M., LE MORVAN A., EGAL D., JUVEN M. Y D'HOOR P. (2006). Diet quality and intake during the grazing season in beef cows on permanent pastures. *Grassland Science in Europe* 11, 496-498.
- BEAUFOY G. Y POUX X. (2012). *Apoyo a los ganaderos que mantienen los territorios pastorales europeos - modificación de las normas de la PAC sobre pastos permanentes*. Informe del European Forum on Nature Conservation and Pastoralism.
- BEAUFOY G. Y RUÍZ MIRAZO J. (2013). Ingredientes para una nueva Política Agraria Común en apoyo de los sistemas ganaderos sostenibles ligados al territorio. *Pastos* 43(2), 25-34.
- BEDIA J., BUSQUÉ J. Y GUTIÉRREZ J.M. (2011). Predicting plant species distribution across an alpine rangeland in northern Spain. A comparison of probabilistic methods. *Applied Vegetation Science*, 14, 415-432.
- BOCK M., BÖHNER J., CONRAD O, KÖTHE R. Y RINGELER A. (2007). Methods for creating functional soil databases and applying digital soil mapping with SAGA GIS. En: Tomislav H. *et al.* (eds). *Status and prospect of soil information in south-eastern Europe: soil databases, projects and applications*. pp 149-163. Joint Research Council Scientific and Technical Research Report.
- BUSQUÉ J., MORA M.J., FERNÁNDEZ N., CÁMARA M. Y FERNÁNDEZ B. (2005). Problemas y pautas para la gestión del pastoreo en los puertos de Sejos. *Locustella. Anuario de la Naturaleza de Cantabria* 3, 41-54.
- BUSQUÉ J., FERNÁNDEZ N. Y FERNÁNDEZ B. (2006). A decision support tool to design rangeland sustainable grazing systems. *Grassland Science in Europe* 11, 682-684.
- BUSQUÉ J., MORA M., BEDIA J. Y FERNÁNDEZ B. (2007). Sobrepastoreo y degradación de pastos de puerto: quién, cuándo, dónde. Respuestas del modelo de simulación "PUERTO". En: *Los sistemas forrajeros: entre la producción y el paisaje*. pp. 18-23. Vitoria. Sociedad Española para el Estudio de los Pastos.
- CARRACEDO V., DIEGO C., GARCÍA-CODRÓN J.C. Y RASILLA D.F. (2009). Clima e incendios forestales en Cantabria: evolución y tendencias recientes. *Pirineos* 164, 33-48.
- CELAYA R., FERREIRA L.M.M., GARCÍA U., ROSA R. Y OSORO K. (2011). Diet selection and performance of cattle and horses grazing in heathlands. *Animal* 5:9, 1467-1473.
- COMISIÓN EUROPEA (2012). *Rural development in the EU, Statistical and Economic Information Report*. 371p.
- DOMÍNGUEZ M. (2014). Pastos, PAC y bienes públicos: oportunidades ante el período 2014-2020. *Pastos* 43(2), 6-24.
- DUMONT B., ANDUEZA D., NIDERKORN V., LÜSCHER A., PORQUEDDU C. Y PICON-COCHARD C. (2014). A meta-analysis of climate change effects on forage quality in grasslands: perspectives for mountain and Mediterranean areas. En: Baumont R. *et al.* (eds). *Forage resources and ecosystem services provided by Mountain and Mediterranean grasslands and rangelands*. *Options Méditerranéennes* 109, 49-68.
- FILLAT F., AGUIRRE J., PAUNÉ F. Y FONDEVILLA C. (2012). La conservación de la montaña alpina y el bienestar humano. *Ambienta* 98, 116-133.
- GARCÍA PRIETO U., MARTÍNEZ A., CELAYA R. Y OSORO K. (2009). *Estrategias para la puesta en valor de zonas desfavorecidas*. SERIDA. Principado de Asturias.
- GARCÍA FERNÁNDEZ J. (1990). La organización tradicional del espacio rural en el área cantábrica. En: García Merino L.V. *et al.* (eds). *Los espacios rurales cantábricos y su evolución*. pp 15-31. Santander. Universidad de Cantabria – Asamblea Regional de Cantabria.
- GÓMEZ SAL A., RODRÍGUEZ E., BUSQUÉ J. Y RODRÍGUEZ M. (1995). *Cuadernos de la trashumancia nº17: Pernía, Páramos, Alto Campoo*. Madrid. Ministerio de Agricultura.
- GUTIÉRREZ J.M., HERRERA S., SAN-MARTÍN D., SORDO C., RODRÍGUEZ J.J., FROCHOSO M., ANCELL R., FERNÁNDEZ J., COFIÑO A.S., PONS M.R., Y RODRÍGUEZ M.A. (2010). *Escenarios regionales probabilísticos de cambio climático en Cantabria: termoplumiometría*. Santander. Gobierno de Cantabria – Universidad de Cantabria.
- HERNÁNDEZ C., MARTÍNEZ J. Y CALVETE H. (2011). Modelos para la simulación dinámica del crecimiento y desarrollo de pastos. *Pastos* 41(2), 127-162.

- HUMADA M.J., MATEO J., GARCÍA F.J. Y SERRANO E. (2013). Perfil de ácidos grasos de la grasa intramuscular en cabritos castrados y sacrificados a los 7-8 meses de edad producidos en pastos de montaña de los Picos de Europa. En: *XV Jornadas sobre Producción Animal*. AIDA 42(1), 751-753.
- LACA E.A. (2008). Foraging in a heterogeneous environment. En: Prins H.H.T. y van Langevelde F. (eds). *Resource ecology: spatial and temporal dynamics of foraging*. pp.81-100. Dordrecht, Países Bajos. Springer.
- MENÉNDEZ I., VÁZQUEZ I., BUSQUÉ J. Y BAYARRI E. (2012). Desarrollo de un plan de gestión sostenible de pastos comunales a escala regional. En: Canals R.M. y San Emeterio L. (eds). *Nuevos retos de la ganadería extensiva: un agente de conservación en peligro de extinción*. pp. 255-264. Pamplona. Sociedad Española para el Estudio de los Pastos
- MONTSERRAT P. Y FILLAT F. (1977). La ganadería extensiva y las culturas rurales montañosas, *Anales del Instituto de Estudios Montañeses* 3, 83-120.
- MORENO J., FERRÉ I., CELAYA R., FRUTOS P., FERREIRA L.M.M., HERVÁS G., GARCÍA U., ORTEGA L.M. Y OSORO K. (2012) Potential use of heather to control gastrointestinal nematodes in goats. *Small Ruminant Research* 103, 60-68.
- MOROS R. Y BUSQUÉ J. (2014). Tipificación de la ganadería bovina de carne de Cantabria a escala municipal. En: Busqué J. et al. (eds) *Pastos y PAC 2014-2020*. pp. 491-498. Potes, Cantabria. Sociedad Española para el Estudio de los Pastos.
- MOULIN C.H. (2014), Multiple services provided at territory scale from Mountain and Mediterranean livestock systems, En: Baumont R. et al. *Forage resources and ecosystem services provided by Mountain and Mediterranean grasslands and rangelands, Options Méditerranéennes* 109, 559-572.
- OSORO K., VASALLO J.M., CELAYA R. Y MARTÍNEZ A. (1999). Livestock production systems and the vegetation dynamics of Less Favoured Areas: developing viable systems to manage semi-natural vegetation in temperate LFAs in Spain. En: Laker J.P. y Milne J.A. (eds): *Livestock Production in the European Less Favoured Areas* pp. 133-143. Dublin, Irlanda.
- REQUENA G. (2014). *Mejora y aplicación del modelo de simulación PUERTO en pastos comunales de Cantabria*. Proyecto Fin de Carrera. Ingeniería de Montes. Universidad de Santiago de Compostela. Disponible en: www.cifa-cantabria.org
- RICKERT K.G. (1996). Stocking rate and sustainable grazing systems, *Wageningen Agricultural University Papers* 96-4, 29-67.
- ROSA R., FRASER M.D., CELAYA R., FERREIRA L.M.M., GARCÍA U. Y OSORO K. (2013). Grazing land management and biodiversity in the Atlantic European heathlands: a review. *Agroforestry Systems* 87, 19-43.
- VÁZQUEZ I., PUENTE L. Y BUSQUÉ J. (2011a). Patterns of land use and ownership and their influence on pasture quality in the mountains of northern Spain. *Grassland Science in Europe* 16, 58-60.
- VÁZQUEZ I., PUENTE L. Y BUSQUÉ J. (2011b). Análisis comparativo de los sistemas ganaderos de un valle de montaña cántabro a partir de indicadores de presión ganadera. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales* 33, 83-88.
- WRIGHT I.A., RUSSEL A.J.F. Y HUNTER E.A. (1989). Compensatory growth in cattle grazing different vegetation types. *Animal Production* 48, 43-50.

ANEXO: EL MODELO DE SIMULACIÓN PUERTO

Juan Busqué Marcos

Centro de Investigación y Formación Agrarias del Gobierno de Cantabria

Este documento tiene el objetivo de explicar en detalle el funcionamiento del modelo de simulación PUERTO. Se presenta como un anexo al artículo “De la investigación a la práctica: herramientas para gestionar la ganadería de montaña y los pastos comunales de Cantabria dentro de la Política Agraria Común” (Busqué, 2014). Además de la información aportada en el documento, el autor enviará a quien lo requiera el código del modelo y los archivos asociados para su uso en una localidad de ejemplo.

ÍNDICE

1. Estructura del modelo	25
2. Información de partida necesaria	27
2.1. La vegetación	27
2.2. El suelo	28
2.3. El clima	28
2.4. Rebaños en pastoreo	28
2.5. Otras actuaciones	29
3. Procesos simulados en el modelo	30
3.1. Suelo – vegetación	30
3.1.1. Crecimiento de la vegetación	30
3.1.1.1. Cálculo de FT_{fit}	30
3.1.1.2. Cálculo de FR_{fit}	30
3.1.1.3. Cálculo de FH_{fit}	31
3.1.2. Senescencia y reabsorción	32
3.1.3. Desfronde	32
3.1.4. Excreción	32
3.1.5. Descomposición	33
3.1.6. Paso de la fracción lenta a la activa de la materia orgánica	33
3.1.7. Mineralización	33
3.1.8. Pérdida de N por percolación	33
3.1.9. Siega	33
3.1.10. Fertilización orgánica	33
3.2. Planta-Animal	33
3.2.1. Selección de la dieta	33
3.2.1.1. Valor pastoral	33
3.2.1.2. Ingestión	34
3.3. Balance energético del ganado	35
3.3.1. Necesidades de mantenimiento ($N_{M,cht}$)	35
3.3.2. Necesidades de desplazamiento ($N_{D,cht}$)	35
3.3.3. Necesidades de lactación ($N_{L=1,ht}$)	35
3.3.4. Necesidades de gestación ($N_{gest,cht}$)	35
3.3.5. Variación de peso	35
4. Programación	36
4.1. Ficheros de código del modelo	36
4.1.1. CorrerPuerto.R	36
4.1.2. Plant.R	37
4.1.3. Plant1_Comun.R	37
4.1.4. Plant2_CrecR	37
4.2. Organización de carpetas y ficheros	37
5. Índice de variables y parámetros	38
5.1. Componentes	38
5.2. Variables de partida	38
5.3. Variables de estado	39
5.4. Variables de procesos	40
5.5. Parámetros	40
6. Referencias bibliográficas	42

1. ESTRUCTURA DEL MODELO

El modelo PUERTO simula el funcionamiento en el espacio y tiempo de los procesos más relevantes del sistema clima-suelo-pasto-herbívoro-manejo que conforman los agro-ecosistemas pastorales de montaña. Las variables de estado y procesos del sistema considerados en el modelo (Figura 1) se asocian a sufijos en subíndices que señalan dónde actúan y a qué escala están representados:

- **i**: en una **Tesela**: territorio geográfico continuo, homogéneo en su vegetación (una comunidad vegetal o más de una dispuestas horizontalmente en mosaico de grano fino), tipo de suelo (textura y profundidad) y microclima (temperatura, precipitación y radiación solar). En el código del modelo se define con el campo *IDMancha*.
- **f**: en una **Comunidad vegetal**: cada uno de los tipos de vegetación considerados homogéneos en composición florística y funcionalidad ecológica. Pueden ocupar un espacio horizontal en solitario (vegetación herbácea o arbustiva baja), o, en los casos en que sean arbustos altos o árboles, acompañar a otra comunidad vegetal herbácea situada por debajo de ella. En el código del modelo se define con el campo *com*.
- **h**: en un **Rebaño**: conjunto de herbívoros de gran tamaño (domésticos o salvajes) de la misma especie, con la misma distribución espacio-temporal y el mismo gestor/propietario en el caso de herbívoros domésticos. En el código del modelo se define con el campo *IDRebaño*.
- **c**: en un **Sub-rebaño**: cada uno de los grupos de animales diferentes según raza y categoría (sexo o estado fisiológico) que se pueden encontrar dentro de un mismo rebaño. En el código del modelo se define con los campos *Raza* y *Categoría*.
- **t**: en una **Unidad de tiempo**: unidad en la que se cuantifican las variables de los procesos simulados de los componentes vegetal (crecimiento, senescencia, reabsorción y desfronde), edáfico (descomposición, transformación de la materia orgánica, mineralización y percolación), animal (selección e ingestión de forraje, producción de leche, variación de peso y excreción) y de manejo (siega y fertilización), y se actualizan los valores de las variables de estado de dichos componentes. En el código del modelo se define con el campo *t*.
- **v**: en una **Unidad inventarial**: conjunto de teselas contiguas que conforman un territorio continuo con límites físicos o artificiales bien definidos (ver p.ej. Figura 9 de Busqué, 2014), que se corresponden en muchas ocasiones con límites del área de distribución del pastoreo de rebaños concretos. En el código del modelo se define con el campo *UP*.

- **e:** en una **Especie de herbívoro**. En el código del modelo se define con el campo *Especie*.

Una variable de estado o de proceso del modelo se puede expresar a distintos niveles de detalle en el espacio y tiempo, desde un nivel de desagregación (detalle) máximo (p.ej. iv_{chfit} : ingestión de biomasa viva del sub-rebaño c del rebaño h sobre la comunidad vegetal f en la

tesela i en el tiempo t), a niveles de agregación intermedios (p.ej. iv_{vf} : cantidad de biomasa verde ingerida de la comunidad vegetal f en todo el año y por parte de los rebaños con un área de pastoreo que incluye la unidad inventarial v), hasta una agregación espacio-temporal máxima (p.ej. iv : cantidad de biomasa verde ingerida en todo el área de estudio durante todo el año por todos los herbívoros en pastoreo).

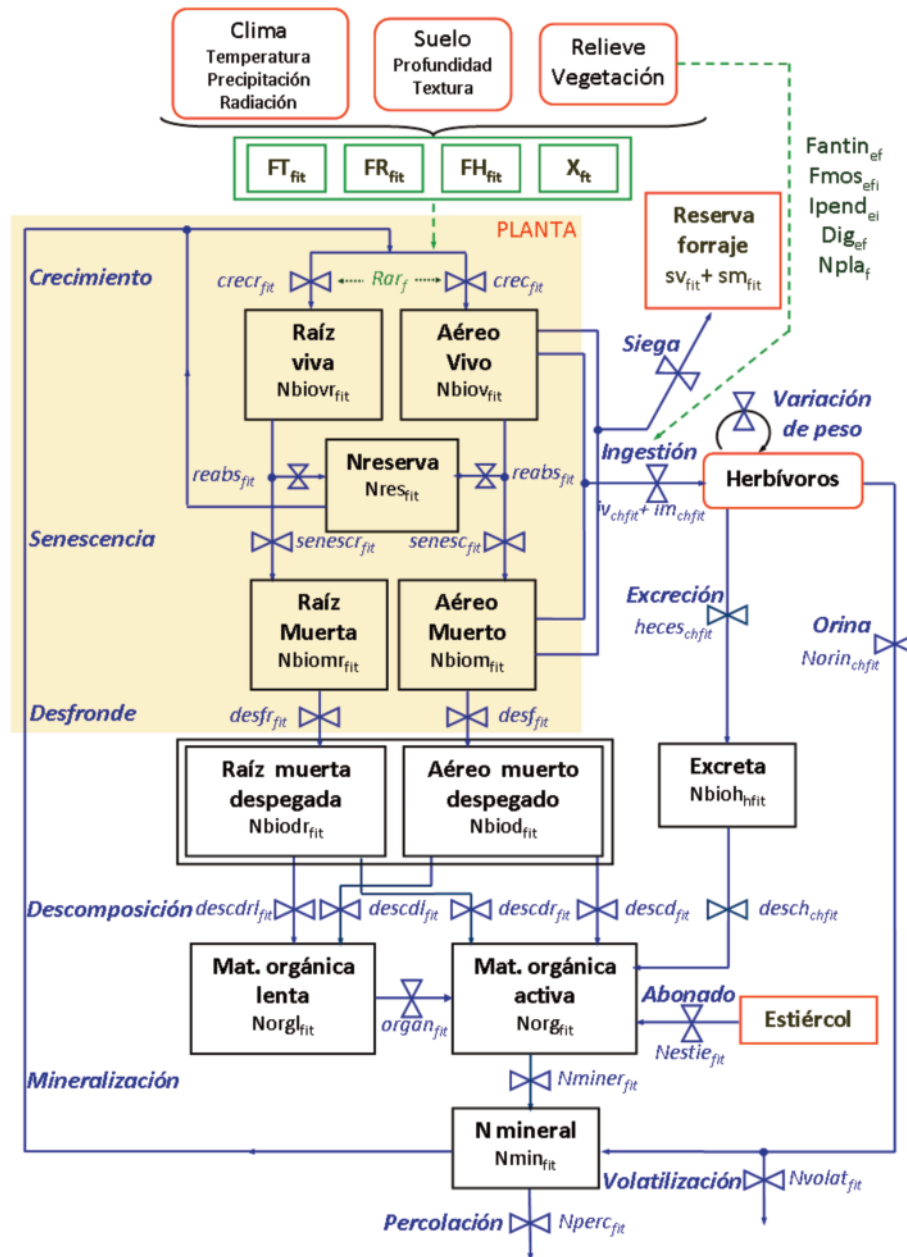


FIGURA 1. Variables principales de estado (cajas negras) y de procesos (azul) simulados por el modelo PUERTO para un tipo de pasto f , localizado en una tesela i , aprovechado por herbívoros de un sub-rebaño c de un rebaño h en un tiempo t . La información de partida necesaria para correr el modelo está contenida en los cuadros de borde rojo. Los cuadros en verde son variables que afectan la velocidad de los procesos. Los nombres de las variables están explicados en el apartado 5.

2. INFORMACIÓN DE PARTIDA NECESARIA

La información necesaria para aplicar PUERTO se puede dividir entre *información genérica*, válida para todas las localidades, e *información específica* de la localidad que se pretende estudiar. La *información genérica* consiste fundamentalmente en los valores de los parámetros de suelos, vegetación, herbívoros y manejo necesarios para correr el modelo en cualquier localidad. La *información específica* de la localidad a estudiar detalla la distribución espacial de la vegetación y el suelo y espacio-temporal del clima, los herbívoros en pastoreo y las actuaciones de manejo. La mayor parte de la información requerida se estructura en ficheros que son tablas (seis tablas de información genérica, con nombres que tienen una *Z* como prefijo, y 11 tablas de información específica), existiendo además parámetros fijos agrupados en un fichero adicional (*Parametros.R*; ver apartados 4 y 5).

2.1. La vegetación

Para aplicar el modelo en una localidad concreta, se necesita confeccionar un mapa en formato vectorial (.shp) definido por teselas *i* de vegetación homogénea. Las comunidades vegetales *f* que formen la leyenda del mapa deben ser tipos funcionales (i.e. conjunto de especies con comportamiento semejante en cuanto a sus efectos sobre el funcionamiento del ecosistema - p.ej. palatabilidad para los herbívoros presentes- y en cuanto a sus respuestas a las condiciones ambientales existentes -p.ej. efecto del clima sobre la tasa de senescencia-). En ciertos casos, la clasificación fitosociológica de la vegetación a escala de alianza o asociación puede ser adecuada, mientras que en otros casos se necesita una clasificación más detallada. Por ejemplo, los brezales-tojales típicos de la cornisa cantábrica son considerados desde el punto de vista fitosociológico como una sola comunidad vegetal (asociación *Daboecio-Ulacetum gallii*), mientras que para el modelo conviene distinguir entre los brezos bajos (*Erica vagans*, *E. cinerea*, etc.) y el tojo (*Ulex gallii*), por su distinta dinámica de crecimiento y su distinta interacción con los herbívoros domésticos (p.ej. los équidos pueden consumir activamente el tojo y rechazar al mismo nivel los brezos, mientras que el vacuno se puede comportar al contrario).

Por otro lado, el pasto herbáceo encontrado debajo de las copas de árboles o debajo de arbustos altos, también se considera en el modelo como una comunidad vegetal diferente de las leñosas que tiene por encima. La definición de los tipos de vegetación *f* tiene asociada la cuantificación de un importante número de parámetros específicos (tabla *ZB3_ComFisio*) y de otros que regulan su interacción con las distintas especies de herbívoro *e* (tabla *ZBA_ValorPastoral*; ver apartado 5).

La confección del mapa de vegetación mediante métodos clásicos muy costosos en trabajo especializado es posiblemente

el mayor esfuerzo requerido para aplicar PUERTO. Se prevé que en un futuro cercano la teledetección y la estadística permitan generar mapas de vegetación de gran precisión en territorios grandes de forma económica (MHNN-EEA, 2014), facilitando así un mayor uso del modelo PUERTO.

La información de la disposición de la vegetación en una localidad concreta se aporta en dos tablas: *D1_Manchas* y *D2_ManchasCom*. La primera tabla ***D1_Manchas***, con un registro por tesela, se compone de los siguientes campos:

- *IDMancha*. Identificación numérica de la tesela *i*.
- *has*. Superficie en hectáreas.
- *cob*. Cobertura vegetal de la tesela vista en plano (%) = 100 - cobertura de suelo desnudo (%).
- *pend*. Pendiente media de la tesela (%).
- *UP*. Identificación numérica de la unidad inventarial *v* donde se encuentra la tesela.
- *inc*. Localización (1: dentro; 2: fuera) de la tesela respecto al área que se quiere estudiar. No se utiliza en el modelo, pero es importante para el análisis de sus resultados. Las teselas localizadas fuera se sitúan en zonas adyacentes al área de estudio, sin interés en el análisis territorial, pero importantes para la simulación porque para alguno de los rebaños presentes forman parte de su área de pastoreo.
- *prmen35*. Proporción del área de la tesela con una pendiente menor al 35%. No se utiliza en el modelo, pero sirve para el análisis posterior de los resultados: indica la superficie potencialmente mecanizable para cierto tipo de mejora de pastos.

La tabla ***D2_ManchasCom***, con uno o más registros por tesela, tiene los siguientes campos:

- *IDMancha*. Identificación numérica de la tesela *i*.
- *com*. Identificación numérica de la comunidad vegetal *f* (la más alta si existen dos comunidades vegetales en la misma proyección vertical).
- *cobv*. Cobertura ocupada por la comunidad vegetal *f* en la tesela *i* (%). La suma de *cobv* de todos los registros de una misma tesela es siempre 100.

Otra tabla ***ZB2_Pastos*** contiene información genérica sobre las comunidades vegetales que pueden compartir la misma proyección vertical. Tiene los siguientes campos:

- *com*. Identificación numérica de la comunidad vegetal *f* (la más alta si existen dos comunidades vegetales en la misma proyección vertical).
- *com2*. Identificación numérica de la comunidad vegetal existente cuando la comunidad vegetal más alta es *com*. Cuando la comunidad vegetal en *com* es herbácea o arbustiva baja, solo hay un registro, siendo *com=com2*. Cuando la comunidad vegetal en *com* es arbustiva alta o arbórea, hay dos registros por *com*, uno en que *com=com2*,

y otro en que $com \neq com2$, donde $com2$ es una comunidad vegetal herbácea.

2.2. El suelo

El modelo necesita conocer la textura y profundidad del suelo a escala de tesela i . Para su aplicación en localidades de Cantabria se han utilizado los mapas *raster* regionales generados en el proyecto Zonificación Agroecológica de Cantabria (ZAE; Alonso *et al.*, 2007), con tamaño de píxel de 25x25m, y con valores categóricos para la textura (arenoso, franco o arcilloso) y profundidad (menos de 10, de 10 a 25, de 25 a 50, de 50 a 100 y más de 100 cm).

La información resultante para una localidad se recoge en la tabla **D1b_ManchasSuelo**, que tiene los siguientes campos:

- *IDMancha*. Identificación numérica de la tesela i .
- *prof*. Profundidad del suelo (mm). Agregación de los datos de ZAE.
- *text*. Textura del suelo (1: arenoso; 2: franco; 3: arcilloso). Agregación de los datos de ZAE.

La textura de los suelos define los valores de parámetros relacionados con su capacidad de almacenar agua disponible para las plantas. Estos datos quedan recogidos en la tabla genérica *Z1_SuelosText* (ver apartado 5).

2.3. El clima

El modelo requiere de datos, al menos mensuales, de temperaturas medias, mínimas y máximas y precipitaciones. Para usar el modelo en localizaciones de Cantabria y con valores climáticos medios, se han utilizado los datos del estudio de regionalización climática realizado para Cantabria a escala de píxeles de 1km de lado (Gutiérrez *et al.*, 2010). A partir de estos datos, y para la temperatura, se ha realizado un escalamiento posterior para obtener valores por píxel de 25x25m, mediante una interpolación lineal seguida de la aplicación de un algoritmo empírico que relaciona de forma lineal la temperatura con la radiación:

(ec. 1)

$$T_{kt} = T_{Kt} + 0,463 \times (Rg_{kt} - Rg_{Kt})$$

Donde:

T_{kt} es la temperatura media (°C) estimada en el cuadrado k de 25 x 25 m en el tiempo t .

T_{Kt} es la temperatura media en t en el cuadrado K de 1 km² donde se encuentra k .

Rg_{kt} es la radiación global (MJ·m⁻²·d⁻¹) del píxel k de 25 x 25 m en cada tiempo t .

Rg_{Kt} es la radiación global del cuadrado K de 1 km² donde está el cuadrado k en t .

Los valores de radiación solar se han obtenido por dos vías diferentes, con resultados muy similares. Por un lado, se ha calculado la insolación potencial directa y difusa a partir de un modelo de elevación del terreno con píxeles de 25m y parámetros geográficos, utilizando el módulo *Potential Incoming Solar Radiation* del SIG SAGA (Conrad, 2010). Por otro lado, se han utilizado las estimaciones de AEMET para toda España (Sancho *et al.*, 2012), con medias mensuales a una escala de resolución de 3x3 km para el periodo 1983-2005.

Del mismo modo que con la información de los suelos, los datos climáticos se promedian para cada tesela i del mapa de vegetación. El paso de valores mensuales a valores cada 10 días (t del modelo) se realiza ajustando los valores medios (o un tercio de los valores mensuales en el caso de la precipitación) a una función polinómica de grado 9 o superior (fichero *PuertoClima.R*; ver apartado 4.1.1).

En el caso de valores mensuales, la información climática necesaria se recoge en la tabla **D1c_ManchasClima**, que contiene los siguientes campos:

- *IDMancha*. Identificación numérica de la tesela i .
- *mes*. Número del mes.
- *rg*. Radiación solar global sobre la biosfera (MJ·m⁻²·d⁻¹).
- *prec*. Precipitación (mm).
- *tmed*. Temperatura media (°C).
- *tmin*. Temperatura mínima media (°C).
- *tmax*. Temperatura máxima media (°C).

El modelo tiene también la capacidad de utilizar datos climáticos diarios (tabla *D1c_ManchasClimaDia*), si se dispone de ellos.

El modelo simula la existencia de nieve cuando la temperatura media en un periodo t es menor de 3°C. En este caso, y principalmente para reducir la senescencia de la biomasa viva por bajas temperaturas (ver apartado 3.1.2), se corrige la temperatura media de las comunidades vegetales herbáceas, arbustivas bajas y arbustivas altas (IDHL=1, 2 y 3; ver apartado 5) a $tmed_{fit}=3^{\circ}C$, manteniéndose la de las arbóreas (IDHL=4). Se realiza una corrección adicional de $tmed_{fi}$ en el caso de las comunidades vegetales herbáceas con un dosel leñoso superior ($tmed_{fit}=2+0,8 \times tmed_{fi}$).

2.4. Rebaños en pastoreo

El modelo actualmente puede simular el pastoreo de rebaños h de vacuno, equino, ovino y caprino. En todas las especies se consideran distintos tipos de animal c según su raza y categoría (sexo-estado fisiológico): machos adultos, hembras adultas secas, hembras adultas en lactación y animales jóvenes en

pastoreo activo. No se consideran explícitamente los animales aún lactantes, al asumirse en ellos una ingestión de pasto insignificante. La información sobre el estado y la composición de los rebaños en una localidad concreta se realiza generalmente mediante entrevista con los ganaderos involucrados o con responsables de la gestión pastoral de la localidad. Es también muy útil apoyarse en la información oficial de las bases de datos del Sistema de Trazabilidad Animal (SITRAN¹) que, adecuadamente procesadas (ver p.ej. Moros y Busqué, 2013, 2014), aportan información precisa sobre la composición de las ganaderías. Los datos necesarios para PUERTO sobre composición y estado de los rebaños se recogen en cuatro tablas.

La tabla **A0_Rebaños** contiene los siguientes campos:

- *IDRebaño*. Identificación numérica del rebaño *h*.
- *Gestor*. Identificación numérica del ganadero responsable del rebaño. No utilizado en el modelo, pero con interés para interpretar los resultados.
- *Especie*. Identificación numérica de la especie de herbívoro (1: equino; 2: vacuno; 3: ovino; 4: caprino).

La tabla **A1_Numeros** define la composición numérica de cada rebaño – sub-rebaño a lo largo del año. Se compone de los siguientes campos:

- *IDRebaño*. Identificación numérica del rebaño *h*.
- *Raza*. Identificación numérica del tipo de animal *c* según su raza.
- *Categoría*. Identificación numérica del tipo de animal *c* según su categoría (1: hembra lactante; 2: hembra seca; 3: animal joven; 4: semental).
- *t*. Unidad de tiempo empleada por el modelo. Hasta el momento se ha empleado siempre una unidad de tiempo equivalente a 10 días, lo que equivale a tres unidades por mes, y un total de 36 unidades en un año.
- *n*. Número de ejemplares presentes.

La tabla **A0b_Gestantes** sirve para identificar a lo largo del año los animales del rebaño que están en sus últimos meses de gestación y, por lo tanto, tienen mayores requerimientos nutricionales. Contiene los siguientes campos:

- *IDRebaño*. Identificación numérica del rebaño *h*.
- *Raza*. Identificación numérica del tipo de animal *c* según su raza.
- *Categoría*. Identificación numérica del tipo de animal *c* según su categoría.
- *t*. Unidad de tiempo empleada por el modelo.
- *prgest*. Proporción de animales en los últimos meses de gestación (tres últimos meses en yeguas y vacas, y dos últimos meses en ovejas y cabras).

La tabla **A1b_Inicio** define la condición corporal de los animales de cada rebaño al inicio de su actividad de pastoreo (en

la primera *t* especificada para cada tipo de animal *ch* de la tabla **A1_Numeros**). Contiene los siguientes campos:

- *IDRebaño*. Identificación numérica del rebaño *h*.
- *Raza*. Identificación numérica del tipo de animal *c* según su raza.
- *Categoría*. Identificación numérica del tipo de animal *c* según su categoría.
- *CCini*. Condición corporal al inicio del pastoreo (según la escala 0-5).

Además de la composición y estado de los rebaños, se necesita conocer la localización espacio-temporal de estos dentro del territorio a estudiar y a nivel de unidades inventariables *v*. Esta información es relativamente fácil de recopilar de ganaderos y gestores, y SITRAN también permite verificarla, aunque generalmente con menos precisión que en el caso de la composición de los rebaños. Los datos recopilados se ordenan en la tabla **A2_Alcances**, que tiene los siguientes campos:

- *IDRebaño*. Identificación numérica del rebaño *h*.
- *t*. Unidad de tiempo empleada por el modelo.
- *UP*. Identificación numérica de la unidad inventariable *v*.

Los herbívoros en pastoreo tienen unos parámetros ligados a la especie (subíndice *e*) que regulan su capacidad de selección, ingestión y accesibilidad al pasto recogidos en la tabla **ZA4_Especies**. También, a nivel de especie, raza y categoría (*ce*) existen otros parámetros que definen distintas necesidades y eficiencias de transformación de la energía de forraje ingerido, que se recogen en la tabla **ZA6_Necesidades** (ver apartado 5).

2.5. Otras actuaciones

El modelo contempla la posible existencia de dos tipos de actuaciones sobre el pasto: la siega y la fertilización orgánica. Esta información se recoge en la tabla **D2b_Accion**, que contiene los siguientes campos:

- *IDMancha*. Identificación numérica de la tesela *i*.
- *com*. Identificación numérica de la comunidad vegetal *f*.
- *accion*. Tipo de actuación (1: siega; 2: fertilización orgánica).
- *t*. Unidad de tiempo cuando se produce la acción.
- *Nestie*. En el caso de la aplicación de fertilización orgánica, cantidad de N (orgánico) aportado ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$).

¹ <http://www.magrama.gob.es/es/ganaderia/temas/trazabilidad-animal/registro/>

3. PROCESOS SIMULADOS EN EL MODELO

3.1. Suelo – vegetación

3.1.1. Crecimiento de la vegetación

El crecimiento potencial de las plantas de una comunidad vegetal f en una tesela i en un tiempo t ($crecpot_{fit}$ y $crecpotr_{fit}$ para la parte aérea y las raíces respectivamente) se calcula como:

(ec. 2)

$$crecpot_{fit} = X_f \times FT_{fit} \times FH_{fit} \times FR_{fit} \times ph_{fit} \times ts$$

$$crecpotr_{fit} = X_f \times FT_{fit} \times FH_{fit} \times FR_{fit} \times ph_{fit} \times ts \times \frac{Rar_f}{1 - Rar_f}$$

Donde X_f es el crecimiento diario de la parte aérea ($gMS \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}$) sin limitaciones ambientales; FT_{fit} , FH_{fit} y FR_{fit} son factores de corrección ambientales (con valores entre 0 y 1) debidos a la temperatura, humedad y radiación respectivamente (ver apartados 3.1.1.1 a 3.1.1.3); ph_{fit} es un efecto de la fenología que sólo toma valores 0 ó 1; ts es el número de días que comprende la unidad de tiempo t , fijada hasta el momento en 10 días; y Rar_f es la proporción de biomasa viva de la vegetación que, en condiciones de equilibrio (i.e. sin perturbaciones que eliminen directamente biomasa), corresponde a las raíces.

Este crecimiento potencial coincide con el crecimiento real ($crec_{fit}$ y $crecr_{fit}$) si existe (i) suficiente nitrógeno disponible y (ii) un equilibrio entre la biomasa viva de la parte aérea ($biov_{fit}$) y las raíces ($biovr_{fit}$).

El nitrógeno disponible para el crecimiento proviene del nitrógeno mineral existente en el suelo ($Nmin_{fit}$) y del nitrógeno de las reservas de las plantas ($Nres_{fit}$). Por cada gramo de biomasa vegetal que se produce, se necesitan Npl_f gramos de nitrógeno proveniente de estas dos fuentes. El valor de $Nmin_{fit}$ se calcula realizando un balance de todos los flujos de biomasa y nitrógeno entre las variables de estado que conforman el sistema suelo-planta-animal (Figura 1) descritos en este apartado 3.1. El cálculo de $Nres_{fit}$ se describe en el apartado 3.1.2.

Las comunidades vegetales activamente defoliadas por pastoreo, difícilmente mantienen un equilibrio entre la biomasa viva aérea y la subterránea fijada por el parámetro Rar_f . En estos casos, el modelo simula que las plantas crecerán inicialmente para intentar alcanzar este equilibrio (p.ej. creciendo solamente la parte aérea). Si logran ese objetivo y aún sobra nitrógeno, crecerán después en su parte aérea y radicular de forma equilibrada según el parámetro Rar_f .

La relación entre crecimiento y fenología se aborda en el modelo de forma muy simple, considerando solamente que la fe-

nología está afectada por la integral térmica. Se define un parámetro $ddcrec_r$, que señala los grados-día por encima de los cuales no se produce más crecimiento de biomasa aérea o radicular. Este parámetro esta pensado para aplicarse sólo en comunidades vegetales leñosas, en donde existe una marcada diferenciación temporal entre crecimiento vegetativo y reproductivo. En el momento que, para una comunidad vegetal f localizada en una tesela i se produzca una temperatura acumulada Tac_{fit} superior a $ddcrec_r$, el valor ph_{fit} pasará de 1 a 0.

3.1.1.1. Cálculo de FT_{fit}

El efecto de la temperatura sobre el crecimiento del pasto se simula con una función cuadrática (Coughenour, 1993; Tapeiner y Cernusca, 1998):

(ec. 3)

$$FT_{fit} = \left(\frac{T_{max_f} - tmed2_{fit}}{T_{max_f} - T_{opt_f}} \right) \times \left(\frac{tmed2_{fit} - T_{min_f}}{T_{opt_f} - T_{min_f}} \right)^{\left(\frac{T_{opt_f} - T_{min_f}}{T_{max_f} - T_{opt_f}} \right)}$$

Donde $tmed2_{fit}$ es la temperatura media en la comunidad vegetal f de la tesela i en el tiempo t (temperatura media $tmedi$, corregida por la posible existencia de nieve y por el amortiguamiento causado por un dosel de vegetación superior en el caso de vegetación arbustiva alta o arbórea; ver apartado 2.3); T_{opt_f} es la temperatura a la que se da el crecimiento máximo para el tipo de vegetación f , y T_{min_f} y T_{max_f} las temperaturas con crecimientos nulos más alta y más baja respectivamente.

3.1.1.2. Cálculo de FR_{fit}

El efecto de la radiación, aunque en general correlacionado con el efecto de la temperatura, puede marcar diferencias en estaciones con temperaturas medias similares pero con diferencias apreciables en las horas de luz, como es el caso de la primavera y el otoño. La radiación solar global (directa más difusa) que llega a la biosfera (rg_{it} ; $MJ \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}$; ver apartado 2.3) se corrige inicialmente ($Rg2_{fit}$) para considerar la atenuación en las comunidades vegetales herbáceas situadas debajo de un dosel leñoso (en ese caso: $Rg2_{fit} = 0,2 \times rg_{it}$).

FR_{fit} se calcula mediante una relación lineal con la radiación solar sobre la comunidad vegetal ($Rg2_{fit}$), con una pendiente inversa a la radiación solar a la que se alcanza la máxima fotosíntesis por las plantas ($Rgmax_f$):

(ec. 4)

$$\begin{aligned} \text{Si } Rg2_{fit} < Rgmax_f: & \quad FR_{fit} = \frac{Rg2_{fit}}{Rgmax_f} \\ \text{Si } Rg2_{fit} \geq Rgmax_f: & \quad FR_{fit} = 1 \end{aligned}$$

3.1.1.3. Cálculo de FH_{fit}

El valor del factor que define el efecto de la humedad del suelo sobre el crecimiento y otros procesos vegetales y edáficos depende de características climáticas (precipitación, temperatura, radiación solar, viento), edáficas (textura, profundidad, permeabilidad) y vegetales (profundidad de las raíces, transpiración). Es, por tanto, un factor complejo que requiere del cálculo de un balance de entradas y salidas en el sistema atmósfera-suelo-planta, para lo que se ha seguido y adaptado la metodología propuesta por la FAO (Allen *et al.*, 2006). Se transcriben a continuación los cálculos realizados.

En primer lugar, para cada tesela *i* (tipo de suelo) y tipo de vegetación *f* se calcula la cantidad de agua potencialmente disponible en la zona de las raíces (ADT_{fi} ; mm):

(ec. 5)

$$ADT_{fi} = (FC_i - PWP_i) \times profR_{ci} \times prpr_f$$

Donde FC_i y PWP_i son los contenidos de agua (m^3m^{-3}) a capacidad de campo y en el punto de marchitez permanente respectivamente (parámetros función de la textura del suelo), $profR_{ci}$ es la profundidad media de las raíces (mm; se calcula como el valor menor entre la profundidad potencial de las raíces para ese tipo de vegetación ($profR_i$) y la profundidad del suelo en esa tesela: $prof_i$), y $prpr_f$ es la proporción de la biomasa radicular que corresponde a la comunidad vegetal *f*. En el caso de dos tipos de vegetación herbácea-leñosa en la misma proyección vertical, el valor de $prpr_f$ para cada una de las dos comunidades será función de la profundidad potencial de sus raíces ($profR_i$) y de su capacidad para absorber agua cuando ésta empieza a escasear en el suelo (parámetro p_i).

Cuando el contenido de humedad del suelo se encuentra por debajo de cierto valor umbral (p_i), el agua no puede ser absorbida por las raíces con la velocidad suficiente para satisfacer la demanda transpiratoria, y las plantas comienzan a sufrir estrés hídrico. El agua que un determinado tipo de vegetación puede extraer fácilmente de su zona radicular (sin experimentar estrés hídrico) se denomina agua fácilmente aprovechable (AFA; mm), y es una fracción $pc2$ del ADT:

(ec. 6)

$$AFA_{fi} = pc2_{fit} \times ADT_{fi}$$

$pc2_{fit}$ es una variable que depende principalmente del tipo de vegetación *f* (parámetro p_i), pero también de la evapotranspiración existente (ETC_{fit}) y de la textura del suelo *i*:

(ec. 7)

$$pc_{fit} = p_f + 0,04 \times (5 - ETC_{fit})$$

(ec. 8)

-En suelos arenosos:

$$pc2_{fit} = pc_{fit} - 0,075 \times pc_{fit}$$

-En suelos francos:

$$pc2_{fit} = pc_{fit}$$

-En suelos arcillosos:

$$pc2_{fit} = pc_{fit} + 0,075 \times pc_{fit}$$

A continuación se calcula el grado de agotamiento de agua en la zona radicular (DRi_{fit} ; mm) mediante el balance entre entradas y salidas de agua en dicho horizonte del suelo:

(ec. 9)

$$DRi_{fit} = DRi_{fi(t-1)} + ETC_{fit} - Prec_{it}$$

Donde ETC_{fit} es la evapotranspiración de referencia en la comunidad vegetal *f* de la tesela *i* en el tiempo *t* y $Prec_{it}$ es la precipitación en la tesela *i* en *t*.

Los valores de DRi_{fit} negativos (percolación), se igualan a 0 (suelo a capacidad de campo), y en el caso opuesto de obtener valores de DRi_{fit} mayores que ADT_{fi} , se igualan a ADT_{fi} (suelo en el punto de marchitez permanente). ETC_{fit} se calcula con la ecuación de Hargreaves:

(ec. 10)

$$ETC_{fit} = Kc_{fit} \times (0,000939 \times (Tmed2_{fit} + 17,8) \times Rg2_{fit} \times K_{Rs}^{-1})$$

Donde $Tmed2_{fit}$ y $Rg2_{fit}$ son la temperatura media y la radiación solar global respectivamente a nivel de la comunidad vegetal (ver apartados 2.3 y 3.1.1.2); Kc_{fit} es un coeficiente dependiente de la biomasa de hoja verde presente, con valores mínimos por debajo de cierto umbral (simulación de evaporación, con transpiración nula), valores máximos por encima de cierto valor de biomasa de hoja verde, y una relación lineal positiva entre ambos umbrales mínimo y máximo (simulación de transpiración). K_{Rs} es un coeficiente de ajuste empírico que define el carácter más o menos oceánico de la localidad (valores de 0,16 a 0,19).

Finalmente, el factor FH_{fit} será:

(ec. 11)

$$FH_{fit} = \frac{ADT_{fi} - DRi_{fit}}{ADT_{fi} - AFA_{fi}}$$

ajustándose a 1 cuando tome valores mayores a la unidad.

El valor FH_{fit} obtenido se multiplica por ETC_{fit} para calcular la evapotranspiración real ET_{fit} . Esta servirá para recalcular la ecuación 9 (sustituyendo ETC por ET) y obtener así el valor de partida $DRi_{fit(t-1)}$ para el siguiente paso temporal del modelo.

3.1.2. Senescencia y reabsorción

El paso de biomasa vegetal viva (bio_{vit} y bio_{vrt} ; aérea y subterránea respectivamente) a biomasa vegetal muerta pegada ($biom_{fit}$ y $biom_{rfit}$) se simula con fórmulas adaptadas de Coughenour (1993), que calculan la proporción de la biomasa viva muriéndose diariamente ($prsen_{fit}$) según las condiciones de humedad (Sh_{fit}) y frío (St_{fit}) existentes. Se asume que la senescencia es la misma en la parte aérea y en las raíces ($senesc_{fit} = senesc_{rfit}$).

Para cada comunidad vegetal f la senescencia por falta de agua será máxima (Sh_0) cuando el factor de humedad FH_{fit} sea nulo, disminuyendo linealmente hasta un valor de senescencia mínima constante (Sh_1) cuando FH_{fit} sobrepase cierto umbral (Fhs). Este tipo de función compuesta, con dos o tres rangos de valores, uno central de una función lineal creciente o decreciente, y uno o dos laterales de funciones con valores estables en el eje de coordenadas (figura 2), se implementan mediante una función denominada *Tri*, incluida en el fichero *FuncModPlanta.R*. La función *Tri* se emplea para varios procesos del modelo PUERTO.

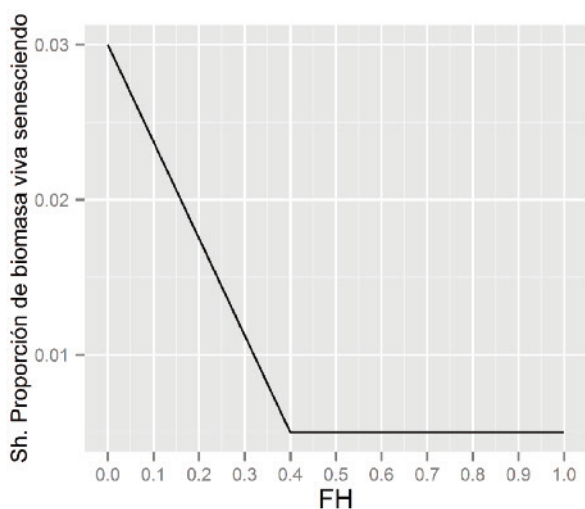


FIGURA 2. Ejemplo de función *Tri* (ver fichero *FuncModPlanta.R*) para determinar la relación entre humedad del suelo (FH) y senescencia de la biomasa vegetal viva. Parámetros: $Sh_0=0,03$; $Sh_1=0,005$; $Fhs=0,4$.

En cuanto a la senescencia por frío, el mecanismo de simulación es semejante: con valores máximos y constantes (St_0) por debajo de ciertos valores de temperatura media (t_0), y valores nulos cuando los valores de temperatura sean superiores a cierto umbral (t_1) (uso de la función *Tri*).

La proporción diaria de biomasa viva senesciendo ($prsen_{fit}$) será la mayor de los dos valores estimados Sh_{fit} y St_{fit} . En este paso de materia viva a muerta pegada, se estima que una proporción ($prvm_{fit}$) de todo el peso y nutrientes de la planta se reabsorbe como reservas para el crecimiento posterior de

las plantas ($Nreabs_{fit}$; componente de reserva para el nitrógeno: $Nres_{fit}$).

3.1.3. Desfronde

El paso de la materia vegetal muerta pegada ($biom_{fit}$ y $biom_{rfit}$) a materia vegetal muerta despegada ($biod_{fit}$ y $biod_{rfit}$) se simula de forma diferente para la parte aérea y para las raíces.

En la parte aérea el desfronde ($desf_{fit}$) se considera función de la biomasa muerta pegada ($biom_{fit}$) y del nivel de pastoreo que experimente la comunidad vegetal f en la tesela i . El nivel de pastoreo se mide como la proporción de la biomasa viva ingerida diariamente en la unidad de tiempo anterior ($ivgm_{2_{fit-1}}/bio_{vit-1}$). Se fija una proporción mínima de desfronde (fmi_{fit}) por debajo de cierto umbral de pastoreo ($pimn$) y una proporción máxima (fmx_{fit}) cuando se supera un umbral máximo de pastoreo ($pimx$). Entre ambos umbrales la relación proporción de biomasa aérea ingerida - proporción de desfronde se hace lineal (uso de la función *Tri*). En el caso de siega, se añade además al desfronde aéreo la parte de lo segado (vivo y muerto) perdido en la recogida, que se calcula como 1 menos el valor de cada uno de los parámetros que definen la eficiencia de la recogida (k_{sv} y k_{sm}).

Para las raíces, la tasa de desfronde ($desfr_{fit}$) se simula como una fracción constante (Dr_{fit}) de la biomasa muerta pegada ($biom_{rfit}$).

3.1.4. Excreción

La cantidad de N excretado en forma de heces por los animales de un rebaño (NH_{cht}) se asume como la fracción no digestible del pasto ingerido. Este nitrógeno excretado se distribuye entre las comunidades vegetales del área de pastoreo del rebaño ($NHgm_{2_{fit}}$) en proporción a la ingestión de éstas, pero con una corrección ($probH_{fit}$) según el grado de adecuación de los distintos tipos de vegetación para el descanso del ganado. La cantidad de N de heces presentes sobre el terreno ($Nbioh_{fit}$) es un balance entre lo remanente del t anterior, la aportación por el ganado en pastoreo ($NHgm_{2_{fit}}$) y lo transformado en materia orgánica por descomposición ($Ndesch_{fit}$).

El N excretado en la orina por los animales de un rebaño (asumido como N mineral; NO_{cht}) se calcula como, de lo ingerido, lo correspondiente a la fracción digestible no metabolizable. Este N posteriormente se reduce por pérdidas de volatilización ($Nvolat_{fit}$) definidas simplemente como una proporción fija ($prvolat_{fit}$) de la orina excretada. La distribución espacial de la orina (NO_{cht}) se simula igual a la de las heces. No existe una variable de estado de nitrógeno de orina presente, ya que directamente pasa a ser parte del nitrógeno mineral del suelo ($Nmin_{fit}$).

3.1.5. Descomposición

El nitrógeno de heces presente en una comunidad vegetal de una tesela ($N_{bioh_{fit}}$) se descompone ($N_{desch_{fit}}$) para formar parte del N de la materia orgánica "activa" del suelo ($N_{org_{fit}}$). Esta descomposición ocurre a una tasa máxima $TN_{desch_{fi}}$ multiplicada por los factores ambientales FH_{fit} y FT_{fit} , que regulan la actividad de los microorganismos descomponedores.

Por su parte, el N en el desfronde vegetal aéreo y subterráneo ($N_{biod_{fit}}$ y $N_{biodr_{fit}}$) se descompone ($N_{descd_{fit}}$, $N_{descdr_{fit}}$, $N_{descdl_{fit}}$, $N_{descdrl_{fit}}$) para formar parte del N de las dos fracciones en que se divide la materia orgánica: la "activa" ($N_{org_{fit}}$) y la "lenta" ($N_{orgl_{fit}}$). Al igual que en el caso de las heces, estas descomposiciones se producen a unas tasas máximas (parámetros $TN_{descd_{fi}}$, $TN_{descdr_{fi}}$, $TN_{descdl_{fi}}$ y $TN_{descdrl_{fi}}$) multiplicadas por los factores de humedad y temperatura que regulan la actividad microbiana descomponedora.

3.1.6. Paso de la fracción lenta a la activa de la materia orgánica

Este paso ($N_{organ_{fit}}$) se simula multiplicando un valor máximo de proporción de paso diario (TN_{Orgmx}) por los factores FH_{fit} y FT_{fit} .

3.1.7. Mineralización

El paso ($N_{miner_{fit}}$) del N orgánico activo ($N_{org_{fit}}$) a N mineral ($N_{min_{fit}}$), forma ya asimilable por las plantas para su crecimiento, se simula de forma similar a la descomposición: multiplicando una proporción máxima de N orgánico mineralizable (TN_{minmx}) por $N_{org_{fit}}$ y por los factores FH_{fit} y FT_{fit} , moduladores de la actividad de los microorganismos encargados de la mineralización.

3.1.8. Pérdida de N por percolación

El N mineral puede perderse por percolación cuando la cantidad de agua en el suelo sobrepasa su capacidad de campo. La percolación ($N_{perc_{fit}}$) se calcula como:

(ec. 12)

$$N_{perc_{fit}} = \frac{Perc_{fit}}{Perc_{fit} + ADT_{fi}} \times N_{min_{fit-1}}$$

$Perc_{fit}$ es la cantidad de agua por encima de la capacidad de campo del suelo. Se calcula tras hacer el balance entre el agua presente en el suelo en la unidad de tiempo previa, más lo posteriormente aportado por precipitación y menos lo perdido por evapotranspiración. ADT_{fi} es el agua disponible en el suelo a capacidad de campo (ecuación 5). $N_{min_{fit-1}}$ es la cantidad de N mineral presente al final de la unidad de tiempo anterior.

3.1.9. Siega

La siega se simula sacando del sistema toda la biomasa verde-muerta aérea presente menos una cantidad remanente fija ($bio00_{fi}$ y $biom00_{fi}$ respectivamente). Las cantidades de biomasa viva ($svgm2_{fit}$) y muerta ($smgm2_{fit}$) realmente cosechadas se calculan considerando una eficiencia de recogida de las biomásas aéreas fijada por los parámetros ksv y ksm respectivamente.

3.1.10. Fertilización orgánica

Esta acción se simula sencillamente como la aplicación de una cantidad determinada de nitrógeno orgánico ($N_{estie_{fit}}$), que se incorpora directamente en el componente $N_{org_{fit}}$.

3.2. Planta-Animal

3.2.1. Selección de la dieta

La ingestión de un tipo de pasto f en una tesela i por los animales de la misma categoría-raza c de un rebaño h en una unidad de tiempo t (iv_{chit} e im_{chit} para la biomasa aérea viva y muerta respectivamente) se simula mediante una serie de algoritmos que consideran el valor pastoral de cada tipo de vegetación existente en el área de pastoreo de cada rebaño, la posible competencia por estos recursos entre distintos rebaños que se solapan en las mismas unidades inventariables de forma total o parcial, y las limitaciones a la ingestión máxima que pueden ocurrir por eficiencia energética o condicionantes fisiológicos de los animales.

3.2.1.1. Valor pastoral

El valor pastoral de un recurso forrajero fi localizado en alguna de las unidades inventariables que conforman el área de pastoreo de un rebaño h de una especie e de herbívoro se calcula como:

(ec. 13)

$$VP_{hefi} = \left[(DigV_{ef} \times Npl_{fi} \times bio_{fit}) + (DigM_{ef} \times Npl_{fi} \times prtvm_{fi} \times biom_{fit}) \right] \times Fantin_{ef} \times Fmos_{efi} \times sel_{efi} \times ch_{hfi} \times Ipend_{ei}$$

Donde:

Entre corchetes se representa la cantidad de nitrógeno digestible de la vegetación en pie por unidad de superficie.

$Fantin_{ef}$ es la proporción máxima (0-1) que un tipo de pasto f puede formar parte en la dieta global diaria de los animales de

una especie e de herbívoro. Tiene un valor 1 para tipos de pasto sin ningún tipo de rechazo (p.ej. pastos de *Festuca-Agrostis*), y valores menores de 1 para plantas con mecanismos de defensa a la herbivoría (metabolitos secundarios o características morfológicas, p.ej. espinas).

$F_{mos_{efi}}$ es un factor (0-1) que cuantifica el grado de accesibilidad por matorralización que tiene un herbívoro a un tipo de pasto f localizado en una tesela i (0: no accesible; 1: accesibilidad total). Su cálculo comienza considerando que cada comunidad vegetal f , en condiciones de cobertura total, tiene un grado de accesibilidad fijo por cada especie de herbívoro e : Mat_{ef} . Así, por ejemplo, los pastos herbáceos de *Festuca-Agrostis* para vacuno tienen accesibilidad total, $Mat_{e=2,f=7}=1$; mientras que un matorral exclusivamente formado por *Ulex gailii* no es accesible para vacuno $Mat_{e=2,f=28}=0$. Para una tesela real, El grado de accesibilidad para una especie de herbívoro (IM_{ei}) se calcula como:

(ec. 14)

$$Nperc_{fit} = \frac{Perc_{fit}}{Perc_{fit} + ADT_{fi}} \times N \min_{fit-1}$$

Se considera que a partir de cierto valor IM_1 de IM_{ei} , $F_{mos_{efi}}$ será máximo (F_{mos_1}), y por debajo de cierto valor IM_0 de IM_{ei} , $F_{mos_{efi}}$ será mínimo (F_{mos_0}). Entre ambos valores (IM_0-IM_1), $F_{mos_{efi}}$ variará linealmente entre F_{mos_0} y F_{mos_1} (uso de la función Tri).

sel_{efit} es un coeficiente (0-1) que indica la capacidad de selección por una especie de herbívoro en una comunidad vegetal de la parte de la vegetación verde frente a la muerta. Por encima de cierto valor ($selectmax_e$) de proporción de biomasa viva en el pasto ($prbiov_{fit}$) los herbívoros pueden seleccionar todo el forraje verde ($sel_{efit}=1$); por debajo de otro valor ($selectmin_e$) de $prbiov_{fit}$ los herbívoros no son capaces de seleccionar nada de forraje verde ($sel_{efit}=0$); y entre ambos valores la relación es lineal (uso de la función Tri).

ch_{efit} es un coeficiente (0-1) que indica la regulación de la ingestión según la biomasa disponible. Tiene valor 1 cuando la cantidad de forraje en pie por unidad de superficie ($biov_{fit}+biom_{fit}$) no es limitante ($lsup_e$) para que el herbívoro pueda ingerir a su capacidad máxima, y valor 0 cuando la cantidad de forraje en pie es menor a un valor ($linf_e$) que impide al herbívoro ingerir nada (uso de la función Tri).

$lpend_{ei}$ es un coeficiente (0-1) que contempla el grado de facilidad de las distintas especies de herbívoros de aprovechar la vegetación según la pendiente. Se calcula usando una función de Hill (Figura 3; fichero *FuncModPlanta.R*), donde cada especie animal tiene valores para dos parámetros: kp_e (valor de la pendiente a la que $lpend_{ei}=0,5$) y np_e (grado de descenso de $lpend_{ei}$ con el incremento de la pendiente).

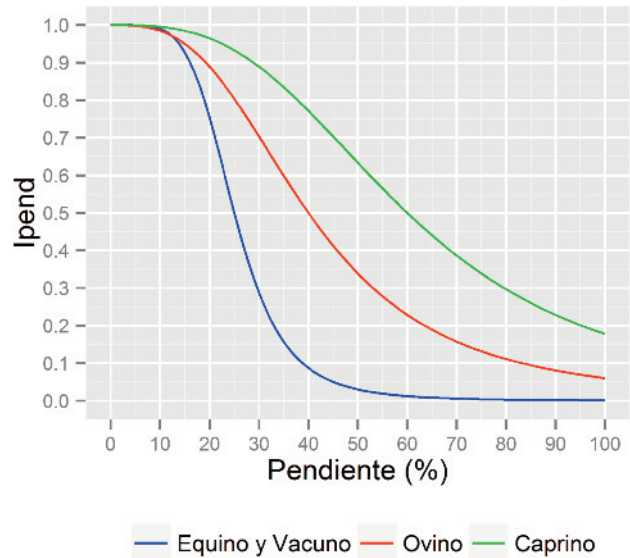


FIGURA 3. Relación entre la pendiente de una tesela i y el factor $lpend_e$, que es un componente del valor pastoral de la vegetación para distintas especies de herbívoros.

3.2.1.2. Ingestión

Con VP_{hfit} se calcula la variable $DIAS_{hfit}$, que estima la proporción de cada pasto fi que ingeriría un rebaño h en su área de pastoreo en el tiempo t si no hubiera solapamiento con otros rebaños:

(ec. 15)

$$DIAS_{hfit} = \frac{VP_{hfit}}{VP_{ht} = \sum_{fi} (VP_{hfit})}$$

Para tener en cuenta la posible existencia de más de un rebaño aprovechando las mismas unidades inventariales, se calcula una nueva variable (PP_{hfit}) que computa la proporción de la ingestión total de un determinado pasto fi en una t , correspondiente al rebaño h :

(ec. 16)

$$PP_{hfit} = \frac{IMax_{ht} \times DIAS_{hfit}}{IMax_{fit} = \sum_h (IMax_{ht} \times DIAS_{hfit})}$$

Donde $IMax_{ht}$ es la ingestión potencial que tendría un rebaño h sin limitaciones de biomasa forrajera. Se estima como un porcentaje fijo del peso vivo del animal. El peso vivo varía según la especie, raza, categoría y condición corporal del herbívoro.

La combinación de las dos variables anteriores (VP_{hfit} y PP_{hfit}) permite obtener una última variable (CIR_{hfit}) que estima la proporción potencial de la ingestión total de un rebaño h correspondiente al pasto fi en el tiempo t :

(ec. 17)

$$CIR_{hfit} = \frac{DIAS_{hfit} \times PP_{hfit}}{DIAS_{ht} \times PP_{ht} = \sum_{fi} (DIAS_{hfit} \times PP_{hfit})}$$

La proporción real de la ingestión del rebaño *h* en la vegetación *fi* (CIR_{2hfit}) será el menor valor entre CIR_{hfit} y *ch*_{hfit}. También se tiene que cumplir que CIR_{2hfit} sea menor o igual que *Fan*_{hfit}. Tras realizar estos ajustes, se debe comprobar si se puede aumentar la CIR_{2hfit} de otros pastos. Estos ajustes se realizan mediante un proceso recursivo que se simula mediante un bucle repetido un número limitado de veces.

Una vez calculada la ingestión *i*_{chfit}, la correspondiente a biomasa viva (*iv*_{chfit}) y muerta (*im*_{chfit}) se calculan usando la función *sele*_{fit} (ver apartado 3.2.1.1).

3.3. Balance energético del ganado

Las ganancias/pérdidas de peso de los herbívoros se estiman en base a un balance energético entre la energía contenida en el forraje ingerido y las necesidades energéticas de los animales para los distintos usos: mantenimiento, desplazamientos, gestación, lactación, movilización de reservas y ganancias de peso (expresadas como MJ de energía neta). Para ello, se utilizan las fórmulas empíricas del ARC (McDonald *et al.*, 1995).

3.3.1. Necesidades de mantenimiento (*Nm*_{cht})

Para el vacuno y el equino se utilizan las siguientes fórmulas de necesidades:

(ec. 18)

$$Nm_{HEMBRAS} = 0,53 \times (0,93 \times PV_t)^{0,67} + (0,0091 \times PV_t)$$

$$Nm_{JOVENES} = 0,53 \times (0,93 \times PV_t)^{0,67} + (0,0071 \times PV_t)$$

$$Nm_{MACHOS} = 1,15 \times (0,53 \times (0,93 \times PV_t)^{0,67} + (0,0071 \times PV_t))$$

Para el ovino y caprino:

$$Nm_{HEMBRAS} = 0,226 \times (0,93 \times PV_t)^{0,75} + (0,007 \times PV_t)$$

$$Nm_{MACHOS} = 1,15 \times (0,226 \times (0,93 \times PV_t)^{0,75} + (0,007 \times PV_t))$$

3.3.2. Necesidades de desplazamiento (*Nd*_{cht})

Para el vacuno se consideran unas necesidades de desplazamiento del 25% de las necesidades de mantenimiento, tal como se ha señalado en zonas de montaña (Osoro *et al.*, 2003). Para el equino se estiman unas necesidades de un 40% las de mantenimiento, por el mayor tiempo de pastoreo diario con respecto a los rumiantes (Duncan *et al.*, 1990; Mora *et al.*,

2010). Para el ovino y caprino se toman los mismos valores relativos del vacuno (25% de las necesidades de mantenimiento).

3.3.3. Necesidades de lactación (*Nl*_{c=1,ht})

Las necesidades energéticas de producción de leche se calculan con la ecuación:

(ec. 19)

$$N_l = 1,509 + 0,0406 \times 40 \frac{g_{grasa}}{kg_{leche}} = 3.133 \frac{MJ}{kg_{leche}}$$

Se asume que, en condiciones adecuadas de condición corporal, cada especie de ganado producirá una cantidad de leche máxima (*Lmx*_{c=1,e}). Para condiciones corporales sub-óptimas se utiliza una función correctora de la producción de leche (*Kccl*_{c=1,ht}) según el valor de la condición corporal (*CC*_{c=1,ht}), tomando en cuenta dos valores umbrales de *CC* (*ccLmx*: *CC* a partir de la cual la producción de leche es máxima; *ccLmn*: *CC* por debajo de la cual el animal no produce leche).

(ec. 20)

$$\begin{aligned} \text{Si } CC_{c=1ht} \leq ccLmn & \quad Kccl_{cht} = 0 \\ \text{Si } CC_{c=1ht} \geq ccLmx & \quad Kccl_{cht} = Lmx_{ce} \\ \text{Si } ccLmn < CC_{c=1ht} < ccLmx & \quad Kccl_{cht} = \frac{Lmx \times (CC_{c=1t} - ccLmn)}{ccLmx - ccLmn} \end{aligned}$$

3.3.4. Necesidades de gestación (*Ngest*_{cht})

Las necesidades de gestación se estiman como valores fijos diarios proporcionales al peso vivo de referencia de cada tipo de animal (especie-raza) para el último tercio de la gestación (tres últimos meses para vacas y yeguas, y últimos dos meses para ovejas y cabras; Osoro *et al.*, 2003).

3.3.5. Variación de peso

Una vez computadas las necesidades energéticas del ganado para cada uso (sin considerar aún los gastos energéticos asociados a ganancias/pérdidas de peso), se calcula la EN que supone el forraje ingerido en pastoreo para cada una de las diferentes necesidades de uso. Para ello, se traduce inicialmente el valor energético de las fracciones viva y muerte de los distintos tipos de pasto *f* ingeridos, desde energía bruta (EB; constante para todos los forrajes: 18,4 MJ·kgMS⁻¹), a energía digestible (ED; multiplicando EB por la digestibilidad de forraje: *Dig_{ef}*), energía metabolizable (EM; fracción constante de la ED: 0,8), y finalmente a EN de cada uso. El paso final de EM a EN se realiza multiplicando las EM de los forrajes por coeficientes de uso, diferentes según el tipo de ganado (*Km_e* para

mantenimiento y desplazamiento; Kl_e para lactación; $Kgest$ para gestación; y KG_{ec} para las ganancias de peso según el tipo de animal). Si a continuación se computa para cada t la ingestión total de EN de cada uso y la EM para cada rebaño y categoría-raza (hc), la relación de las primeras con la segunda resultará en la obtención de los valores medios de los coeficientes de eficiencia de transformación de EM en EN de cada uso para cada situación concreta ($KmProm_{cht}$, $KIProm_{cht}$, $KgestProm_{cht}$ y $KganProm_{cht}$).

Finalmente, el balance entre la EM ingerida (EMI_{cht}) y las necesidades de EM de mantenimiento-movimiento, lactación y gestación, es la EM que sobra o falta ($EMAPeso_{cht}$), y que se traducirá posteriormente en ganancias o pérdidas de peso:

(ec. 21)

$$EMAPeso_{cht} = EMI_{cht} - \left(\frac{Nmd_{cht}}{KmProm_{cht}} + \frac{NI_{cht}}{KI Prom_{cht}} + \frac{Ngest_{cht}}{Kgest Prom_{cht}} \right)$$

En el caso de que $EMAPeso_{cht}$ sea negativo, se produce movilización de reservas, y por tanto pérdidas de peso:

(ec. 22)

$$PérdidaPeso(kg)_{cht} = EMAPeso_{cht} \times \frac{Kreservas}{ENmovil}$$

Donde $Kreservas$ es la eficiencia de utilización de la EM para movilizar reservas corporales y $ENmovil$ es el valor energético que se genera con la movilización de dichas reservas ($MJ \cdot kg^{-1}$). Ambos parámetros se asumen en el modelo constantes para todas las especies y categorías-razas de animales.

En el caso de que $EMAPeso_{cht}$ sea positivo, se producirán ganancias de peso:

(ec. 23)

$$GananciaPeso(kg)_{cht} = EMAPeso_{cht} \times \frac{KganProm_{cht}}{EGKg_{ce}}$$

Donde $EGKg_{ce}$ es la EN necesaria para ganar un kg de peso, bien diferente según que los animales sean jóvenes en crecimiento o adultos. Para animales jóvenes, se ha utilizado la ecuación de McDonald *et al.* (1995):

(ec. 24)

$$EGKg_{c=3,e=2} = \frac{4,1 + 0,0332 \times PV - 0,000009 \times PV^2}{1 - 0,1475 \times \Delta P} \times fcr \times fcs$$

Donde ΔP es el aumento esperable de peso, fijado en $0,5 \text{ kg} \cdot d^{-1}$, y fcr y fcs son factores de corrección de las necesidades de crecimiento según la precocidad de la raza y el sexo respectivamente. Para animales adultos, $EGKg_{ce}$ se considera como un valor fijo ($26 \text{ MJ EN} \cdot \text{kg}^{-1}$).

4. PROGRAMACIÓN

El modelo PUERTO está implementado en el lenguaje de programación R (R core team, 2014), basándose fundamentalmente en la consulta de tablas (uniones, agregaciones, filtrados, transformaciones, etc) mediante el uso de funciones de la librería *data.table* (Dowle *et al.*, 2014). El código del modelo está escrito en cuatro ficheros que se comunican entre ellos: *CorrerPuerto.R*, *Plant.R*, *Plant1_Comun.R* y *Plant2_Crec.R*.

4.1. Ficheros de código del modelo

4.1.1. CorrerPuerto.R

Este fichero es el único que se necesita correr para realizar una simulación del modelo PUERTO completa. La primera vez que se quiere simular una nueva localización, se debe correr inicialmente la función *puerto clima* contenida en el fichero *PuertoClima.R*, pero accesible desde *CorrerPuerto.R*. Esta función transforma los datos de clima (mensuales o diarios) a la escala temporal del modelo, creando la tabla *c1* en un fichero denominado *clima.Rdata*. Si se quiere volver a correr el modelo para la misma localización sin variar los datos del clima, no se necesita volver a correr *puerto clima*, por lo que se mantiene desactivada esta línea de código en *CorrerPuerto.R*.

Las variables que necesitan definirse en *CorrerPuerto.R* para correr el modelo son:

- *runtotf*: número de años que se quiere correr el modelo para conseguir una simulación de un año con unos valores iniciales de las variables de estado razonables. Para el primer año, el modelo usa para estas variables de estado unos valores iniciales contenidas en *ZB3_ComFisio* (*Remv_f* para *biov_{fit}* y *biovr_{fit}*; *RemM_f* para *biom_{fit}* y *biomr_{fit}*; *RemD_f* para *biod_{fit}* y *biodr_{fit}*; *NorglO_f* para *Norgl_{fit}*; *NorgO_f* para *Norg_{fit}*; *NminO_f* para *Nmin_{fit}*; y *NresO_f* para *Nres_{fit}*).
- *disk*: ruta de acceso hasta el directorio donde se encuentran la raíz *Puerto* del modelo (ver apartado 4.2).
- *site*: nombre de la localización que se quiere simular. Debe corresponder con uno de los nombres de los sub-directorios tanto del directorio "Inputs" como "Outputs" (ver apartado 4.2).

Además de estas variables, el fichero *CorrerPuerto.R* tiene valores de otras variables (*tmax*, *i*, *z*, *runtoti*) que tienen interés para correr el modelo por tramos, que sirve para analizar el

funcionamiento del modelo o poder detectar la localización de posibles fallos en la información de partida utilizada.

CorrerPuerto.R consiste en un bucle que corre la función *plantf* contenida en el fichero *Plant.R* tantas veces como los años definidos en *runtotf*. Los resultados de cada año se salvan en un fichero cuyo nombre tiene como prefijo "result" y como sufijo el número de año seguido de *.Rdata* (ruta *Puerto/Outputs/sites/SiteX/resultY.Rdata*; ver apartado 4.2). Estos ficheros contienen una lista con las tablas de los resultados de la simulación: *Fhijt*, *TT*, *lhcif* y *BalanceAnimal* (ver apartado 5).

4.1.2. *Plant.R*

Fichero que contiene la función *plantf*, que realiza los siguientes pasos:

- Carga la librería *data.table*.
- Carga ficheros con los parámetros más generales del modelo (*Parametros.R*), o con funciones sencillas que hacen cálculos que se repiten varias veces en la simulación (*FuncModPlanta.R* y *FuncModAnimal.R*).
- Carga el fichero *Plant1_Comun.R*, para con ello correr la función *plant1comunf*, y almacenar las tablas producidas por esta función en una lista llamada *pl1*.
- Carga el fichero *Plant2_Crec.R*, para con ello correr la función *plant2crecf* las veces definidas en un bucle que contempla (i) el número de unidades de tiempo *t* fijadas en *tmax* (hasta ahora siempre 36) y (ii) cada uno de los años *z* comprendidos entre *runtoti* y *runtotf*.

4.1.3. *Plant1_Comun.R*

Fichero que contiene la función *plant1comunf*, cuyo objetivo es cargar toda la información del modelo PUERTO que no cambia a lo largo del tiempo, y que por tanto no necesita incluirse dentro de un bucle que contemple cada una de las unidades de tiempo. Además de la carga de las tablas con la información de partida (ver apartado 2 y ficheros terminados en *.txt* de apartado 5), en este fichero se realizan algunas consultas a partir de estas tablas para facilitar los cálculos posteriores.

4.1.4. *Plant2_CrecR*

Este fichero contiene la función *plant2crecf* que realiza la simulación del modelo PUERTO correspondiente a cada unidad de tiempo *t*. Se estructura en las siguientes partes:

- Cálculo de los factores de crecimiento FT, FR y FH. Tabla resultante: *Fhijt*. Juntando todas las unidades *t* de un año se crea la tabla *FhijtT*.

- Cálculo de las variables de procesos y estado del sistema planta-suelo. Tabla resultante para cada unidad *t*: *T41*.
- Cálculo de la ingestión de los herbívoros. Tabla resultante para cada unidad *t*: *lhcif*. Juntando todas las unidades *t* de un año se crea la tabla *lhcif*.
- Inclusión de las variables de procesos y estado del sistema animal-suelo a *T41*, para crear la tabla *T6*. Juntando todas las unidades *t* de un año se crea la tabla *TT*.
- Cálculo del balance energético en los animales y de las variaciones de sus pesos. Tabla resultante para cada unidad *t*: *Balance*. Juntando todas las unidades *t* de un año se crea la tabla *BalanceAnimal*.

4.2. Organización de carpetas y ficheros

Los ficheros necesarios para correr el modelo (con código, con funciones o con información de partida) y los ficheros generados como resultados del modelo están ordenados en un sistema de carpetas jerarquizadas, donde la raíz inicial es una carpeta denominada *Puerto*. A partir de ésta hay cuatro carpetas de primer nivel:

- *Código*. Contiene los ficheros con el código para correr el modelo.
- *Funciones*. Contiene ficheros con funciones auxiliares y parámetros generales.
- *Inputs*. Contiene subcarpetas con los nombres de las localidades donde se aplica el modelo. Cada una de estas subcarpetas tiene a su vez ficheros con todas las tablas con la información de partida necesaria para correr el modelo, además de ficheros de SIG con la representación geográfica de teselas y unidades inventariales.
- *Outputs*. Se divide en dos subcarpetas:
- *Sites*. Donde a su vez se incluyen las subcarpetas con los nombres de las localidades donde se aplica el modelo, que contienen los resultados de las simulaciones (un fichero por cada año simulado).

InformesGestion. Ficheros de tipo *R markdown* (*.Rmd*) que generan informes automáticos sobre distintos aspectos de los resultados del modelo, combinando tablas, figuras y mapas.

Las tablas con la información de partida se pueden organizar y recopilar en una base de datos tipo ACCESS. Esto permite verificar que las relaciones existentes entre las distintas tablas son coherentes. Transformar el formato de las tablas contenidas en ACCESS a ficheros *.txt* requeridos en la programación de la simulación de PUERTO se realiza de forma sencilla con un módulo de VisualBasic creado dentro de la misma base de datos. Se ha creado un fichero *.mdb* denominado *Inputs-Template.mdb* que sirve de plantilla para meter la información de partida.

5. ÍNDICE DE VARIABLES Y PARÁMETROS

En este apartado se recogen todas las variables y parámetros utilizados en la simulación del modelo PUERTO con el mismo nombre con el que aparecen en el código del programa. No se recogen variables creadas como pasos intermedios necesarios en la programación. Las variables/parámetros se ordenan en orden alfabético en cada una de varias tablas según su naturaleza: componentes, variables de partida, variables de estado, variables de proceso y parámetros.

En cada tabla y para cada variable/parámetro se detalla su *nombre*, apartado del texto donde aparece con mayor detalle (*apdo*), definición, escala (*esc*) en la que se representa según lo especificado en el apartado 1, unidad (*ud*), localización (*loc*) en tabla (.txt), fichero de R (.R) o tabla de resultado (sin extensión) y *uso* (0: no usado en el modelo, pero importante para interpretar los resultados; 1: usado en el modelo).

5.1. Componentes

Nombre	apdo	Definición	esc	ud	loc
Categoría	1	Identificación del tipo de animal (1: hembra lactante; 2: hembra seca; 3: joven; 4: semental)	c		A1_Numeros.txt
com	1	Identificación de una comunidad vegetal	f		ZB3_ComFisio.txt
IDMancha	1	Identificación de una tesela	iv		D1_Manchas.txt
IDRebaño	1	Identificación de un rebaño	he		A0_Rebaños.txt
Raza	1	Identificación de la raza del herbívoro	c		A1_Numeros.txt
t	1	Identificación de la unidad de tiempo	t	d	A1_Numeros.txt
UP	1	Identificación de la Unidad Inventarial donde se encuentra un rebaño	v		A2_Alcances.txt

5.2. Variables de partida

Nombre	apdo	Definición	esc	ud	loc	uso
accion	2.5	Tipo de actuación (1: siega; 2: fertilización orgánica)	fit		D2b_Accion.txt	1
Ccini	2.4	Condición corporal al inicio del pastoreo	cht		A1b_Inicio.txt	1
cob	2.1	Cobertura vegetal de una tesela	i	%	D1_Manchas.txt	1
cobv	2.1	Cobertura de la comunidad vegetal en la tesela	fi	%	D2_ManchasCom.txt	1
Gestor	2.4	Identificación del ganadero responsable del rebaño	h		A0_Rebaños.txt	0
has	2.1	Superficie de una tesela	i	ha	D1_Manchas.txt	1
inc	2.1	Localización de la tesela dentro (1) o fuera (2) de la zona de estudio	i		D1_Manchas.txt	0
mes	2.3	Número de mes	t		D1c_ManchasClima.txt	1
n	2.4	Número de animales presentes	cht		A1_Numeros.txt	1
Nestie	3.1.10	Cantidad de N aportado por el estiércol	fit	gNm ⁻²	D2b_Accion.txt	1
pend	2.1	Pendiente de una tesela	i	%	D1_Manchas.txt	1
prec	2.3	Precipitación	it	mm mes ⁻¹	D1c_ManchasClima.txt	1
prgest	2.4	Proporción de animales en los últimos meses de gestación	cht		A0b_Gestantes.txt	1
prmen35	2.1	Proporción del área de la tesela con una pendiente menor al 35%	i		D1_Manchas.txt	0
prof	2.2	Profundidad del suelo	i	mm	D1b_ManchasSuelo.txt	1
rg	2.3	Radiación solar incidente	it	MJm ⁻² d ⁻¹	D1c_ManchasClima.txt	1
text	2.2	Textura del suelo (valores de 1 a 3; 1: arenoso, 2: franco, 3: arcilloso)	i		D1b_ManchasSuelo.txt	1
tmax	2.3	Temperatura máxima media	it	°C	D1c_ManchasClima.txt	1
tmed	2.3	Temperatura media	it	°C	D1c_ManchasClima.txt	1
tmin	2.3	Temperatura mínima media	it	°C	D1c_ManchasClima.txt	1

5.3. Variables de estado

Nombre	apdo	Definición	esc	ud	loc
ADT	3.1.1.3	Cantidad de agua que el suelo puede albergar y que las raíces de la comunidad vegetal presente podrían absorber	fi	mm	FhijtT
AFA	3.1.1.3	Agua fácilmente aprovechable	fit	mm	FhijtT
biod-Nbiod	3.1.3	Biomasa-N vegetal de parte aérea muerta despegada	fit	gMS-Nm ⁻²	TT
biodr-Nbiodr	3.1.3	Biomasa-N vegetal de raíces muerta despegada	fit	gMS-Nm ⁻²	TT
bioh-Nbioh	3.1.4	Biomasa-N de heces presente	fit	gMS-Nm ⁻²	TT
biom-Nbiom	3.1.2	Biomasa-N vegetal de parte aérea muerta en pie	fit	gMS-Nm ⁻²	TT
biomr-Nbiomr	3.1.2	Biomasa-N vegetal de raíces muerta en pie	fit	gMS-Nm ⁻²	TT
biov-Nbiov	3.1.1	Biomasa vegetal - N de parte aérea viva	fit	gMS-Nm ⁻²	TT
biovr-Nbiovr	3.1.1	Biomasa vegetal - N de raíces viva	fit	gMS-Nm ⁻²	TT
cc	3.3.3	Condición corporal (escala 0-5)	cht		Balance Animal
ch	3.2.1.1	Coefficiente (0-1) que indica la regulación de la ingestión según la biomasa disponible	efit		
CIR	3.2.1.2	Proporción potencial de la ingestión total de un rebaño correspondiente a un tipo de pasto	hfit		
CIR2	3.2.1.2	Proporción real de la ingestión de un rebaño correspondiente a un tipo de pasto	hfit		
crecpota	3.1.1	Crecimiento potencial de la parte aérea de la comunidad vegetal con las condiciones existentes de temperatura (FT), radiación (FR) y humedad (FH)	fit	gm ⁻² t ⁻¹	
crecpotr	3.1.1	Crecimiento potencial de las raíces de la comunidad vegetal con las condiciones existentes de temperatura (FT), radiación (FR) y humedad (FH)	fit	gm ⁻² t ⁻¹	
DIAS	3.2.1.2	Proporción potencial de cada pasto que ingeriría un rebaño en su área de pastoreo si no hubiera solapamiento con otros rebaños	hfit		
DRi	3.1.1.3	Grado de agotamiento de agua en la zona radicular	fit	mm	FhijtT
EMAPeso	3.3.5	Energía sobrante (+) o faltante(-) del balance entre EM ingerida y EM requerida para las necesidades de mantenimiento, desplazamientos, gestación y lactación	cht	MJt ⁻¹	Balance Animal
EMI	3.3.5	Ingestión de Energía Metabolizable	chfit	MJt ⁻¹	
ET	3.1.1.3	Evapotranspiración real: Etc x FH	fit	mm	FhijtT
ETc	3.1.1.3	Evapotranspiración de referencia	fit	mm	FhijtT
FH	3.1.1.3	Factor (0-1) del efecto del agua en el suelo sobre procesos vegetales (crecimiento, enescencia) y del suelo (descomposición, mineralización)	fit		FhijtT
FR	3.1.1.2	Factor (0-1) del efecto de la radiación sobre el crecimiento de la vegetación	fit		FhijtT
FT	3.1.1.1	Factor (0-1) del efecto de la temperatura sobre procesos vegetales (crecimiento) y del suelo (descomposición, mineralización)	fit		FhijtT
im	3.2.1.2	Ingestión de biomasa aérea muerta en pie	chfit	gt ⁻¹	lhcif
iv	3.2.1.2	Ingestión de biomasa aérea viva	chfit	gt ⁻¹	lhcif
Kc	3.1.1.3	Coefficiente que multiplica la ET potencial para obtener la Etc. Tiene en cuenta la cantidad de biov presente.	fit		FuncMod Planta.R
Kccl	3.3.3	Coefficiente (0-1) corrector de la producción de leche según la condición corporal del animal	cht		
KG	3.3.5	Eficiencia de uso de la EM para ganancia de peso (McDonal, 1995, p.251). Se computa como KG1*Dig+KG2	ef		ZA6_ Necesidades. txt
KganProm	3.3.5	Eficiencia media de utilización de la EM de toda la dieta para ganancia de peso	cht		
KgestProm	3.3.5	Eficiencia media de utilización de la EM de toda la dieta para gestación	cht		ZA6_ Necesidades. txt
Kl	3.3.5	Eficiencia de la utilización de la EM para lactación (McDonald, 1995, p. 251). Se computa como Kml1*Dig+Kml2	ef		Necesidades. txt
KIProm	3.3.5	Eficiencia media de utilización de la EM de toda la dieta para lactación	cht		
Km	3.3.5	Eficiencia de la utilización de la EM para mantenimiento y desplazamientos (McDonald, 1995, p.251). Se computa como Kml1*Dig+Kml2	ef		ZA6_ Necesidades. txt
KmProm	3.3.5	Eficiencia media de utilización de la EM de toda la dieta para mantenimiento	cht		
NI	3.3.3	Necesidades diarias de energía neta para lactación	cht	MJt ⁻¹	
Nmin	3.1.7	Nitrógeno mineral	fit	gNm ⁻²	TT
Nres	3.1.2	N de reserva en la comunidad vegetal	fit	gNm ⁻²	Plant2_Crec.R
orgl-Norgl	3.1.5	Materia orgánica lenta-N orgánico lento	fit	gMS-Nm ⁻² t ⁻¹	TT
org-Norg	3.1.5	Materia orgánica activa-N orgánico activo	fit	gMS-Nm ⁻²	TT
pc	3.1.1.3	p corregido según la evapotranspiración existente (ETc)	fit		
pc2	3.1.1.3	pc corregido según la textura del suelo	fit		
Perc	3.1.8	Cantidad de agua por encima de la capacidad de campo del suelo	fit	mm	
ph	3.1.1	Estado fenológico de la vegetación (1: vegetativo; 0: no vegetativo)	fit		TT
PP	3.2.1.2	Proporción potencial de la ingestión total de un determinado pasto que corresponde a un rebaño	hfit		
profRc	3.1.1.3	Profundidad media de las raíces, considerando posibles limitaciones por espesor de suelo	fi	mm	
prsen	3.1.2	Proporción diaria de biomasa viva senesciendo	fit	d ⁻¹	Plant2_Crec.R
Rg2	3.1.1.2	Radiación solar sobre la comunidad vegetal	fit	MJm ⁻² d ⁻¹	
sel	3.2.1.1	Coefficiente (0-1) que indica la capacidad de selección por cada especie de herbívoro de la vegetación verde frente a la muerta	efit		
Sh	3.1.2	Coefficiente (0-1) de senescencia función de la humedad (FH). Función Trí	fit		FuncMod Planta.R
smgm2	3.1.9	Biomasa muerta cosechada tras la siega	fit	gMSm ⁻²	TT
St	3.1.2	Coefficiente (0-1) de senescencia función de la temperatura. Función Trí	fit		FuncMod Planta.R
svgm2	3.1.9	Biomasa viva cosechada tras la siega	fit	gMSm ⁻²	TT
Tac	3.1.1	Temperatura acumulada a lo largo del tiempo	fit	°C	
tmed2	2.3	Temperatura media corregida por la nieve y por el dosel leñoso superior	it	°C	
VP	3.2.1.1	Valor pastoral	hefit	gNdigm ⁻² t ⁻¹	

5.4. Variables de procesos

Nombre	apdo	Definición	esc	ud	loc
crec	3.1.1	Crecimiento de biomasa vegetal aérea	fit	$gMSm^{-2}t^{-1}$	TT
crecr	3.1.1	Crecimiento de biomasa vegetal de raíces	fit	$gMSm^{-2}t^{-1}$	TT
descdl-Ndescdl	3.1.5	Descomposición de la biomasa-N de la parte aérea despegada hacia la biomasa-N orgánico lento	fit	$gMS-Nm^{-2}t^{-1}$	TT
descd-Ndescd	3.1.5	Descomposición de la biomasa-N de la parte aérea despegada hacia la biomasa-N orgánico activo	fit	$gMS-Nm^{-2}t^{-1}$	TT
descdr1-Ndescdr1	3.1.5	Descomposición de la biomasa-N de las raíces despegadas hacia la biomasa-N orgánico lento	fit	$gMS-Nm^{-2}t^{-1}$	TT
descdr-Ndescdr	3.1.5	Descomposición de la biomasa-N de las raíces despegadas hacia la biomasa-N orgánico activo	fit	$gMS-Nm^{-2}t^{-1}$	TT
desf-Ndesf	3.1.3	Desfronde de la biomasa vegetal aérea	fit	$gMS-Nm^{-2}t^{-1}$	TT
desfr-Ndesfr	3.1.3	Desfronde de la biomasa vegetal de las raíces	fit	$gMS-Nm^{-2}t^{-1}$	TT
H-NHgm2	3.1.4	Biomasa-N excretada de heces	fit	$gMS-Nm^{-2}t^{-1}$	TT
Ndesch	3.1.5	Descomposición del N de las heces a N orgánico activo	fit	$gNm^{-2}t^{-1}$	TT
Nminer	3.1.7	Mineralización de la materia orgánica activa	fit	$gNm^{-2}t^{-1}$	TT
NOgm2	3.1.4	Nitrógeno de orina excretado	fit	$gNm^{-2}t^{-1}$	TT
Nperc	3.1.8	Nitrógeno mineral que se pierde por percolación	fit	$gNm^{-2}t^{-1}$	TT
Nreabs	3.1.2	Tasa de N que se reabsorbe durante la senescencia	fit	$gNm^{-2}t^{-1}$	Plant2_Crec.R
Nvolat	3.1.4	Pérdidas del N de orina por volatilización	chfit	$gNm^{-2}t^{-1}$	TT
organ-Norgan	3.1.6	Paso de MO-Norgánico lento a activo	fit	$gMS-Nm^{-2}t^{-1}$	TT
senesc	3.1.2	Senescencia de la biomasa vegetal aérea	fit	$gMSm^{-2}t^{-1}$	TT
senescr	3.1.2	Senescencia de la biomasa vegetal de las raíces	fit	$gMSm^{-2}t^{-1}$	TT

5.5. Parámetros

Nombre	apdo	Definición	esc	uds	loc
biom00	3.1.9	Biomasa muerta remanente tras una siega	fi	$gMSm^{-2}$	Parametros.R
biov00	3.1.9	Biomasa viva remanente tras una siega	fi	$gMSm^{-2}$	Parametros.R
ccLmn	3.3.3	Condición corporal por debajo de la cual el animal no produce leche			Parametros.R
ccLmx	3.3.3	Condición corporal por encima de la cual la producción de leche por el animal es máxima			Parametros.R
com2	2.1	Comunidades vegetales encontradas en la misma proyección vertical de la comunidad vegetal com	f		ZB2_Pastos.txt
ddcrec	3.1.1	Grados-día necesarios para pasar de un crecimiento vegetativo a uno reproductivo	f	$^{\circ}Cxd$	ZB3_ComFisio.txt
DigM	3.2.1.1	Digestibilidad de la biomasa aérea muerta	ef		ZBA_ValorPastoral.txt
DigV	3.2.1.1	Digestibilidad de la biomasa aérea viva	ef		ZBA_ValorPastoral.txt
Dr	3.1.3	Tasa de desfronde de las raíces muertas	f	d^{-1}	ZB3_ComFisio.txt
Ebiom	3.1.1.3	Biomasa viva de referencia: aquella con $Kc=1$	f	gm^{-2}	ZB3_ComFisio.txt
EGKg	3.3.5	EN necesaria para aumentar 1 kg de peso (cat3: con un objetivo de crto. de 500 g/d e incluye ya fcr y fcs; otras cat: McDonald, 1995, p.363)	ce	$MJ EN kg^{-1}$	ZA6_Necesidades.txt
Ek0	3.1.1.3	Kc mínimo y constante	f		ZB3_ComFisio.txt
Ek1	3.1.1.3	Define la pendiente de la función entre kc y biov cuando biov/Ebio está entre Epr0 y Epr1	f		ZB3_ComFisio.txt
ENI	3.3.3	Necesidades diarias de energía neta para lactación	cet	MJd^{-1}	ZA6_Necesidades.txt
ENmovil	3.3.5	Valor energético de la movilización de reservas corporales en todas las categorías		$MJ EN kg^{-1}$	Parametros.R
Epr0	3.1.1.3	Proporción de la biov de referencia por debajo de la cual Kc es mínimo y constante (Ek0)	f		ZB3_ComFisio.txt
Epr1	3.1.1.3	Proporción de la biov de referencia a la que $Kc=Kcmax$	f		ZB3_ComFisio.txt
Especie	2.4	Identificación de la especie de herbívoro (1: equino; 2: vacuno; 3: ovino; 4: caprino)	e		ZA4_Especies.txt
Fantin	3.2.1.1	Proporción máxima que un forraje de un tipo de vegetación puede participar en la dieta de un herbívoro.	ef		ZBA_ValorPastoral.txt
FC	3.1.1.3	Contenido de agua del suelo a capacidad de campo. Función de la textura	i	m^3m^{-3}	Z1_SuelosText.txt
fcr	3.3.5	Factor de corrección de las necesidades de crecimiento según la precocidad de la raza. Incluido ya en el valor de Egkg	ce		ZA6_Necesidades.txt
fcs	3.3.5	Factor de corrección de las necesidades de crecimiento según el sexo. Incluido ya en el valor de Egkg	ce		ZA6_Necesidades.txt
Fhs	3.1.2	FH a partir de la cual la senescencia es mínima (estable)	f		ZB3_ComFisio.txt
fmn	3.1.3	Tasa mínima de desfronde de la materia muerta aérea en pie cuando el grado de pastoreo es $\leq pimn$	f	d^{-1}	ZB3_ComFisio.txt
Fmos	3.2.1.1	Factor (0-1) que cuantifica la limitación de un herbívoro a ingerir pasto por la dificultad de acceso por excesiva matorralización. $F(Fmos1, Mat, IMO, IM1)$	efi		(Parámetro derivado)
Fmos0	3.2.1.1	Fmos mínimo. Máxima penalización al pastoreo			Parametros.R
fmx	3.1.3	Tasa máxima de desfronde de la materia muerta aérea en pie cuando el grado de pastoreo es $\geq pimx$	f	d^{-1}	ZB3_ComFisio.txt
IDHL	2.3	Tipo de comunidad vegetal según su altura (1: herbácea; 2: arbustiva baja; 3: arbustiva alta; 4: arbórea)	f		ZB3_ComFisio.txt
IMO	3.2.1.1	Grado de accesibilidad por debajo del cual Fmos será mínimo (Fmos0)			Parametros.R
IM1	3.2.1.1	Grado de accesibilidad por encima del cual Fmos será máximo (1)			Parametros.R
ingmax	3.2.1.2	Ingestión máxima diaria de cada especie-raza-categoría	cet	$kgMSd^{-1}$	ZA6_Necesidades.txt
lpend	3.2.1.1	Coefficiente (0-1) que indica la capacidad de los herbívoros de pastorear según la pendiente. Función Hill	ei		FuncModPlanta.R
Kgest	3.3.5	Eficiencia de uso de la EM para gestación			Parametros.R
kp	3.2.1.1	Pendiente a la que el valor de lpend (corrección de Valor Pastoral por la pendiente) es 0,5 (Función de Hill)	e	%	ZA4_Especies.txt
Kreservas	3.3.5	Eficiencia de la utilización de la EM para movilización de reservas			Parametros.R
KRs	3.1.1.3	Coefficiente de ajuste empírico para definir el carácter más o menos oceánico de la localidad			Parametros.R
ksm	3.1.9	Eficiencia de recogida de la biomasa aérea muerta segada			Parametros.R
ksv	3.1.9	Eficiencia de recogida de la biomasa aérea viva segada			Parametros.R
linf	3.2.1.1	Biomasa aérea de una comunidad vegetal por debajo de la cual la ingestión es nula	e	gm^{-2}	ZA4_Especies.txt
Lmx	3.3.3	Producción de leche máxima en hembras lactantes (se produce cuando la condición corporal $CC > CCLmx$) (kg leche/d)	e	$kg\ leche\ d^{-1}$	ZA4_Especies.txt
lsup	3.2.1.1	Biomasa aérea de una comunidad vegetal por encima de la cual la ingestión diaria no está restringida	e	gm^{-2}	ZA4_Especies.txt

5.5. Parámetros (continúa)

Nombre	apdo	Definición	esc	uds	loc
Mat	3.2.1.1	Factor (0-1) que cuantifica el grado de accesibilidad y circulación de los herbívoros en teselas puras de un tipo de vegetación	ef		ZBA_ValorPastoral.txt
Nd	3.3.2	Necesidades diarias de energía neta desplazamientos	cet	MJd ⁻¹	ZA6_Necesidades.txt
Ngest	3.3.4	Necesidades diarias de energía neta para gestación	cet	MJd ⁻¹	ZA6_Necesidades.txt
Nm	3.3.1	Necesidades diarias de energía neta para mantenimiento	cet	MJd ⁻¹	ZA6_Necesidades.txt
np	3.2.1.1	Grado de descenso del valor de lpend con el incremento de la pendiente (Función de Hill)	e		ZA4_Especies.txt
Npla	3.2.1.1	Concentración de N biomasa aérea viva	f		ZB3_ComFisio.txt
p	3.1.1.3	Fracción de agua en el suelo por encima de la cual ésta es fácilmente disponible para las plantas de la comunidad vegetal	f		ZB3_ComFisio.txt
pimn	3.1.3	Proporción diaria de biov ingerido por debajo del cual la tasa de desfronde es mínima (fmn)		d ⁻¹	Parametros.R
pimx	3.1.3	Proporción diaria de biov ingerido a partir del cual se produce un desfronde máximo de lo muerto aéreo en pie (fmx)		d ⁻¹	Parametros.R
pingmax	3.2.1.1	Ingestión máxima como porcentaje del peso vivo	ht	%	ZA4_Especies.txt
probH	3.1.4	Coefficiente (0-1) que cuantifica la probabilidad de depositar excrementos en esa comunidad respecto a su utilización (0,5: proporcional a la ingestión)	f		ZB3_ComFisio.txt
profR	3.1.1.3	Profundidad de la raíces de una comunidad vegetal cuando no hay limitación en profundidad del suelo	f	mm	ZB3_ComFisio.txt
prpr	3.1.1.3	Proporción del ADT disponible para las raíces. Valor	f		(parámetro derivado)
prvm	3.2.1.1	Proporción de biomasa verde/nutrientes de la comunidad vegetal que se reabsorbe en la senescencia hacia la reserva de nutrientes	f		ZB3_ComFisio.txt
prvolatN	3.1.4	Proporción de la orina excretada por los herbívoros que se volatilizaba			Parametros.R
PV	3.2.1.2	Peso vivo de referencia para cada especie, raza y categoría de herbívoro	ce	kg	ZA6_Necesidades.txt
PWP	3.1.1.3	Contenido de agua del suelo en el punto de marchitez permanente. Función de la textura	i	m ³ m ⁻³	Z1_SuelosText.txt
Rar	3.1.1	Proporción de la biomasa viva que es raíz en condiciones de equilibrio (sin perturbaciones)	f		ZB3_ComFisio.txt
Rgmax	3.1.1.2	Radiación solar a la que se alcanza la máxima capacidad fotosintética. A valores mayores se mantiene dicha capacidad.	f	MJm ⁻² d ⁻¹	ZB3_ComFisio.txt
selectmax	3.2.1.1	Proporción de biomasa viva por encima de la cual el animal selecciona solo vivo en el pastoreo de esa comunidad vegetal	e		ZA4_Especies.txt
selectmin	3.2.1.1	Proporción de biomasa viva por debajo de la cual el animal no puede seleccionar vivo en el pastoreo de esa comunidad vegetal	e		ZA4_Especies.txt
Sh0	3.1.2	Proporción de hoja muriéndose diariamente a FH=0	f		ZB3_ComFisio.txt
Sh1	3.1.2	Proporción de hoja muriéndose diariamente a FH de senescencia mínima (Fhs)	f		ZB3_ComFisio.txt
St0	3.1.2	Proporción de hoja muriéndose cuando t<=t0 (máxima senescencia)	f		ZB3_ComFisio.txt
St1	3.1.2	Proporción de hoja muriéndose cuando t>=St1 (mínima senescencia)	f		ZB3_ComFisio.txt
t0	3.1.2	Temperatura extrema por debajo de la cual se produce máxima senescencia:St0	f	°C	ZB3_ComFisio.txt
t1	3.1.2	Temperatura por encima de la cual se produce mínima senescencia: St1	f	°C	ZB3_ComFisio.txt
Tmax	3.1.1.1	Temperatura por encima de la cual la comunidad vegetal deja de crecer por calor	f	°C	ZB3_ComFisio.txt
Tmin	3.1.1.1	Temperatura por debajo de la cual la comunidad vegetal deja de crecer por frío	f	°C	ZB3_ComFisio.txt
Tndescd	3.1.5	Tasa máxima de paso de incorporación a la MO-N orgánico activo del desfronde de la parte aérea (d ⁻¹)	f	d ⁻¹	ZB3_ComFisio.txt
Tndescdl	3.1.5	Tasa máxima de paso de incorporación a la MO-N orgánico lento del desfronde de la parte aérea (d ⁻¹)	f	d ⁻¹	ZB3_ComFisio.txt
Tndescdr	3.1.5	Tasa máxima de paso de incorporación a la MO-N orgánico activo del desfronde de las raíces (d ⁻¹) (1,5xTndescd)	f	d ⁻¹	ZB3_ComFisio.txt
Tndescdrl	3.1.5	Tasa máxima de paso de incorporación a la MO-N orgánico lento del desfronde de las raíces (d ⁻¹) (1,5xTndescdl)	f	d ⁻¹	ZB3_ComFisio.txt
Tndesch	3.1.5	Tasa máxima de incorporación al suelo de N orgánico de las heces (d ⁻¹)	f	d ⁻¹	ZB3_ComFisio.txt
TNMinmx	3.1.7	Tasa de mineralización máxima del N orgánico activo	f	d ⁻¹	ZB3_ComFisio.txt
TNOrgmx	3.1.6	Tasa máxima de paso de MO-Norg lento a activo	f	d ⁻¹	ZB3_ComFisio.txt
Topt	3.1.1.1	Temperatura óptima de crecimiento de la comunidad vegetal	f	°C	ZB3_ComFisio.txt
X	3.1.1	Crecimiento potencial de la comunidad vegetal	f	gm ⁻² d ⁻¹	ZB3_ComFisio.txt

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN R.G., PEREIRA L.S., RAES D. Y SMITH M. (2006) *Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. Estudio FAO Riego y Drenaje n° 56. Roma, Italia.
- ALONSO F.J., COFIÑO A., DEL CORRAL D., FERNÁNDEZ J.M., FERRER F., FRANCÉS E., GUTIÉRREZ J.M. Y FELICÍSIMO A. (2007). Zonificación agro-ecológica de Cantabria: un estudio del potencial regional para el desarrollo de actividades agroganaderas. *Actas del IV Congreso Nacional y I Congreso Ibérico de Agroingeniería*.
- BUSQUÉ J. (2014). De la investigación a la práctica: herramientas para gestionar la ganadería de montaña y los pastos comunales de Cantabria dentro de la Política Agraria Común. *Pastos* 44(1), 6-42.
- CONRAD, O (2010). Módulo: *Potential Incoming Solar Radiation*. SAGA-GIS. System for Automated Geoscientific Analyses. www.saga-gis.org.
- COUGHENOUR M.B. (1993). *Savanna-Landscape and Regional Ecosystem Model. Model Description*. Colorado State University. Colorado. EEUU. 57p.
- DOWLE M., SHORT T., LIANOGLU S. Y SRINIVASAN A. (2014). *Package data.table*. <http://cran.r-project.org/web/packages/data.table/data.table.pdf>.
- DUNCAN P., FOOSE T.J., GORDON I.J., GAKAHU C.G. Y LLOYD M. (1990). Comparative nutrient extraction from forages by grazing bovines and equids: a test of the nutritional model of equid/bovine competition and coexistence. *Oecologia*, 84, 411-418.
- GUTIÉRREZ J.M., HERRERA S., SAN-MARTÍN D., SORDO C., RODRÍGUEZ J.J., FROCHOSO M., ANCELL R., FERNÁNDEZ J., COFIÑO A.S., PONS M.R. Y RODRÍGUEZ M.A. (2010). Escenarios regionales probabilísticos de cambio climático en Cantabria: termopluviometría. Gobierno de Cantabria – Universidad de Cantabria. Santander, 108p + mapas. <http://www.meteo.unican.es/projects/escenariosCantabria>
- MHNN-EEA. MUSÉUM NATIONAL D'HISTOIRE NATURELLE – EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (2014). *Terrestrial habitat mapping in Europe: an overview*. EEA Technical Report 1/2014. 152p.
- McDONALD P., EDWARDS R.A., GREENJALGH J.F.D. Y MORGAN C.A. (1995). *Nutrición animal*. Zaragoza. Editorial Acribia.
- MORA M.J., BUSQUÉ J. Y FRUTOS P. (2010), *Invasión de pastos de montaña por lecherina (Euphorbia polygalifolia): estudios dirigidos al desarrollo de un sistema de control biológico basado en el pastoreo*. CIFA - Gobierno de Cantabria. 223p.
- MOROS R. Y BUSQUÉ J. (2013). Generación automática de estadísticas zootécnicas bovinas a escala municipal a partir de bases de datos oficiales. En: *XV Jornadas sobre Producción Animal*. AIDA 42(1), 55-57.
- MOROS R. Y BUSQUÉ J. (2014). Tipificación de la ganadería bovina de carne de Cantabria a escala municipal. En: Busqué J. et al. (eds) *Pastos y PAC 2014-2020*. pp. 491-498. Potes, Cantabria. Sociedad Española para el Estudio de los Pastos.
- OSORO K., MARTÍNEZ A. Y CASTRO P. (2003). *Desarrollo de Sistemas Eficientes de Producción de Carne de Calidad en Zonas Bajas*. Oviedo. KRK Ediciones.
- R CORE TEAM (2014). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. <http://www.R-project.org/>.
- SANCHO J.M., RIESCO J., JIMÉNEZ C., SÁNCHEZ M.C., MONTERO J. Y LÓPEZ M. (2012) *Atlas de radiación solar en España utilizando datos del SAF de Clima de EUMETSAT*. Agencia Estatal de Meteorología.
- TAPPEINER U. Y CERNUSCA A. (1998). Model simulation of spatial distribution of photosynthesis in structurally differing plant communities in the Central Caucasus. *Ecological Modelling* 113, 201-223.

2

ARTÍCULOS CIENTÍFICOS



EFECTO A LARGO PLAZO DE LA RAZA DE VACA Y DE LA ESTRATEGIA DE ALIMENTACIÓN SOBRE LA PRODUCCIÓN Y COMPOSICIÓN DE LA LECHE, EL PESO VIVO Y LA CONDICIÓN CORPORAL DEL GANADO VACUNO LECHERO EN EL SISTEMA DE PASTOREO ROTACIONAL SIMPLIFICADO

A.I. ROCA-FERNÁNDEZ^{*,1,2}, L. DELABY², A. GONZÁLEZ-RODRÍGUEZ¹, M^a.E. LÓPEZ-MOSQUERA³, S. LEURENT⁴ E Y. GALLARD⁴

¹ Departamento de Producción Animal. Centro de Investigaciones Agrarias de Mabegondo. INGACAL. Xunta de Galicia. 15080 La Coruña (España).

² Équipe Systlait. INRA – Agrocampus Ouest. UMR 1348. 35590 Saint Gilles-Rennes (Francia).

³ Departamento de Producción Vegetal. Escuela Politécnica Superior. Universidad de Santiago de Compostela. 27002 Lugo (España).

⁴ Domaine Expérimental Animal du Pin au Haras. INRA – Agrocampus Ouest. 61310 Borculo-Exmes (Francia).

* anairf@ciam.es

LONG TERM EFFECT OF COW BREED AND FEEDING STRATEGY ON MILK PRODUCTION AND COMPOSITION, BODY WEIGHT AND BODY CONDITION SCORE OF DAIRY CATTLE UNDER THE SIMPLIFIED ROTATIONAL GRAZING SYSTEM

Historial del artículo:

Recibido: 03/01/2014

Revisado: 27/03/2014

Aceptado: 05/03/2015

Disponible online: 13/04/2015

Autor para correspondencia:

anairf@ciam.es

ISSN: 2340-1672

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

Palabras clave:

Alimentación animal, pasto, raza, suplementación, vaca lechera.

RESUMEN

Para mejorar la eficiencia productiva del ganado vacuno lechero se debe adecuar la alimentación al animal. Se estudió el efecto de la raza de vaca, Holstein-Friesian (HF, n=36) vs. Normanda (N, n=36), y de la estrategia de alimentación, altos (a, n=36) vs. bajos (b, n=36) insumos, sobre la producción y composición de la leche, el peso vivo y la condición corporal del vacuno lechero durante cinco años. Se aplicó un diseño factorial 2x2 a 4 grupos (n=72) de vacas (HF_a, HF_b, N_a y N_b) siguiendo el sistema de pastoreo rotacional simplificado. El máximo de producción (PL) (p<0,001; HF: 25,0 vs. N: 21,0 kg/vaca) y la caída (CL) de leche (p<0,001; HF: -6,4 vs. N: -4,9 kg/vaca) en cada ciclo de pastoreo fueron superiores en las Holstein-Friesian que en las Normandas. Los animales alimentados con altos insumos mostraron un PL mayor (p<0,001; a: 24,9 vs. b: 21,1 kg/vaca) y una CL menor (p<0,001; a: -5,3 vs. b: -6,1 kg/vaca) que los con bajos insumos. Las vacas Holstein-Friesian presentaron una producción de leche superior (p<0,001; HF: 7591 vs. N: 6214 kg/vaca/año) y unos contenidos de proteína (p<0,001; HF: 31,0 vs. N: 33,7 g/kg) y grasa (p<0,001; HF: 37,7 vs. N: 39,9 g/kg) en leche inferiores a las Normandas. El descenso de peso vivo y la pérdida de condición corporal después del parto fueron más marcados en las Holstein-Friesian. Los animales alimentados con altos insumos mostraron una producción de leche superior (p<0,001; a: 7567 vs. b: 6238 kg/vaca/año) y unos contenidos de proteína (p<0,001; a: 33,1 vs. b: 31,6 g/kg) y grasa (p<0,001; a: 39,0 vs. b: 38,6 g/kg) en leche superiores a los con bajos insumos. El descenso de peso vivo y la pérdida de condición corporal después del parto fueron más marcados en los animales alimentados con bajos insumos. En conclusión, las vacas Holstein-Friesian resultaron más susceptibles que las Normandas a cambios en la ingestión de alimentos, sobre todo cuando se les suministró bajos insumos.

Keywords:

Animal nutrition, pasture, cow breed, supplementation, dairy cattle.

ABSTRACT

To improve production efficiency of dairy cattle is necessary to adjust the feeding strategy to the animal. The effect of dairy cow breed, Holstein-Friesian (HF, n=36) vs. Normande (N, n=36), and the feeding strategy, high (a, n=36) vs. low (b, n=36) inputs, was studied on milk production and composition, body weight and body condition score of dairy cattle during five years. It was applied a 2x2 factorial design to 4 groups (n=72) of dairy cows (HF_a, HF_b, N_a and N_b) under the simplified rotational grazing system. The maximum of milk production (PL) (p<0.001; HF: 25.0 vs. N: 21.0 kg/cow) and the drop of milk (CL) (p<0.001; HF: -6.4 vs. N: -4.9 kg/cow) for each grazing cycle were higher in the Holstein-Friesian than in the Normande cows. The animals fed the high inputs strategy showed higher PL (p<0.001; a: 24.9 vs. b: 21.1 kg/cow) and lower CL (p<0.001; a: -5.3 vs. b: -6.1 kg/cow) than those fed the low inputs strategy. The Holstein-Friesian cows showed higher milk production (p<0.001; HF: 7591 vs. N: 6214 kg/cow/year) and lower milk protein (p<0.001; HF: 31.0 vs. N: 33.7 g/kg) and fat content (p<0.001; HF: 37.7 vs. N: 39.9 g/kg) than the Normande cows. The drop of body weight and the loss of body condition score after calving were more marked in the Holstein-Friesian cows. The animals fed the high inputs strategy showed higher milk production (p<0.001; a: 7567 vs. b: 6238 kg/cow/year) and higher milk protein (p<0.001; a: 33.1 vs. b: 31.6 g/kg) and fat content (p<0.001; a: 39.0 vs. b: 38.6 g/kg) than those fed the low inputs strategy. The drop of body weight and the loss of body condition score after calving were more marked in the animals fed the low inputs strategy. In conclusion, the Holstein-Friesian cows were more susceptible than the Normande cows to changes in food intake, mainly when low-inputs were supplied.

INTRODUCCIÓN

En el oeste de Francia, el sistema de producción de leche predominante en las zonas de llanura y especialmente en las regiones del Arco Atlántico (p. e. Normandía) está basado en la alimentación del ganado vacuno lechero con hierba verde (en pastoreo) de primavera a otoño y forrajes conservados (silo de hierba, silo de maíz y heno) en invierno (Le Gall *et al.*, 1997). La proporción de hierba verde y de forrajes conservados que forma parte del presupuesto forrajero anual varía mucho en función de las explotaciones, y depende fundamentalmente de las condiciones climáticas locales y de la superficie total de praderas disponible en cada explotación. Sin embargo, y a pesar de imperar un sistema de producción de leche basado en un aprovechamiento de los pastos de primavera a otoño, los ganaderos que habitan en Normandía eligen diferentes estrategias de alimentación (bajos vs. altos insumos) en las que varían la cantidad total de concentrado (bajas vs. altas dosis) que les ofrecen a sus animales durante la lactación y el tipo de forrajes conservados utilizados en invierno (silo de hierba vs. silo de maíz y heno). Además de esta diversidad de estrategias de alimentación, emplean diferentes razas de vacas lecheras (Holstein-Friesian vs. Normandas), con distinto potencial productivo lo que hace que los requerimientos nutritivos de los animales varíen.

En el contexto actual de necesidad de reducción de los costes de producción, y especialmente de los ligados a la alimentación animal, el empleo de diferentes estrategias de alimentación conlleva una gran diversidad de sistemas de producción de leche, cuyos efectos sobre la producción, sanidad y reproducción de los animales deben ser cuantificados sobre lactaciones completas para poder establecer sus consecuencias a largo plazo. Trabajos realizados por Veerkamp *et al.* (1995) y Dillon *et al.* (2006) ponen de manifiesto la necesidad de establecer la capacidad de adaptación del ganado vacuno lechero a diferentes niveles de suministro de alimentos, teniendo en cuenta el empleo de diferentes estrategias de alimentación, y la respuesta de los animales en lactaciones sucesivas. Además, resulta necesario conocer las posibles interacciones que existen entre el potencial genético de los animales y la estrategia de alimentación empleada. De hecho, la selección actual de animales con alto potencial genético para la producción de leche ha supuesto un incremento en la respuesta productiva de los animales a la suplementación en la mayor parte de los sistemas de producción (Mayne y Gordon, 1995). Sin embargo, el éxito logrado con esta selección genética en la que prima el carácter productivo del animal, principalmente con el empleo de vacas de raza Holstein-Friesian, ha provocado un aumento en la incidencia de problemas de índole nutricional y metabólico al inicio de la lactación. Aún es más, esta excesiva selección genética de los animales ha incrementado los requerimientos nutritivos de las vacas con alto potencial genético a lo largo de la lactación y ha resultado en una clara tendencia a un deterioro de otros caracteres como la capacidad reproductiva de los

animales (Barbat *et al.*, 2005; Mackey *et al.*, 2007). En contraste, el empleo de vacas de raza Normanda, seleccionadas atendiendo a múltiples criterios y consideradas como animales de doble propósito (aptos para la producción de leche y de carne), a pesar de presentar un menor potencial de producción de leche que las vacas de raza Holstein-Friesian, ha propiciado el que se preserven otras características zootécnicas (contenidos de proteína y grasa en leche y potencial reproductivo). De manera que las vacas de raza Normanda podrían desarrollar una gran capacidad de adaptación a diferentes sistemas de producción en los cuales se apliquen distintas estrategias de manejo de la alimentación, lo cual podría llegar a ser económicamente ventajoso para los sistemas con bajos insumos en pastoreo con partos agrupados en invierno, al presentar las vacas Normandas menores problemas reproductivos y poseer superior longevidad e inferiores tasas de reposición que las vacas Holstein-Friesian (Dillon *et al.*, 2003; McCarthy *et al.*, 2007; Walsh *et al.*, 2008).

En el estudio que se detalla a continuación se evalúa el efecto a largo plazo de la raza de vaca lechera (Holstein-Friesian vs. Normanda) y de la estrategia de alimentación (bajos vs. altos insumos) sobre la producción y calidad de la leche, el peso vivo y la condición corporal del ganado vacuno lechero bajo un sistema de pastoreo rotacional simplificado. Se comparan dos estrategias de alimentación durante 5 años: (1) responde a un sistema extensivo, con bajos insumos, utilizando la hierba verde durante la estación de pastoreo y un aporte mínimo de mineral, de primavera a otoño, y el silo de hierba para la suplementación en establo con dosis mínimas de concentrado en invierno y (2) propia de un sistema semi-intensivo, con altos insumos, utilizando concentrado durante la estación de pastoreo, de primavera a otoño, y en el invierno se combina el suministro de dosis altas de concentrado en establo con el empleo de silo de maíz y de heno.

MATERIAL Y MÉTODOS

Descripción del área de estudio

El ensayo se llevó a cabo durante los años 2001 y 2005 en la estación del INRA "Pin au Haras", en Baja Normandía (48° 44' 0" Norte, 0° 90' 0" Este). El área de estudio se encuentra englobada dentro de las principales regiones productoras de leche francesas, clasificada según Pflimlin (2008) como zona de producción herbácea, en la que priman las praderas permanentes que se aprovechan mayoritariamente para pastoreo y silo de hierba o heno, y grandes superficies de terreno dedicadas al cultivo de maíz forrajero que se suministra como silo de maíz. Los suelos son de textura limo-arcillosa (25% arcilla y 50% limo), poseen pH neutro (que varía entre 6,5 y 7,1), se encuentran bien drenados (con poco riesgo de déficit hídrico estival), y presentan alto contenido en materia orgánica (6,9% en las praderas permanentes y 5,2% en las temporales).



© Ana Isabel Roca Fernández

Ganado vacuno lechero (n=72), de raza Holstein-Friesian (HF, n=36) y Normanda (N, n=36), sometido a dos estrategias de alimentación, altos (a, n=36) vs. bajos (b, n=36) insumos, a lo largo de cinco años en estudio efectuados en la estación experimental del INRA situada en Normandía (Francia).

El clima templado oceánico de Normandía resulta favorable para el crecimiento del pasto durante la mayor parte del año (Pflimlin *et al.*, 2005). El pastoreo se realiza de primavera a otoño, con una parada de crecimiento de la hierba en invierno (durante la cual se estabulan a los animales). La temperatura media en 2001-05 (10,7°C) fue ligeramente superior a la observada en los 40 años precedentes (9,5°C), con valores máximos en verano y mínimos en invierno (Tabla 1). La precipitación media anual acumulada entre los años 2001 y 2005 (741 mm) fue ligeramente superior a la observada en los 40 años precedentes (718 mm), con valores máximos en otoño y mínimos en verano. Julio y agosto fueron meses muy lluviosos en los 5 años en estudio.

Diseño experimental y tratamientos

Para la realización de este ensayo se seleccionaron en el mes de noviembre previo a cada año en estudio un total de 72 vacas lecheras al final de su gestación, pertenecientes a dos razas, Holstein-Friesian (HF, n=36) y Normanda (N, n=36), de la cabaña experimental del INRA "Pin au Haras", y se distribuyeron al azar asignándolas a dos estrategias de alimentación, altos (a, n=36) vs. bajos (b, n=36) insumos, siguiendo un diseño factorial 2x2 con 4 tratamientos (HF_a, HF_b, N_a y N_b) en estudio.

Se compararon dos estrategias de alimentación: (1) responde a un sistema extensivo, con bajos insumos, utilizando hierba

Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Temperatura (°C)												
2001-2005	4,6	4,7	7,5	9,1	12,6	16,5	17,5	18,1	14,3	11,8	7,1	4,0
1961-2000	3,0	3,4	5,9	7,9	11,4	14,5	16,5	16,3	14,0	10,5	6,1	4,0
Precipitación (mm)												
2001-2005	69,7	39,2	63,1	57,0	75,8	34,2	70,5	60,2	52,3	79,6	74,5	65,1
1961-2000	64,3	55,2	52,6	55,0	62,7	52,5	53,3	45,4	63,2	68,1	74,9	70,8

TABLA 1. Temperatura (°C) y precipitación (mm) media mensual durante el período experimental 2001-2005 y los 40 años precedentes (1961-2000).

TABLE 1. Monthly average temperature (°C) and rainfall (mm) during the experimental period 2001-2005 and the 40 preceding years (1961-2000).

verde y 0,6 kg MS/vaca/día de un aporte mineral durante la estación de pastoreo, de primavera a otoño, y una ración mixta total (TMR) compuesta por 45% del primer corte de silo de hierba, 40% del segundo corte de silo de hierba y 15% de concentrado para la suplementación en establo durante el invierno y (2) propia de un sistema semi-intensivo, con altos insumos, suplementando a los animales alimentados en pastoreo con 3,4 kg MS/vaca/día de concentrado, de primavera a otoño, y alimentando en establo con un TMR con 65% de silo de maíz, 5% de heno y 30% de concentrado en el invierno. Para paliar la escasez de hierba verde durante la fase de pastoreo se recurrió a la suplementación con silo de hierba en las estrategias con bajos y altos insumos (1,8 y 1,9 kg MS/vaca/día, respectivamente).

Razas de vacas lecheras en estudio y manejo del rebaño

En total, se analizaron 352 lactaciones completas durante los 5 años de ensayo de las 360 vacas lecheras en estudio (dado que 8 vacas tuvieron que ser descartadas por problemas de diversa índole lo que les impidió completar la lactación completa prevista). Se consideraron los datos de producción y calidad de leche, peso vivo y condición corporal de 178 vacas lecheras de raza Holstein-Friesian (HF, 48% primíparas y 52% múltiparas) y de 174 vacas de raza Normanda (N, 36% primíparas y 64% múltiparas). La asignación de los animales a cada una de las dos estrategias de alimentación en estudio se realizó al azar teniendo en cuenta los datos registrados durante el período pre-experimental de 3 semanas al que se vieron sometidos las dos razas de vacas (los datos aparecen expresados como media±error estándar): estado (HF: 59±27,5 vs. N: 67±24,8 días en ordeño, respectivamente) y número de lactación (HF: 2,1±1,55 vs. N: 2,3±1,49, respectivamente), producción de leche (HF: 25,7±2,43 vs. N: 21,0±1,17 kg/vaca/día, respectivamente), contenidos de proteína (HF: 30,8±0,45 vs. N: 33,2±0,40 g/kg, respectivamente) y grasa en leche (HF: 37,8±1,15 vs. N: 39,8±0,49 g/kg, respectivamente), peso vivo (HF: 664±66,3 vs. N: 705±74,0 kg, respectivamente) y condición corporal (HF: 3,1±0,66 vs. N: 3,3±0,67, respectivamente) de los animales.

El período de inseminación de los animales se llevó a cabo entre el 1 de marzo y el 15 de junio en los diferentes años en estudio, para obtener partos agrupados durante 3,5 meses en el invierno (entre el 1 de diciembre y el 15 de marzo). La primera inseminación artificial se realizó tras sincronización del celo (Implant Crestar[®]; Intervet, Beaucouzé, France) y detección del mismo en las novillas a los 20-22 meses de edad y en las vacas después de transcurridos 50 días del parto. Para la detección del celo, se efectuó observación visual de los animales por observadores experimentados al menos 5 veces al día (06h20, 10h00, 13h30, 15h50 y 21h00) durante

15 min siguiendo lo propuesto por Kerbrat y Disenhaus (2004). A partir del día 35 post-inseminación, se efectuó un diagnóstico de gestación por ecografía. Si la vaca resultó gestante, una segunda ecografía de confirmación se realizó a los 60 días de gestación. Las vacas no gestantes tras efectuada la primera inseminación artificial se las sometió a diferentes intervenciones en función del estado del ovario y de la presencia o no de cuerpo lúteo. El porcentaje total de vacas gestantes no difirió ($p>0,05$) entre las dos estrategias de alimentación (altos, 78% vs. bajos insumos, 81%). El porcentaje de preñez fue superior ($p<0,05$) en las vacas de raza Normanda (85%) que en las Holstein-Friesian (74%). El período de secado (de noviembre a diciembre) se indujo en aquellos animales que mostraron unos niveles productivos inferiores a 5 kg de leche/día durante una semana. Por norma general, el secado se efectuó a las 44 semanas del inicio de la lactación en las vacas no gestantes y unos 60 días antes del próximo parto en las vacas gestantes.

Estrategias de alimentación en ensayo y manejo del pasto

En invierno (de enero a marzo), los animales de cada raza fueron divididos y asignados a una de las dos estrategias de alimentación y recibieron la ración experimental en establo unas 2 a 3 semanas antes del parto. Para permitirles a los animales expresar al máximo su potencial productivo, las raciones se suministraron *ad libitum* (permitiendo hasta un 10% de rechazos) todas las mañanas bajo la forma de TMR usando un carro mezclador (RMH Lachish Industries Ltd, Tinténiac, France). Se pesaron diariamente las cantidades de forraje y de concentrado ofrecidas y los rechazos por animal para obtener las cantidades consumidas. Como el TMR se encontraba bien mezclado, los animales no fueron capaces de seleccionar los diferentes componentes de la ración, por lo que se considera que los rechazos tenían la misma composición que lo que se ofreció. Se les suministró en total 13,9±1,36 kg MS/vaca/día de forrajes conservados y 2,4±0,34 kg MS/vaca/día de concentrado a los grupos alimentados con la estrategia de bajos insumos (HF_b y N_b) y 14,4±1,48 kg MS/vaca/día de forrajes conservados y 6,0±0,86 kg MS/vaca/día de concentrado a los grupos alimentados con la estrategia de altos insumos (HF_a y N_a). Se estableció una diferencia de 4,1 kg MS/vaca/día en el consumo diario total entre las dos estrategias de alimentación.

Durante la estación de pastoreo (de abril a octubre), las cantidades de concentrado y de minerales consumidas por cada animal del total ofertado, fueron registradas diariamente de forma individual en comederos automáticos. De manera general, a los 4 grupos de vacas se les ofertó 2000±50,0 kg MS/ha de pasto a 5 cm, estimándose un consumo de pasto de 15,1±1,31 kg MS/vaca/día. Siendo, el consumo de forrajes conservados y de aporte mineral en los grupos alimentados

con la estrategia de bajos insumos de $1,8 \pm 0,36$ y $0,6 \pm 0,23$ kg MS/vaca/día, respectivamente mientras que los animales alimentados con la estrategia de altos insumos consumieron $1,9 \pm 0,40$ y $3,4 \pm 0,87$ kg MS/vaca/día de forrajes conservados y de concentrado, respectivamente. Se estableció una diferencia de 3,0 kg MS/vaca/día en el consumo diario total entre las dos estrategias de alimentación.

Las dos razas de vacas lecheras pastaron de forma conjunta entre los años 2001 y 2005 varias parcelas independientes de grandes dimensiones, divididas en 3 bloques de praderas permanentes (13,8 ha en total) de raigrás inglés (*Lolium perenne* L.) y 4 bloques de praderas sembradas (19,6 ha en total) con raigrás inglés y trébol blanco (*Trifolium repens* L.), utilizando una variante del sistema de pastoreo *full graze*, denominada pastoreo rotacional simplificado (Hoden *et al.*, 1991). De media, los animales pastaron cada año entre 3 y 4 parcelas de grandes dimensiones (2,3 ha) en la primavera y de 5 a 7 parcelas en el otoño. La carga ganadera media adoptada fue de 4 unidades de ganado mayor (UGM) por hectárea (ha) en la primavera y 2 UGM/ha en el otoño. La longitud de la rotación varió para permitir un aprovechamiento más eficiente del pasto, siendo ésta de 28-30 días en la primavera y de 40-45 días en el otoño, cuando la calidad del pasto resultó inferior. El tiempo medio de residencia del ganado en cada parcela varió con el período de pastoreo, en la primavera los animales permanecieron de 10-12 días y en el otoño de 5-7 días. Las praderas permanentes se fertilizaron con 250 y 180 kg de N/ha/año en varias aplicaciones (5-4) de 60-50-50-50-40 y 60-40-40-40 kg de N/ha en función de la estrategia de alimentación y del grupo de animales en pastoreo. Las praderas sembradas recibieron solamente 60 kg de N/ha al inicio de abril.

Toma de muestras, medidas del pasto y análisis de alimentos

En invierno la determinación del contenido en materia seca (MS) del silo y del heno se efectuó tres veces por semana y la del concentrado una vez por semana, en estufa a 80°C durante 48 h. Se aplicaron los factores de corrección de 1,07 y 1,05 a los cálculos del contenido en MS de los silos de hierba y de maíz para tener en cuenta las pérdidas de ácidos grasos volátiles durante el secado de las muestras (Dulphy y Demarquilly, 1981). Una muestra individual de cada alimento fue también recogida una vez por semana para análisis de su composición química y valor nutritivo (Tabla 2).

Durante la primavera-otoño la alimentación invernal fue sustituida por otra en pastoreo. Este cambio se llevó a cabo de forma progresiva durante 2 a 3 semanas de transición. Tres días antes de la entrada de los animales en cada parcela se realizó una estima de la cantidad de pasto en oferta seleccionándose al azar cuatro bandas de hierba por tratamiento (10 m largo \times 1 m ancho). En ellas, se efectuaron 10 medidas de altura de la hierba pre- y post-corte, con un herbómetro electrónico (Urban y Caudal, 1990), y se recolectó en cada banda toda la hierba cortada (> 5 cm), con una máquina segadora Agría (Etesia UK Ltd., Warwick, UK), y parte de la restante (< 5 cm), cortada con unas tijeras a ras del suelo, utilizando un marco rectangular (0,5 m largo \times 0,2 m ancho). A continuación, las muestras de pasto recolectadas se pesaron en una balanza electrónica y dos sub-muestras, una con 300 g de pasto (> 5 cm) y la otra con el pasto restante (< 5 cm), se secaron a 80°C en una estufa durante 48 h para la determinación del contenido en MS del pasto. Dicho contenido se multiplicó por la cantidad total de hierba recolectada obteniéndose una estima de

Estrategias de alimentación durante la fase de estabulación (enero a marzo)¹

Item ²	Bajos insumos			Altos insumos		
	Silo de hierba ³	Balas silo de hierba ⁴	Concentrado ⁵	Silo de maíz ⁶	Heno ⁷	Concentrado ⁸
MS (g/kg de fresco)	232 \pm 38,0	643 \pm 81,0	884 \pm 9,0	311 \pm 20,0	818 \pm 20,0	884 \pm 6,0
MO (g/kg MS)	907 \pm 12,2	899 \pm 9,1	879 \pm 28,7	961 \pm 3,8	908 \pm 10,0	901 \pm 13,8
PB (g/kg MS)	132 \pm 15,8	140 \pm 13,4	249 \pm 10,6	65 \pm 4,0	125 \pm 31,7	324 \pm 5,2
Almidón (g/kg MS)	-	-	275 \pm 16,9	331 \pm 47,6	-	207 \pm 19,5
FND (g/kg MS)	486 \pm 62,2	537 \pm 42,4	187 \pm 18,9	423 \pm 39,4	581 \pm 40,3	172 \pm 19,0
FAD (g/kg MS)	282 \pm 26,1	292 \pm 21,6	77 \pm 7,8	222 \pm 21,6	297 \pm 28,6	81 \pm 5,7
Ca (g/kg MS)	5,9 \pm 0,70	6,2 \pm 0,80	26,4 \pm 5,00	1,7 \pm 0,50	6,4 \pm 2,30	16,6 \pm 2,30
P (g/kg MS)	3,0 \pm 0,30	3,5 \pm 0,20	11,1 \pm 2,10	1,9 \pm 0,50	3,0 \pm 0,70	8,3 \pm 0,50
UFL (g/kg MS)	0,93 \pm 0,060	0,86 \pm 0,030	1,03 \pm 0,040	0,92 \pm 0,030	0,77 \pm 0,050	1,08 \pm 0,020
PDIE (g/kg MS)	67 \pm 7,0	92 \pm 2,0	179 \pm 8,0	66 \pm 2,0	84 \pm 9,0	185 \pm 9,0
PDIN (g/kg MS)	74 \pm 9,0	87 \pm 8,0	185 \pm 9,0	40 \pm 2,0	79 \pm 20,0	229 \pm 5,0

¹Estrategia con bajos insumos (% MS)= TMR compuesta por 45% del primer corte de silo de hierba, 40% del segundo corte de silo de hierba y 15% de concentrado; Estrategia con altos insumos (% MS)= TMR compuesta por 65% silo de maíz, 5% heno y 30% concentrado ²MS= Materia Seca; MO= Materia Orgánica; PB= Proteína Bruta; FND= Fibra Neutra Detergente; FAD= Fibra Ácido Detergente; UFL= Energía alimentaria del forraje equivalente a 1,700 kcal de energía neta para lactación; PDIE y PDIN= Proteína Digestible en el Intestino de acuerdo con el suministro de energía (E) o de nitrógeno (N). ³Composición botánica del silo de hierba: 70% raigrás inglés (*Lolium perenne* L.) + 30% trébol blanco (*Trifolium repens* L.); pH= 4,0; N-NH₃ (% N total)= 10,2; N soluble (% N total)= 56,7; ácido láctico (g/kg MS)= 97,8; ácidos grasos volátiles (g/kg MS)= 11,6; alcoholes (g/kg MS)= 9,8. ⁴Composición botánica de las balas de silo de hierba: 70% raigrás inglés (*Lolium perenne* L.) + 30% trébol blanco (*Trifolium repens* L.). ⁵Ingredientes del concentrado (% MS)= trigo 12,6; maíz 12,5; cebada 12,5; pulpa de remolacha 12,9; harina de soja protegida 36,6; melazas 1,7; aceite de soja 1,1; minerales 10,6. ⁶pH= 3,9; N-NH₃ (% N total)= 8,4; N soluble (% N total)= 55,7; ácido láctico (g/kg MS)= 66,2; ácidos grasos volátiles (g/kg MS)= 21,8; alcoholes (g/kg MS)= 8,0. ⁷Composición botánica del heno: 100% raigrás inglés (*Lolium perenne* L.). ⁸Ingredientes del concentrado (% MS)= trigo 8,4; maíz 8,3; cebada 9,3; pulpa de remolacha 9,6; harina de soja protegida 54,4; melazas 1,7; aceite de soja 1,1; minerales 7,2.

TABLA 2. Composición química y valor nutritivo del silo de hierba y de maíz, del heno y del concentrado (media \pm error estándar) usado en las dos estrategias de alimentación durante la fase de estabulación. Datos de los cinco años del experimento.

TABLE 2. Chemical composition and nutritive value of grass and maize silage, hay and concentrate (mean \pm standard error) used in the two feeding strategies during the period of confinement. Data from the five years of the experiment.

la oferta de pasto tres días antes del pastoreo. La oferta real de pasto (kg MS/ha) se determinó el mismo día de entrada de los animales en cada parcela, multiplicando la diferencia entre la altura pre-corte de la hierba (cm) (corregida teniendo en cuenta el crecimiento de la hierba en los tres días anteriores al inicio del pastoreo y su crecimiento durante los días previos en los que parte de la parcela no estaba siendo pastada por los animales) y post-corte de la hierba (cm) por la densidad estimada de pasto (kg MS/ha/cm). Esta densidad se calculó dividiendo la oferta estimada de pasto por la diferencia entre la altura pre- y post-corte de la hierba medida los tres días previos al pastoreo. La diferencia entre la oferta real de pasto pre-pastoreo y el rechazo post-pastoreo en cada parcela es considerado como el consumo de pasto (kg MS/vaca/día). Las alturas de la hierba pre- y post-pastoreo (cm) se midieron con herbómetro electrónico los días previo y posterior a la entrada y salida de los animales en las parcelas, efectuando 30 medidas repartidas en las dos diagonales de cada parcela. Otra sub-muestra de pasto (> 5 cm) de 100 g se secó a 40°C durante 48 h para análisis de su composición química y valor nutritivo (Tabla 3).

La determinación de la composición química del pasto, silo, heno y concentrado se realizó en el Laboratorio de Calidad de Forrajes del INRA en St-Gilles. Tras molienda de las muestras a 0.8 mm se midió el contenido en materia orgánica (MO) por calcinación a 550°C durante 5 h en un analizador termogravimétrico (Leco, St. Joseph, MI, United States). El contenido en proteína bruta (PB), expresada como nitrógeno total x 6,25, se determinó por el método Dumas (AFNOR, 1997).

La determinación del contenido en almidón se llevó a cabo por el método polarimétrico Ewers (Directiva 199/79 CE). Los contenidos de calcio (Ca) y fósforo (P) se determinaron en el

Laboratorio de Análisis de Alimentos (LDA, 22440 Ploufragan, France) siguiendo los métodos propuestos por AFNOR (2007). El contenido en fibra ácido detergente (FAD) se determinó siguiendo el método descrito por AFNOR (2008) y el de fibra neutro detergente (FND) se determinó siguiendo el método descrito por AFNOR (2006) con tratamiento de la amilasa. La digestibilidad de la materia orgánica (DMO) se determinó en la hierba ofrecida en cada ciclo de pastoreo a cada grupo de vacas y fue calculada a partir de la digestibilidad de la pepsinacelulasa (INRA, 1989). El valor en unidades forrajeras leche (UFL) de cada uno de los alimentos integrantes de la ración y la digestibilidad de las proteínas en el intestino (g PDI/kg MS) se calcularon usando las ecuaciones predictivas desarrolladas por el INRA (1989).

Pastoreo rotacional simplificado

Las variaciones de producción de leche observadas cuando se utiliza el sistema de pastoreo rotacional simplificado, con un "ciclo de pastoreo" por parcela de 2,3 ha de 8-10 días de duración e intervalos posteriores de crecimiento de la hierba de 20 días, muestran un patrón cíclico que se repite a lo largo de la curva de lactación de los animales, independientemente del nivel de suplementación utilizado (Figura 1). La producción de leche aumenta rápidamente en los 3 primeros días de residencia del ganado en la parcela, alcanzando su valor máximo (PL), para después mantenerse sin variaciones, entre los días 4-6, y disminuir posteriormente de forma casi lineal hasta el día 8-10, en el que se da por finalizado el ciclo de pastoreo. La caída de leche (CL) experimentada por los animales será más o menos pronunciada dependiendo del nivel de suplementación empleado y de la disponibilidad diaria de hierba.

Ítem ²	Estrategias de alimentación durante la fase de pastoreo (abril a octubre) ¹				
	Bajos insumos			Altos insumos	
	Hierba	Aporte mineral ³	Silo de hierba ⁴	Hierba	Concentrado ⁵
MS (g/kg de fresco)	230±73,0	928±14,0	303±44,5	228±72,0	884±5,0
MO (g/kg MS)	891±27,0	506±37,6	903±39,6	893±24,7	950±2,5
PB (g/kg MS)	183±33,3	111±3,3	120±10,4	183±32,0	159±7,4
Almidón (g/kg MS)	-	-	-	-	447±20,0
FND (g/kg MS)	522±727,2	151±13,4	515±14,8	524±29,0	227±8,5
FAD (g/kg MS)	265±22,8	66±10,1	303±8,7	267±24,3	82±9,3
Ca (g/kg MS)	7,0±1,90	103±17,3	6,5±0,69	6,7±1,90	5,0±0,90
P (g/kg MS)	3,6±0,50	56±2,3	3,5±0,14	3,6±0,60	3,1±0,90
DMO (%)	73,2±6,10	-	70,8±2,54	72,2±6,70	84,4±5,30
UFL (g/kg MS)	0,88±0,07	0,50±0,030	0,83±0,036	0,87±0,070	1,08±0,010
PDIE (g/kg MS)	94±8,0	75±3,0	64±3,1	94±8,0	134±5,0
PDIN (g/kg MS)	115±21,0	79±2,0	73±7,9	115±20,0	115±6,0

¹Estrategia con bajos insumos (kg MS/vaca/día)= hierba (15) + silo de hierba (2) + aporte mineral (0,5); Estrategia con altos insumos (kg MS/vaca/día)= hierba (15) + silo de hierba (2) + concentrado (4)
²Véase Tabla 2. ³Ingredientes del aporte mineral (% MS)= harina de linaza 21,2; salvado de trigo 19,3; melazas 9,9; sal 8,7; minerales 38,7 (Ca, 10; P, 12; Na, 4,69; Mg, 4; Cl, 7,96; K, 0,05); aceite de soja 2,2. ⁴Composición botánica del silo de hierba empleado en las dos estrategias de alimentación: 70% raigrás inglés (*Lolium perenne* L.) + 30% trébol blanco (*Trifolium repens* L.); pH= 4,7; N-NH₃ (% N total)= 9,0; N soluble (% N total)= 56,3; ácido láctico (g/kg MS)= 40,2; ácidos grasos volátiles (g/kg MS)= 44,2; alcoholes (g/kg MS)= 12,8. ⁵Ingredientes del concentrado (% MS)= trigo 20,8; maíz 20,7; cebada 20,8; pulpa de remolacha 21,4; harina de soja protegida 12,0; melazas 0,9; aceite de soja 2,3; sal 1,1.

TABLA 3. Composición química y valor nutritivo del pasto en oferta, del silo de hierba y del concentrado (media±error estándar) usado en las dos estrategias de alimentación durante la fase de pastoreo. Datos de los cinco años del experimento.

TABLE 3. Chemical composition and nutritive value of pasture on offer, grass silage and concentrate (mean±standard error) used in the two feeding strategies during the grazing period. Data from the five years of the experiment.

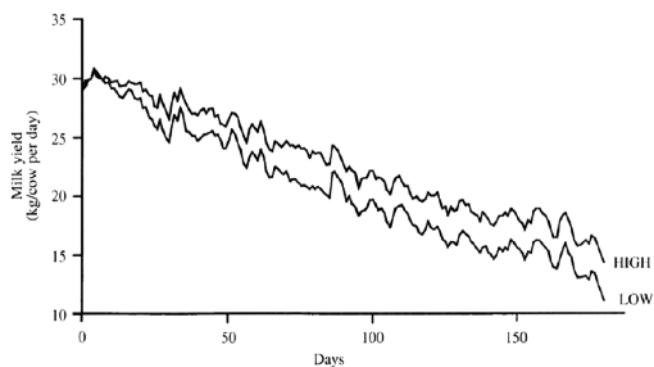


FIGURA 1. Evolución de la producción de leche del ganado vacuno, alimentado con baja vs. alta dosis de concentrado, en el sistema de pastoreo rotacional simplificado (Hoden *et al.*, 1991).

FIGURE 1. Evolution of milk production on dairy cattle, fed with low vs. high level of concentrate, under the simplified rotational grazing system (Hoden *et al.*, 1991).

El criterio que se toma para cambiar al ganado vacuno de parcela se basa en la observación de la producción lechera en los tres últimos días de residencia en dicha parcela, de manera que este valor ha de suponer entre el 85-90% del máximo alcanzado durante los tres días en los que la producción de leche resultó más elevada. El cambio de parcela se realizó en los 4 grupos de vacas al mismo tiempo de manera que se lograsen ingestiones de pasto similares en las dos estrategias de alimentación pero aplicando distintas ofertas de pasto, disponibilidades diarias de hierba y presiones de pastoreo. Los animales en la estrategia con bajos insumos fueron sometidos a una baja oferta de pasto, una baja disponibilidad diaria de hierba y una alta presión de pastoreo mientras que los animales en la estrategia con altos insumos fueron sometidos a una alta oferta de pasto, una alta disponibilidad diaria de hierba y una baja presión de pastoreo.

Toma de muestras y medidas en animales

La producción lechera individual de cada animal, en cada uno de los 4 grupos en ensayo (HF_b, HF_a, N_b y N_a) durante los 5 años en estudio, se registró diariamente de forma automática en los dos ordeños (06.30 h y 16.00 h) con un equipo Metatron 12 (Westfalia, Germany) trazándose la curva de producción de leche anual de cada animal. A continuación, y

para los diferentes años en estudio, se obtuvo una curva de lactación media para cada raza de vaca en función del nivel de suplementación utilizado.

Cada año y de las 4 curvas de lactación anual, se seleccionaron varias secuencias tipo (de 4 a 7) correspondientes a las curvas de producción de leche en cada uno de los ciclos de pastoreo efectuados. Se eligieron aquellas secuencias que mostraban de forma más representativa, el patrón de comportamiento cíclico de producción de leche descrito por Hoden *et al.* (1991) en función del número medio de días de residencia de las vacas en una parcela (de 8 a 10 días). En cada secuencia tipo seleccionada se determinó el PL y la CL experimentada por cada grupo de vacas en ensayo, desde el día en el que se alcanzó el PL al último día en que los animales dejaron de pastar una parcela determinada y fueron trasladados a otra parcela para iniciar un nuevo ciclo de pastoreo. De los 128 ciclos de pastoreo observados en las 352 curvas anuales de producción de leche obtenidas en los cinco años de estudio (Tabla 4), se seleccionaron 28 secuencias tipo analizándose en ellas los datos de PL y CL de 352 vacas lecheras de dos razas, Holstein-Friesian (HF, n=178) y Normandas (N, n=174), al aplicar dos estrategias de alimentación, bajos (b, n=174) y altos insumos (a, n=178).

Los contenidos de proteína y grasa en leche se midieron durante los 5 años en estudio en muestras individuales de leche, recogidas en cada animal durante 6 ordeños consecutivos efectuados en 3 días por semana (de martes a jueves). Estos contenidos fueron determinados en el Laboratorio LilaNo (50008 Saint Lô, France) utilizando un analizador automático (Milkoscan; Foss Electric, DK-3400 Hillerød, Denmark).

Se registró semanalmente el peso vivo de los animales mediante pesada en balanza electrónica y la condición corporal se registró mensualmente por dos observadores experimentados utilizándose una escala de 0 (extremadamente delgada) a 5 (extremadamente gorda) (Bazin *et al.*, 1984; Agabriel *et al.*, 1986).

Análisis estadístico

Para los resultados de consumo de alimentos, producción de leche y características de los animales se aplicó un análisis de

Año	Ciclos pastoreo	Secuencias seleccionadas	Nº vacas	Raza de vaca ¹		Estrategia de alimentación ²	
				HF	N	a	b
2001	27	5	68	35	33	34	34
2002	24	6	72	35	37	37	35
2003	26	5	68	36	32	35	33
2004	24	7	70	38	32	36	34
2005	27	5	74	34	40	36	38

¹HF, Holstein-Friesian vs. N, Normanda; ²a, altos vs. b, bajos insumos. Véanse Tablas 2 y 3.

TABLA 4. Distribución del número total de ciclos de pastoreo y animales estudiados por año.

TABLE 4. Distribution of total number of grazing cycles and animals studied per year.



© Ana Isabel Roca Fernández

Vacas lecheras de raza Holstein-Friesian y Normanda pastando de forma conjunta en parcelas independientes de grandes dimensiones (2,3 ha) siguiendo el modelo de pastoreo rotacional simplificado (con un ciclo de pastoreo por parcela de 10 días de duración e intervalos posteriores de crecimiento del pasto de 20 días).

la varianza siguiendo un modelo mixto mediante el PROC MIXED de SAS (2006). El modelo utilizado fue: $Y_{ijkl} = \mu + R_i + E_j + A_k + R_i \times E_j + e_{ijkl}$, en donde: Y_{ijkl} representa la variable en estudio; μ es la media; R_i es el efecto fijo de la raza de vaca ($i = 1$ a 2); E_j es el efecto fijo de la estrategia de alimentación ($j = 1$ a 2); A_k es el efecto aleatorio del año en estudio ($k = 1$ a 5); $R_i \times E_j$ es la interacción entre raza de vaca y estrategia de alimentación; e_{ijkl} es el error residual. Se consideró una covariable pre-experimental para cada variable en estudio (teniendo en cuenta los datos obtenidos en las 3 semanas previas al inicio del ensayo) cuando se realizó el análisis de los resultados de producción de leche y características de los animales con la finalidad de ajustar las diferencias que podrían existir durante el período pre-experimental. La covariable fue centrada (con una media de 0) en función de la raza de vaca y del número de lactación antes de su inclusión en el modelo. Se utilizó el Akaike information criterion para la elección del modelo estadístico que aúna mayor capacidad predictiva y sencillez para cada variable respuesta.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de nuestro estudio, llevado a cabo durante 5 años, en los que se evaluó el efecto de la raza de vaca lechera (Holstein-Friesian vs. Normanda) y de la estrategia de alimentación (bajos vs. altos insumos) sobre la lactación completa de 352 animales nos han permitido establecer la respuesta en términos de producción y composición química de la leche, peso vivo y condición corporal de los animales a largo plazo cuando se utiliza el sistema de pastoreo rotacional simplificado.

Consumo de forrajes y de concentrado

Efecto de la raza de vaca lechera

No se evaluó el efecto de la raza de vaca lechera sobre el consumo de forrajes y de concentrado dado que se estableció un consumo fijo para cada estrategia de alimentación,

independientemente de la raza de vaca lechera considerada, puesto que en una misma parcela durante la fase de pastoreo se encontraban pastando juntas vacas de diferente raza (pero diferentes parcelas eran pastadas por vacas con distinta estrategia de alimentación) y en establo las dos razas de vacas fueron alimentadas en comederos anexos realizándose la distinción en función de la estrategia de alimentación.

Efecto de la estrategia de alimentación

No se observaron diferencias ($p > 0,05$) entre las cantidades consumidas diariamente de forrajes conservados, tanto en invierno como en pastoreo de primavera a otoño, entre los dos estrategias de alimentación en estudio (Tabla 5). El consumo diario de concentrado fue superior ($p < 0,001$) en la estrategia con altos insumos que en aquella con bajos insumos, tanto durante la fase de alimentación en establo como en pastoreo.

La oferta de pasto ($p < 0,05$), la altura post-pastoreo ($p < 0,001$) y la disponibilidad diaria de hierba ($p < 0,05$) fueron superiores durante la estación de pastoreo en la estrategia de alimentación con altos insumos que en la estrategia con bajos insumos. Sin embargo, no se observaron diferencias ($p > 0,05$) en las alturas pre-pastoreo y en el consumo diario de pasto entre ambas estrategias de alimentación. El consumo diario total fue superior con altos que con bajos insumos.

El consumo total de forrajes conservados no mostró diferencias significativas ($p > 0,05$) entre las dos estrategias de alimentación cuando se consideraron de forma conjunta las dos fases de alimentación. No se observaron tampoco diferencias significativas en el consumo total de pasto. Sin embargo, el consumo total anual resultó superior ($p < 0,001$) en los animales alimentados con la estrategia con altos vs. bajos insumos debido a un consumo total de concentrado más elevado ($p < 0,001$).

Producción y calidad de leche, peso vivo y condición corporal de los animales

Efecto de la raza de vaca lechera

Durante la fase de alimentación invernal en establo (110 días), las vacas lecheras de raza Holstein-Friesian mostraron una producción diaria de leche y una producción de leche expresada al 4% en materia grasa superiores ($p < 0,001$) a las observadas en las vacas de raza Normanda (Tabla 6). El contenido de proteína en leche fue superior ($p < 0,001$) en las vacas Normandas que en las Holstein-Friesian. Las vacas de raza Normanda mostraron un peso vivo y una condición corporal al parto superiores ($p < 0,001$) a las Holstein-Friesian. La condición corporal de los animales en invierno fue superior ($p < 0,001$) en las vacas de raza Normanda que en las Holstein-Friesian.

Durante la fase de alimentación en pastoreo (210 días), las vacas de raza Holstein-Friesian mostraron una producción diaria de leche y una producción de leche expresada al 4% en materia grasa superiores ($p < 0,001$) a las observadas en las vacas Normandas. Los contenidos de proteína y grasa en leche fueron superiores ($p < 0,001$) en las vacas de raza Normanda que en las de raza Holstein-Friesian. Las vacas Normandas mostraron unos pesos vivos en primavera y en otoño superiores ($p < 0,001$) a los de las Holstein-Friesian. La condición corporal de los animales en primavera ($p < 0,05$) y en otoño ($p < 0,001$) fue superior en las vacas Normandas que en las Holstein-Friesian.

Durante la lactación completa de los animales (320 días), las vacas de raza Holstein-Friesian presentaron una producción total de leche (del orden de 22%) y una producción de leche expresada al 4% en materia grasa superiores ($p < 0,001$) a las observadas en las de raza Normanda. Ello concuerda con los trabajos de Dillon *et al.* (2003), en los que la producción de

Alimentación en establo (durante 110 días)	Estrategia con bajos insumos	Estrategia con altos insumos	Significación ¹
Consumo diario de forrajes conservados (kg MS/vaca/día)	13,9±1,36 ²	14,4±1,48	ns
Consumo diario de concentrado (kg MS/vaca/día)	2,4±0,34	6,0±0,86	***
Consumo diario total (kg MS/vaca/día)	16,3±1,20	20,4±1,73	***
Alimentación en pastoreo (durante 210 días)			
Oferta de pasto a 5 cm (kg MS/ha)	1914±14,2	2054±20,6	*
Altura pre-pastoreo (cm)	11,4±0,45	11,6±0,51	ns
Altura post-pastoreo (cm)	5,5±0,11	6,0±0,14	***
Disponibilidad diaria de hierba (kg MS/vaca/día)	16,8±0,39	17,7±0,43	*
Consumo diario de pasto (kg MS/vaca/día)	15,1±1,27	15,2±1,32	ns
Consumo diario de forrajes conservados (kg MS/vaca/día)	1,8±0,36	1,9±0,40	ns
Consumo diario de aporte mineral (kg MS/vaca/día)	0,6±0,23	-	-
Consumo diario de concentrado (kg MS/vaca/día)	-	3,4±0,87	-
Consumo diario total (kg MS/vaca/día)	17,5±1,53	20,5±1,91	***
Alimentación en establo + en pastoreo (durante 320 días)			
Consumo total de forrajes conservados (kg MS/vaca/año)	1907±80,5	1983±90,8	ns
Consumo total de pasto (kg MS/vaca/año)	3385±40,6	3359±35,2	ns
Consumo total de aporte mineral (kg MS/vaca/año)	126±48,3	-	-
Consumo total de concentrado (kg MS/vaca/año)	264±37,4	1374±277,3	***
Consumo total anual (kg MS/vaca/año)	5682±147,8	6716±230,4	***

¹Significación: (***, $p < 0,001$), (**, $p < 0,01$), (*, $p < 0,05$), (ns, No significativo); ²Media±Error estándar.

TABLA 5. Efecto de la estrategia de alimentación sobre el consumo de forrajes y concentrado.

TABLE 5. Effect of feeding strategy on forage and concentrate intake.

	Raza de vaca ¹		Estrategia de alimentación ²			Significación ³	
	Holstein-Friesian	Normanda	Bajos	Altos	R4	E	RxE
Alimentación en establo							
Producción leche (kg/vaca/día)	31,2±2,58 ⁴	25,0±1,67	26,0±1,73	30,2±2,24	***	***	**
Producción de leche 4% (kg)	30,8±2,70	24,5±2,25	24,9±2,30	30,4±2,60	***	***	**
Contenido de proteína (g/kg)	30,0±0,33	31,9±0,40	29,3±0,25	32,1±0,37	***	***	ns
Contenido de grasa (g/kg)	39,2±0,45	38,6±0,45	37,2±0,30	40,5±0,50	ns	***	ns
Peso vivo al parto (kg)	685±8,5	713±14,0	698±9,7	701±10,5	***	ns	ns
Peso vivo en invierno (kg)	655±19,0	701±22,3	654±18,0	702±22,7	***	***	*
Condición corporal al parto	3,10±0,05	3,35±0,12	3,20±0,07	3,25±0,10	***	ns	ns
Condición corporal en invierno	2,33±0,15	3,08±0,28	2,45±0,20	2,95±0,23	***	***	ns
Alimentación en pastoreo							
Producción leche (kg/vaca/día)	21,8±2,05	17,9±1,50	17,8±1,40	21,9±2,15	***	***	ns
Producción de leche 4% (kg)	20,5±1,35	18,0±0,80	17,4±0,60	21,1±1,60	***	***	ns
Contenido de proteína (g/kg)	31,5±0,30	34,5±0,45	32,5±0,30	33,5±0,40	***	***	ns
Contenido de grasa (g/kg)	36,4±0,26	40,6±0,45	38,9±0,38	38,1±0,30	***	***	ns
Peso vivo en primavera (kg)	612±10,0	654±22,0	617±11,5	650±17,3	***	***	ns
Peso vivo en otoño (kg)	659±13,0	695±19,2	652±11,3	702±16,4	***	***	ns
Condición corporal en primavera	2,13±0,20	2,98±0,28	2,30±0,21	2,80±0,23	***	*	ns
Condición corporal en otoño	2,18±0,20	2,83±0,32	2,15±0,18	2,85±0,35	***	***	ns
Duración de la lactación (días)	320±3,5	315±1,7	315±1,7	320±3,5	ns	ns	ns
Producción leche (kg/vaca/año)	7591±420,1	6214±273,5	6238±280,1	7567±403,7	***	***	ns
Producción de leche 4% (kg)	7293±563,2	6146±425,3	6026±407,5	7413±602,4	***	***	ns
Producción máx. leche (kg)	36,2±1,80	29,2±1,20	30,4±1,33	35,0±1,51	***	***	ns
Contenido de proteína (g/kg)	31,0±0,35	33,7±0,49	31,6±0,37	33,1±0,44	***	***	ns
Contenido de grasa (g/kg)	37,7±0,27	39,9±0,30	38,6±0,13	39,0±0,20	***	***	ns
Peso vivo a 44 semanas (kg)	667±6,8	707±10,0	663±5,9	711±10,3	***	***	*
Condición corporal a 44 semanas	2,20±0,18	2,83±0,37	2,18±0,16	2,85±0,39	***	***	ns

^{1,2}Véase Tabla 4. ³Véase Tabla 5. ⁴R, raza de vaca; E, estrategia de alimentación; RxE, raza x estrategia.

TABLA 6. Efecto de la raza de vaca y de la estrategia de alimentación sobre la producción y calidad de leche, el peso vivo y la condición corporal de los animales.

leche por lactación resultó superior (del orden de 24%) en las vacas Holstein-Friesian que en las Normandas. Los niveles productivos por lactación de ambas razas de vacas lecheras alimentadas con la estrategia de bajos insumos resultaron superiores en nuestro estudio (HF, 6835 y N, 5641 kg/vaca/año, respectivamente) a los obtenidos por Dillon *et al.* (2003) (HF, 5994 y N, 4561 kg/vaca/año, respectivamente). Ello se explicaría por el hecho de que los niveles de suplementación empleados en el estudio de Dillon *et al.* (2003) fueron más bajos que los utilizados en nuestro estudio. El pico máximo de producción de leche por lactación resultó más alto ($p < 0,001$) en las vacas Holstein-Friesian que en las Normandas, tanto en nuestro estudio como en el de Dillon *et al.* (2003). No observándose diferencias en la duración total de la lactación entre las dos razas de vacas en ninguno de los dos estudios. Los contenidos medios de proteína y grasa en leche por lactación fueron superiores ($p < 0,001$) en las vacas de raza Normanda que en las Holstein-Friesian al igual que sucedió en los resultados presentados por Dillon *et al.* (2003). El peso vivo ($p < 0,001$) y la condición corporal ($p < 0,001$) de los animales a las 44 semanas de lactación fue superior en las vacas Normandas que en las Holstein-Friesian. Ello también concuerda con los resultados obtenidos por Dillon *et al.* (2003), en los que se muestra un peso vivo y una condición corporal a las 40 semanas de lactación superior en las vacas de raza Normanda que en las Holstein-Friesian. Las amplitudes de variación de peso vivo y de condición corporal durante la lactación completa en nuestro estudio resultaron mayores en las vacas Holstein-Friesian que en las Normandas. Ello concuerda con los resultados de Dillon *et*

TABLE 6. Effect of dairy cow breed and feeding strategy on milk production and quality, body weight and body condition score of animals.

al. (2003). Estudios efectuados por Buckley *et al.* (2000) han puesto de manifiesto la existencia de correlaciones negativas entre el cambio en la condición corporal de los animales con la producción de leche. Según dichos autores, los animales con alto potencial genético para la producción de leche experimentan cambios más grandes en la condición corporal a inicios de la lactación y una condición corporal más baja a lo largo de toda la lactación en comparación con la observada en los animales de bajo potencial genético. Trabajos llevados a cabo por Dillon *et al.* (2003) y Yan *et al.* (2006) muestran la existencia de diferencias entre las vacas de raza Holstein-Friesian y Normanda en la capacidad de distribuir la energía consumida para cubrir sus necesidades de producción de leche y sus reservas corporales. Los resultados de nuestro estudio parecen mostrar una mayor movilización de las reservas corporales en las vacas Holstein-Friesian que en las Normandas. Ello corroboraría los resultados de Dillon *et al.* (2003). Según trabajos realizados por Buckley *et al.* (2003), cuanto mayor sea la pérdida de peso vivo y de condición corporal experimentada por las vacas Holstein-Friesian al inicio de la lactación mayor sería el grado de movilización de sus reservas corporales y ello se traduciría en un incremento en la aparición de situaciones de déficit energético, lo cual acarrearía una reducción en la fertilidad y en el estado sanitario del animal.

Efecto de la estrategia de alimentación

Durante la fase de alimentación invernal (110 días), los animales alimentados con la estrategia de altos insumos mos-

traron una producción diaria de leche superior ($p < 0,001$) a la de los alimentados con bajos insumos (Tabla 6). Los contenidos de proteína y grasa en leche también fueron superiores ($p < 0,001$) en los animales alimentados con la estrategia de altos insumos que en aquellos alimentados con bajos insumos. El peso vivo y la condición corporal de los animales en invierno fue superior ($p < 0,001$) en los animales alimentados con altos que con bajos insumos.

Durante la fase de alimentación en pastoreo (210 días), la producción de leche fue superior ($p < 0,001$) en los animales alimentados con la estrategia de altos que con la de bajos insumos. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Kennedy *et al.* (2003) y Horan *et al.* (2005). El contenido de proteína en leche resultó superior ($p < 0,001$) en los animales alimentados con la estrategia de altos que con la de bajos insumos. Sin embargo, el contenido de grasa en leche fue inferior ($p < 0,001$) en los animales alimentados con la estrategia de altos que con la de bajos insumos. Ambos resultados corroboran lo obtenido por Horan *et al.* (2005). El aumento en el contenido de proteína en leche en los animales alimentados con la estrategia de altos insumos podría atribuirse a un incremento en la ingestión de energía mientras que el descenso en el contenido de grasa en leche podría explicarse por una reducción en el contenido de fibra en la dieta (Bargo *et al.*, 2002). Los animales alimentados con la estrategia de altos insumos mostraron unos pesos vivos en primavera y en otoño superiores ($p < 0,001$) a los alimentados con bajos insumos. La condición corporal de los animales también resultó superior en primavera ($p < 0,05$) y en otoño ($p < 0,001$) en las vacas lecheras alimentadas con la estrategia de altos que en aquellas alimentadas con bajos insumos.

Durante la lactación completa (320 días), se observó una producción total de leche ($p < 0,001$) más alta ($p < 0,001$) en los animales alimentados con la estrategia de altos insumos que en los alimentados con bajos insumos (del orden de un 18%). Ello concuerda con los resultados obtenidos por Horan *et al.* (2005). Siendo, los niveles productivos por lactación en nuestro estudio (altos insumos, 7567 vs. bajos insumos, 6238 kg/vaca/año, respectivamente) similares a los presentados por Horan *et al.* (2005) (altos insumos, 7360 vs. bajos insumos, 6408 kg/vaca/año, respectivamente) para niveles de suplementación similares en ambos estudios. El pico máximo de producción de leche resultó más alto ($p < 0,001$) en los animales alimentados con la estrategia de altos insumos que en aquellos alimentados con la estrategia de bajos insumos, tanto en nuestro estudio (altos insumos, 35.0 vs. bajos insumos, 30.4 kg, respectivamente) como en el de Horan *et al.* (2005) (altos insumos, 35.2 vs. bajos insumos, 32.1 kg, respectivamente). No se observaron diferencias ($p > 0,05$) en la duración total de la lactación entre las dos estrategias de alimentación en ninguno de los dos estudios considerados. Los contenidos de proteína y grasa en

leche fueron superiores ($p < 0,001$) en los animales alimentados con la estrategia de altos insumos que en aquellos alimentados con la de bajos insumos. La condición corporal de los animales a las 44 semanas de lactación fue superior ($p < 0,001$) en los animales alimentados con la estrategia de altos insumos que en aquellos alimentados con bajos insumos. Las amplitudes de variación de peso vivo y de condición corporal durante la lactación completa en nuestro estudio resultaron mayores en los animales alimentados con la estrategia de bajos insumos que aquellos alimentados con la de altos insumos. Ello concuerda con los resultados del estudio efectuado por Horan *et al.* (2005).

Según investigaciones efectuadas por Roche *et al.* (2006) el aporte de concentrado a las vacas lecheras de raza Holstein-Friesian provoca una respuesta productiva de +1,15 kg de leche por kg de concentrado utilizado. Esto concuerda con los resultados obtenidos en nuestro ensayo durante la fase de alimentación en pastoreo cuando se empleó la estrategia con altos insumos (+1,25 kg de leche por kg de concentrado utilizado) para vacas a mitad y final de lactación y los presentados por Kennedy *et al.* (2003) (+1,10 kg de leche por kg de concentrado utilizado) en un ensayo en pastoreo en el que se consideraron dos estrategias de alimentación (LC y HC) equivalentes a las dos estrategias empleadas en nuestro estudio (bajos vs. altos insumos). El consumo de concentrado en el ensayo efectuado por Kennedy *et al.* (2003) (LC, 376 vs. HC, 1540 kg de concentrado por año, respectivamente) fue similar al mostrado en nuestro ensayo (bajos, 264 vs. altos insumos, 1374 kg de concentrado por año, respectivamente), siendo el valor nutritivo de los concentrados y el del pasto-forraje utilizados en los dos ensayos también similares. Estas respuestas en producción de leche a la suplementación con concentrado fueron superiores a las indicadas por Ferris *et al.* (1999) y Horan *et al.* (2004) en trabajos efectuados para una lactación completa en vacas lecheras de raza Holstein-Friesian.

El aumento de la cantidad de concentrado aportado en la ración suele incrementar el peso vivo de los animales según trabajos realizados por Kennedy *et al.* (2003), Roche *et al.* (2006) y Horan *et al.* (2004). En nuestro ensayo, las vacas alimentadas con la estrategia de altos insumos mostraron un peso vivo y una condición corporal al parto y durante la estación de pastoreo más altos que las alimentadas con bajos insumos. Sin embargo, estas variaciones de peso vivo y condición corporal de los animales asociadas al incremento de la cantidad de concentrado no resultan siempre constantes. Así pues, Buckley *et al.* (2000) y Horan *et al.* (2004) observaron que puede haber un aumento de peso vivo cualquiera que sea la cantidad de concentrado aportado en la ración mientras que Kennedy *et al.* (2003) vieron que el peso vivo de los animales puede experimentar un descenso en algunos casos. Dillon *et al.* (2003) mostraron que cuando las vacas lecheras reciben una alimentación con alto valor energético, ensilado de maíz

y concentrado, el peso vivo resulta más alto durante toda la lactación que el que presentan los animales que reciben otra ración menos energética y basada en el empleo exclusivamente de pasto fresco y el ensilado de hierba. Los ensayos realizados por Ferris *et al.* (1999), Buckley *et al.* (2000) y Fulkeron *et al.* (2001) no encuentran, sin embargo, un aumento de peso vivo en los animales al final de la lactación cuando se los alimenta con alta dosis de concentrado en la ración.

Interacción entre la raza de vaca lechera y la estrategia de alimentación

Los resultados de nuestro estudio muestran la existencia de una interacción entre la raza de vaca lechera y la estrategia de alimentación sobre la producción diaria de leche ($p < 0,01$) durante la fase de alimentación invernal en establo (110 días) (Tabla 6). De manera que las vacas lecheras de raza Holstein-Friesian alimentadas con la estrategia de bajos insumos (HF_b, 28,6±2,16 kg/vaca/día) presentaron una producción diaria de leche similar a la obtenida por las vacas de raza Normanda alimentadas con la estrategia de altos insumos (N_a, 26,6±1,96 kg/vaca/día). Se observó también una interacción entre la raza de vaca lechera y la estrategia de alimentación sobre el peso vivo de los animales en invierno ($p < 0,05$). De tal forma que las vacas lecheras de raza Holstein-Friesian alimentadas con la estrategia de altos insumos (HF_a, 674±20,9 kg) presentaron un peso vivo en invierno similar al de las vacas lecheras de raza Normanda alimentadas con la estrategia de bajos insumos (N_b, 672±20,2 kg). Se observó además una interacción entre la raza de vaca lechera y la estrategia de alimentación sobre el peso vivo de los animales a las 44 semanas de lactación ($p < 0,05$). De manera que las vacas de raza Holstein-Friesian alimentadas con la estrategia de altos insumos (HF_a, 685±8,6 kg) presentaron un peso vivo a 44 semanas de lactación similar al de las vacas Normandas alimentadas con la estrategia de bajos insumos (N_b, 676±8,0 kg).

Estudios previos efectuados por Buckley *et al.* (2000), Kennedy *et al.* (2002) y Horan *et al.* (2005) muestran resultados diferentes al analizar la existencia de interacción entre la raza de vaca de lechera y la estrategia de alimentación sobre distintas variables en estudio: la producción y composición química de la leche, la ingestión de materia seca, el peso vivo y la condición corporal de los animales. Los resultados encontrados por Buckley *et al.* (2000) ponen de manifiesto la no existencia de interacción entre la raza de vaca de lechera y la estrategia de alimentación sobre ninguna de las variables mencionadas anteriormente. Ellos atribuyen esta ausencia de interacción a que las diferencias que establecieron entre las razas de vacas lecheras en su estudio y las estrategias de alimentación utilizadas fueron tan grandes que no resultó posible identificar ninguna interacción entre la raza de vaca lechera y la estrategia de alimentación. Sin embargo, estudios efectuados por Kennedy *et al.* (2002) muestran la existencia

de una interacción entre la raza de vaca lechera y la estrategia de alimentación sobre la producción de leche de manera que las vacas lecheras de alto potencial genético para la producción de leche podrían tener su potencial productivo condicionado por una insuficiente suplementación con concentrado en sistemas de producción de leche en pastoreo. Según los resultados del estudio de Kennedy *et al.* (2002), ello lo que implicaría sería respuestas productivas en los animales de alto potencial genético inferiores a las esperadas. Además, los resultados obtenidos por Kennedy *et al.* (2002) muestran la existencia de una interacción significativa entre la raza de vaca lechera y la estrategia de alimentación sobre la condición corporal de los animales al final de la lactación de manera que los animales con alto potencial genético presentan una menor pérdida de condición corporal del inicio al final de la lactación cuando se los suplementa con altas dosis de concentrado. Los resultados de los trabajos efectuados por Horan *et al.* (2005) muestran una interacción significativa entre la raza de vaca lechera y la estrategia de alimentación sobre diferentes variables en estudio. De manera que según los resultados de dichos autores se observa que en un sistema de producción de leche en pastoreo, las vacas lecheras de raza Holstein-Friesian consideradas de alto potencial genético (con una genética norteamericana) para la producción de leche muestran niveles productivos altos, una respuesta elevada a la suplementación con concentrado, un peso vivo superior y una pérdida de condición corporal al parto mayor en comparación con las vacas lecheras de raza Holstein-Friesian consideradas de bajo potencial genético (con una genética neozelandesa) cuyos niveles productivos de leche resultan inferiores, los contenidos de proteína y grasa en leche son superiores, su respuesta a la suplementación con concentrado resulta baja, presentan un peso vivo inferior y muestran una menor pérdida de condición corporal al parto.

Curva de producción de leche en función de la raza y la estrategia de alimentación

En la Figura 2 se muestran las curvas de producción diaria de leche para los 4 grupos de vacas lecheras en estudio (HF_a, HF_b, N_a y N_b), considerando las dos razas de vacas (HF, Holstein-Friesian vs. N, Normanda) y las dos estrategias de alimentación (a, altos vs. b, bajos insumos), durante los 5 años en ensayo. Las vacas Holstein-Friesian mostraron una producción de leche por lactación superior a la de las vacas Normanda (Figura 2a). De media, se obtuvieron +4,1 kg de leche/día en las vacas Holstein-Friesian que en las Normandas. Los animales alimentados con la estrategia de altos insumos mostraron una producción de leche por lactación superior a la de los animales alimentados con la estrategia de bajos insumos (Figura 2b). De media, se obtuvieron +3,7 kg de leche/día en las vacas alimentadas con altos insumos que con bajos.

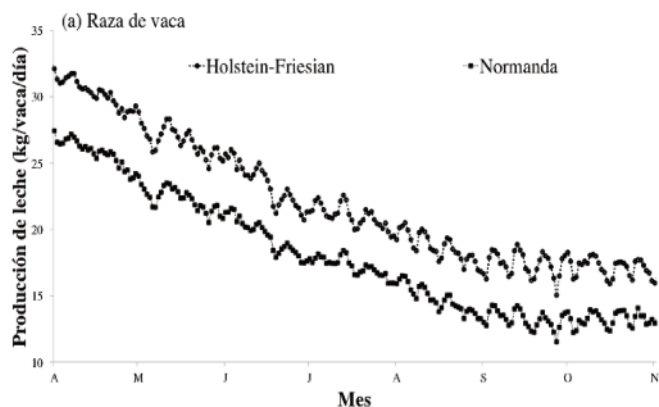


FIGURA 2. Efecto de la raza y de la estrategia de alimentación sobre la producción de leche.

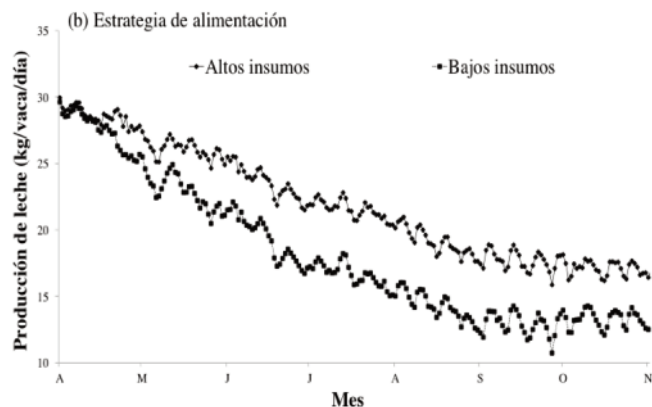


FIGURE 2. Effect of dairy cow breed and feeding strategy on milk production.

Determinación de PL y CL en pastoreo rotacional simplificado

El PL se alcanzó en nuestro ensayo de media para los 5 años en estudio al cuarto día de residencia de los animales en las parcelas y la CL al décimo día del ciclo de pastoreo. Siendo, tanto los valores obtenidos de PL como de CL superiores ($p < 0,001$) en las vacas de raza Holstein-Friesian que en las de raza Normanda (Tabla 7). Esto corrobora los resultados presentados por Dillon *et al.* (2003), según los cuales las mayores pérdidas en condición corporal de los animales se encuentran asociadas a los niveles más altos de producción de leche. En este sentido, las vacas de raza Holstein-Friesian soportan una mayor movilización de reservas corporales que las Normandas, lo que explica que el PL y la CL que experimentan las vacas Holstein-Friesian al pasar de un ciclo de pastoreo al otro sean superiores a los observados en las Normandas.

El empleo de la estrategia de alimentación con altos insumos en comparación con la de bajos insumos provocó que el PL fuese más alto ($p < 0,001$) y que la CL fuese más baja ($p < 0,001$). Ello corrobora los resultados presentados por Hoden *et al.* (1991), dado que a mayor consumo de alimentos por parte de los animales se obtiene un PL más alto pero también una CL menor al pasar de un ciclo de pastoreo al otro.

Las vacas de raza Holstein-Friesian resultaron más susceptibles que las Normandas a cambios en la ingestión de alimentos, ello lo que implicó fue una mayor CL al final de cada ciclo de pastoreo. Esto se vio a su vez más marcado en los animales alimentados con la estrategia de bajos insumos que en aquellos

alimentados con la estrategia de altos insumos. De cara a futuras investigaciones resultaría interesante focalizar los nuevos trabajos en la compleja relación que existe entre la CL experimentada por las dos razas de vacas lecheras en estudio al final de cada ciclo de pastoreo y el nivel de suministro de alimentos que se debería aplicar en el sistema de pastoreo rotacional simplificado para mantener unos niveles productivos adecuados a lo largo de toda la lactación. De manera que se lograsen reducir estas pérdidas de leche.

CONCLUSIONES

Los resultados de este estudio realizado durante cinco años muestran la existencia de diferencias entre las dos razas de vacas lecheras en estudio (Holstein-Friesian vs. Normandas) y las dos estrategias de alimentación en ensayo (altos vs. bajos insumos) en la producción y composición química de la leche, el peso vivo y la condición corporal de los animales en el sistema de pastoreo rotacional simplificado. Las vacas de raza Holstein-Friesian producen significativamente más leche por lactación que las Normandas, sobre todo cuando son alimentadas con la estrategia de altos insumos, pero resultan más susceptibles a cambios en la ingestión de alimentos al experimentar un máximo de producción de leche y una caída de leche más pronunciada en cada ciclo de pastoreo. Para paliar la magnitud de esta pérdida de leche resultaría necesario profundizar en la compleja relación que existe la raza de vaca lechera seleccionada y la estrategia de alimentación utilizada actuando a varios niveles: (1) maximizando la producción de leche por cantidad de pasto ingerida en cada ciclo de pastoreo, (2) manteniendo una calidad del

	Raza de vaca ¹		Estrategia de alimentación ²			Significación ³	
	Holstein-Friesian	Normanda	Bajos	Altos	R4	E	RxE
Alimentación en establo							
Máx. producción leche (kg/vaca)	25,0±0,53 ⁴	21,0±0,35	21,1±0,38	24,9±0,47	***	***	ns
Caída de leche (kg/vaca)	-6,4±0,07	-4,9±0,04	-6,1±0,06	-5,3±0,05	***	***	ns

^{1,2,3,4}Véase Tabla 6.

TABLA 7. Efecto de la raza de vaca y de la estrategia de alimentación sobre el máximo de producción (PL) y la caída (CL) de leche.

TABLE 7. Effect of dairy cow breed and feeding strategy on the maximum of milk production (PL) and the drop of milk (CL).

pasto satisfactoria a lo largo de toda la estación de pastoreo, (3) ajustando la presión de pastoreo para lograr ingestiones de pasto satisfactorias, (4) adecuando los requerimientos nutritivos del rebaño lechero a sus necesidades productivas y (5) limitar la aparición de posibles situaciones de déficit energético de los animales causadas por falta de alimento.

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria y a la plantilla de la estación experimental del INRA "Pin au Haras" en Normandía (Francia).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AFNOR (Association Française de Normalisation) (1997) *Aliments des animaux. Dosage de l'azote – Méthode par combustion (Dumas)*. NF V 8-120. AFNOR Editions, La Plaine Saint-Denis, France.
- AFNOR (Association Française de Normalisation) (2006) *Aliments des animaux. Détermination du contenu en fibre par traitement à l'amylase et au détergent neutre (aNDF)*. NF EN ISO 16472. AFNOR Editions, La Plaine Saint-Denis, France.
- AFNOR (Association Française de Normalisation) (2007) *Aliments des animaux. Détermination des teneurs en calcium, sodium, phosphore, magnésium, potassium, fer, zinc, cuivre, manganèse, cobalt, molybdène, arsenic, plomb et cadmium par ICP-AES*. NF EN 15510. AFNOR Editions, La Plaine Saint-Denis, France.
- AFNOR (Association Française de Normalisation) (2008) *Aliments des animaux. Détermination des teneurs en fibres au détergent acide (ADF) et en lignine sulfurique (ADL)*. NF EN ISO 13906. AFNOR Editions, La Plaine Saint-Denis, France.
- AGABRIEL J., GIRAUD J.M., PETIT M. (1986) Détermination et utilisation de la note d'état d'engraissement en élevage allaitant. Bulletin Technique du CRZV de Theix. *INRA*, 66, 43-50.
- BARBAT A., DRUET T., BONAÏT B., GUILLAUME F., COLLEAU J.J., BOICHARD D. (2005) Bilan phénotypique de la fertilité à l'insémination artificielle dans les trois principales races laitières françaises. *Rec. Rech. Rum.*, 12, 137-140.
- BARGO F., MULLER L.D., DELAHOY J.E., CASSIDY T.W. (2002) Milk response to concentrate supplementation of high producing dairy cows grazing at two pasture allowances. *J. Dairy Sci.*, 85, 1777-1792.
- BAZIN S., AUGÉARD P., CARTEAU M., CHAMPION H., CHILLIARD Y., CUYLLE G., DISENHAUS C., DURAND G., ESPINASSE R., GASCOIN A., GODINEAU M., JOUANNE D., OLLIVIER O., REMOND B. (1984) Grille de notation de l'état d'engraissement des vaches pie-noires, RNED bovin (ed.), Paris, France, 31 pp.
- BUCKLEY F., DILLON P., RATH M., VEERKAMP R.F. (2000) The relationship between genetic merit for yield and live weight, condition score, and energy balance of spring calving Holstein-Friesian dairy cows on grass based system of milk production. *J. Dairy Sci.*, 83, 1878-1886.
- BUCKLEY F., O'SULLIVAN K., MEE J.F., EVANS R.D., DILLON P. (2003) Relationships among milk yield, body condition, cow weight and reproduction in spring-calved Holstein-Friesians. *J. Dairy Sci.*, 86, 2308-2319.
- DILLON P., SNIJDERS S., BUCKLEY F., HARRIS B., O'CONNOR P. Y MEE J.F. (2003) A comparison of different dairy cow breeds on a seasonal grass-based system of milk production. 1. Milk production, live weight, body condition score and DM intake. *Livest. Prod. Sci.*, 83, 21-33.
- DILLON P., BERRY D.P., EVANS R.D., BUCKLEY F., HORAN B. (2006) Consequences of genetic selection for increased milk production in European seasonal pasture based systems of milk production. *Livest. Prod. Sci.*, 99, 141-158.
- DULPHY J.R., DEMARQUILLY C. (1981) Problèmes particuliers aux silages. En: *Prévision de la valeur nutritive des aliments des ruminants*, 81-104. INRA Publi.
- FERRIS C.P., GORDON F.J., PATTERSON D.C., MAYNE C.S. Y KILPATRICK D.J. (1999) The influence of dairy cow genetic merit on the direct and residual response to level of concentrate supplementation. *J. Agric. Sci.*, 132, 467-481.
- FULKERSON W.J., WILKINS J., DOBOS R.C., HOUGH G.M., GODDARD M.E. Y DAVISON, T. (2001) Reproductive performance in Holstein-Friesian cows in relation to genetic merit and level of feeding when grazing pasture. *Anim. Sci.*, 73, 397-406.
- HODEN A., PEYRAUD J.L., MULLER A., DELABY L.Y FAVERDIN P. (1991) Simplified rotational grazing management of dairy cows: effects of rates of stocking and concentrates. *J. Agric. Sci.*, 116, 417-428.
- HORAN B., MEE J.F., RATH M., O'CONNOR P. Y DILLON P. (2004) The effect of strain of Holstein-Friesian cow and feed system on reproductive performance in seasonal-calving milk production systems. *Anim. Sci.*, 79, 453-468.
- HORAN B., DILLON P., FAVERDIN P., DELABY L., BUCKLEY F., RATH M. (2005) The interaction of strain of Holstein-Friesian cow and pasture based feed system for milk production, bodyweight and body condition score. *J. Dairy Sci.*, 88, 1231-1243.
- INRA (1989) *Ruminants nutrition. Recommended allowances & feed tables*. INRA and John Libbey Eurotext, Paris and London, France and United Kingdom.
- KENNEDY J., DILLON P., FAVERDIN P., DELABY L., BUCKLEY F., RATH M. (2002) The influence of cow genetic merit on response to concentrate supplementation in a grass based system. *Anim. Sci.*, 75, 433-446.
- KENNEDY J., DILLON P., DELABY L., FAVERDIN P., STAKELUM G., RATH M. (2003) Effect of genetic merit and concentrate supplementation on grass intake and milk production with Holstein Friesian dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 86, 610-621.

- KERBRAT S., DISENHAUS C. (2004) A proposition for an updated behavioural characterization of the oestrus period in dairy cows. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 87, 223-238.
- KLEIN F. (2003) Utilización de praderas y nutrición de vacas a pastoreo. II. Nutrición de vacas a pastoreo. En: Teuber N., Uribe H. y Opazo L. (eds) *Hagamos de la lechería un mayor negocio*, pp. 43-55. Osorno, Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias.
- LE GALL A., GRASSET M., HUBERT F. (1997) La prairie dans les régions de l'Arc atlantique. I Place dans les systèmes fourragers et enjeux. *Fourrages* 152, 445-459.
- MACKEY D.R., GORDON A.W., McCOY M.A., VERNER M., MAYNE C.S. (2007) Associations between genetic merit for milk production and animal parameters and the fertility performance of dairy cows. *Animal*, 1(1), 29-43.
- MAYNE C.S., GORDON F.J. (1995) Implications of genotype x nutrition interactions for efficiency of milk production. En: Lawrence T.L.I. *et al.* (Eds) *Breeding and feeding the high genetic merit dairy cow*, pp 67-77. Midlothian, United Kingdom: British Society of Animal Science.
- MCCARTHY S., HORAN B., DILLON P., O'CONNOR P., RATH M., SHALLOO L. (2007) Economic comparison of divergent strains of Holstein-Friesian cows in various pasture-based production systems. *J. Dairy Sci.*, 90, 1493-1505.
- PFLIMLIN A., BUCZINSKI B., PERROT C. (2005) Proposition de zonage pour préserver la diversité des systèmes d'élevage et des territoires européens. *Fourrages*, 182, 311-330.
- PFLIMLIN A. (2008) Evolution de l'Europe laitière et des systèmes fourragers. Argumentaire pour une autre politique. *Fourrages*, 196, 401-424.
- ROCHE J.R., BERRY D.P. Y KOLVER E.S. (2006) Holstein-Friesian strain and feed effects in milk production body weight, and body condition score profiles in grazing dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 89, 3532-3543.
- SAS (2006) *User's Guide Version 9.01: Statistics*, SAS Inst., Inc., Cary, NC (EE.UU.).
- VEERKAMP R.F., SIMM G., OLDHAM J.D. (1995) Genotype by environment interactions: experience from Llanghilly. En: Lawrence T.L.I. *et al.* (Eds) *Breeding and feeding the high genetic merit dairy cow*, pp 59-66. Midlothian, United Kingdom: British Society of Animal Science.
- WALSH S., BUCKLEY F., PIERCE K., BYRNE N., PATTON J., DILLON P. (2008) Effects of breed and feeding system on milk production, body weight, body condition score, reproductive performance, and postpartum ovarian function. *J. Dairy Sci.*, 91, 4401-4413.
- YAN T., MAYNE C.S., KEADY T.W.J., AGNEW R.E. (2006). Effect of dairy cows genotype with two planes of nutrition on energy partitioning between milk and body tissue. *J. Dairy Sci.*, 89, 1031-1042.



CREACIÓN Y PERSISTENCIA DE LA AVERSIÓN CONDICIONADA A HOJAS DE VID EN OVINO. APLICACIÓN AL PASTOREO DE VIÑEDOS EN PRIMAVERA

C.L. MANUELIAN FUSTÉ¹, E. ALBANELL TRULLÁS^{*1}, M. ROVAI¹, LL. GIRALT VIDAL², A.A.K. SALAMA¹, C. DOMINGO GUSTEMS² Y G. CAJA LÓPEZ¹

¹ Grup de Recerca en Remugants (G2R), Departament de Ciència Animal y dels Aliments, Facultat de Veterinària, Universitat Autònoma de Barcelona, 08193 Bellaterra, Barcelona (Espanya).

² INCAVI Institut Català de la Vinya i el Vi, Plaza Agora 2-3, 08720, Vilafranca del Penedès (Espanya).

* elena.albanell@uab.cat

CREATION AND PERSISTENCE OF CONDITIONED SHEEP AVERSION TO GRAPEVINE LEAVES. APPLICATION FOR GRAZING VINEYARDS DURING SPRING

Historial del artículo:

Recibido: 09/01/2015

Revisado: 17/02/2015

Aceptado: 11/03/2015

Disponible online: 13/04/2015

Autor para correspondencia:

elena.albanell@uab.cat

ISSN: 2340-1672

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

Palabras clave:

Cloruro de litio, ovejas, pastoreo selectivo.

Keywords:

Lithium chloride, ewes, selective grazing.

RESUMEN

El pastoreo en viñedos se ve limitado por el daño que las ovejas pueden provocar en el cultivo, dada la alta palatabilidad de las hojas de vid. El objetivo del presente trabajo fue crear aversión a hojas de vid y evaluar su persistencia en ovejas (Manchega, n = 12; Lacaune, n = 12) durante tres años. El estudio incluyó la creación y validación de la aversión en condiciones experimentales en el primer año y en pastoreo en viñedos comerciales los años dos y tres. Los tratamientos consistieron en ovejas advertidas (AV, 225 mg LiCl/kg PV) y ovejas control (C, tratadas con agua). Durante el año uno la aversión se validó (30 min/prueba) en el aprisco y en viña simulada. Los siguientes años, las ovejas AV pastaron dos viñedos comerciales con cubierta espontánea (viñedo A y B). El tratamiento con LiCl dio lugar a que las ovejas AV rechazaran consumir las hojas de vid (AV vs. C; 0 vs. 95 ± 5 g/d). En los viñedos comerciales, las ovejas AV redujeron la materia seca de la cubierta vegetal en un 68 ± 8% y 44 ± 4% para A y B respectivamente. Sin embargo, cuando la cubierta fue poco palatable y escasa, las ovejas AV empezaron a consumir las hojas y brotes de vid, siendo necesaria una nueva dosis de LiCl (A, 100%; B, 50% ovejas). En conclusión, la AV fue una herramienta efectiva para controlar la cubierta vegetal del viñedo en primavera, siendo necesaria una supervisión de los animales.

ABSTRACT

Grazing vineyards is limited because of the crop damage which sheep could produce due to the high palatability of the leaves. The aim of this work was to create conditioned taste aversion (AV) to grapevine leaves and to evaluate its persistence in sheep (Manchega, n = 12; Lacaune, n = 12) throughout three years. The study included: AV induction and validation under experimental conditions in year one and grazing in commercial vineyards in years two and three. Ewes were divided in averted ewes (AV, 225 mg LiCl/kg BW) and control ewes (C, water blank). During year one validation test was done in the barn and in a simulated vineyard. The next two years AV ewes grazed two commercial vineyard plots with spontaneous pasture (vineyard A and B). As a consequence of LiCl administration (year one), the AV ewes rejected the grapevine leaves (AV vs. C; 0 vs. 95 ± 5 g/d). In commercial vineyards the AV ewes reduced the herbage between vine lines by 68 ± 8% and 44 ± 4% (DM basis) in the A and B vineyards respectively. However, when the herbage was less palatable and scarce, AV ewes started to eat grapevine leaves and sprouts needing LiCl reinforcing doses (A, 100%; B, 50% ewes). In conclusion, AV was an effective tool for controlling herbage cover in vineyards during spring. To prevent vineyard damages, permanent monitoring of the flock behaviour and herbage availability are key aspects.

INTRODUCCIÓN

Las cubiertas vegetales son un sistema eficaz de mantenimiento del suelo en los modelos de agricultura sostenible debido a que aumentan la biodiversidad, favorecen la proliferación de los enemigos naturales de las plagas, mejoran la calidad del suelo y reducen la erosión. Además, en el caso del viñedo, contribuyen a obtener rendimientos más equilibrados y a un desarrollo vegetativo más contenido de la viña, lo que favorece la mejor exposición del racimo (Ibáñez *et al.*, 2011). El control de cubiertas vegetales se realiza mediante el uso de tractores y herbicidas, a fin de evitar un exceso de competencia hídrica en el suelo. Hatfield *et al.* (2007a,b) indicaron las ventajas del uso del pastoreo para reducir la biomasa vegetal, la mano de obra, la compactación del suelo y los herbicidas, sin efectos adversos en el perfil de nutrientes del suelo.

Como alternativa respetuosa con el medioambiente, podrían utilizarse rebaños que pastaran entre las líneas de los viñedos. Sin embargo, los pámpanos (hojas de vid) son muy apetecibles para el ganado ovino, lo que desaconseja el pastoreo en este cultivo. Una posible alternativa sería utilizar animales con aversión condicionada a la vid.

La aversión condicionada (AV) a un alimento mediante el empleo de cloruro de litio (LiCl) se considera una herramienta útil para conseguir que los animales aprendan a evitar el consumo de una planta concreta (alimento diana). El único efecto adverso observado después de la administración del LiCl es una ligera disminución del apetito durante los dos días posteriores (Manuelian *et al.*, 2014; 2015). Su eficacia depende de la novedad del alimento diana, del producto y dosis utilizados, de la disponibilidad de alimentos alternativos y de la especie y edad de los animales (Ralphs *et al.*, 2001; Burritt *et al.*, 2013). La capacidad de establecer una correcta y persistente AV depende también del propio animal, con diferencias en el aprendizaje entre individuos y necesidad de una o más dosis (Gorniak *et al.*, 2008), o bien de ser reforzados con mayor frecuencia.

Pocos estudios han realizado un seguimiento de la AV a medio-largo plazo en pequeños rumiantes. Thorhallsdottir *et al.* (1987) consiguieron una aversión parcial en corderos a cebada y pellets durante 60 días, mientras que Burritt y Provenza (1990) y Doran *et al.* (2009) consiguieron aversiones parciales en ovejas durante 9 meses con dosis de refuerzo a una especie de arbusto (*Cercocarpus montanus*) y a hojas de vid respectivamente. El litio administrado por vía oral se excreta completamente en 96 h en ovino y caprino (Manuelian *et al.*, 2015), principalmente por vía urinaria (92%). Por otro lado, la cantidad de litio excretada por vía mamaria (2,8%) en cabras lecheras no es suficiente para crear aversión a las crías (Manuelian *et al.*, 2015). Aunque el litio está ampliamente presente en la corteza terrestre, para evitar

una posible contaminación por litio, es aconsejable esperar entre 9 y 11 d antes de llevar los animales AV al campo (Manuelian *et al.*, 2015).

El objetivo de este trabajo fue estudiar el uso de la aversión condicionada a la vid en ovino y evaluar su persistencia durante tres años en dos razas de ovejas.

MATERIAL Y MÉTODOS

El estudio se realizó en la granja experimental del SGCE (Servei de Granges i Camps Experimentals) de la Universidad Autònoma de Barcelona en Bellaterra (Barcelona) y en dos viñedos comerciales localizados en la comarca del Penedès (Barcelona, España). La experiencia se realizó durante tres años (Mayo 2011 a Junio 2013). Los procedimientos experimentales y de seguimiento del bienestar animal durante el estudio fueron aprobados por el Comité de Ética en Experimentación Animal y Humana de la Universidad Autònoma de Barcelona (CEEAH, referencia 770).

- **Animales y manejo.** Se utilizaron un total de 24 ovejas adultas, vacías y secas, de dos razas (Manchega; $n = 12$; $67,5 \pm PV$; Lacaune; $n = 12$; $66,2 \pm PV$) y que no habían consumido previamente hojas de vid. Las ovejas se asignaron a dos grupos equilibrados (seis ovejas/raza) que fueron alimentadas una vez al día con una ración de heno de alfalfa *ad libitum* y a las que se aplicaron los tratamientos experimentales (aversión, AV; control, C).
- **Creación de la aversión condicionada.** El primer día (día cero), dos horas antes de iniciar la creación de la AV, se retiraron los rechazos de heno de alfalfa y las ovejas se individualizaron mediante un cornadizo autoblocante instalado en el comedero del aprisco. Para evitar interferencias entre animales se dejaron 2 plazas vacías entre ellos. No existió contacto visual entre animales de distinto tratamiento. Los pámpanos (100 g/oveja) se ofrecieron en cajas individuales durante 30 minutos y se determinó el consumo por diferencia de peso. Una vez se comprobó que las ovejas habían consumido más de 10 g de pámpanos, se les administró una dosis de 225 mg LiCl/kg PV (2,25% p/v) o 100 mL de agua a los grupos AV y C respectivamente. El LiCl (Panreac, Castellar del Vallés, Barcelona) se disolvió en agua destilada y se dosificó oralmente con pistola desparasitadora de 200 mL (Pimex, Abadiño, Vizcaya). Para evaluar la efectividad de la AV, los siguientes días (días uno a tres) se ofreció a todas las ovejas la misma cantidad de pámpanos durante 30 minutos.
- **Pastoreo en viña simulada.** Los ensayos de viña simulada se realizaron en el SGCE. Para ello se delimitó una parcela de 99 m² (11,0 x 9,0 m) en una pradera de raigrás italiano

© Elena Albanell



Ensayo en viña simulada. a) Grupo aversión. Las ovejas no se acercan a los bastidores y no consumen viña. b) Grupo control. Las ovejas se acercan a los bastidores y consumen prácticamente toda la oferta.

(*Lolium multiflorum* Lam.), donde se colocaron dos líneas de bastidores de madera y postes metálicos (longitud 2,0 m; separación 2,8 m; altura por encima del nivel del suelo 0,7 m). Los pámpanos (2 kg de materia fresca) se fijaron en los bastidores simulando un viñedo en espaldera típico del Penedés. El raigrás estuvo en distintos estadios vegetativos según la estación (mayo a julio y octubre), manteniendo la altura de la hierba en el momento de entrar las ovejas aproximadamente constante (20 cm) durante la experiencia. Se realizaron 12 pruebas de pastoreo en grupo (AV y C) durante 30 minutos en el primer año (días cinco, 11, 19, 27, 33, 40, 46, 55, 62, 68, 150 y 375), evitando el contacto visual entre grupos. El consumo de hojas de vid de cada grupo de ovejas se determinó por diferencia de peso de los bastidores. Los pámpanos (variedad *tempranillo*) utilizados para las pruebas del primer año se obtuvieron de la poda en verde (mayo a julio) y de la vendimia (octubre) de los viñedos experimentales del INCAVI (Institut Català de la Vinya i el Vi,

Espiells, Barcelona, España), almacenándose bajo refrigeración (4 °C) hasta su utilización en los días siguientes (dos-tres días).

- **Pastoreo en viñedo comercial.** En el segundo y tercer año se realizaron ensayos de pastoreo en dos viñedos comerciales. **Viñedo A.** Después del primer año (durante los días 401 a 410 tras la creación de la AV), todas las ovejas AV (n = 12) se llevaron a un viñedo comercial (Caves Gramona, Sant Sadurní d'Anoia, Penedés, Barcelona) para realizar un estudio descriptivo de la AV. Para ello, en una parcela del viñedo (0,25 ha) con la variedad *merlot*, se delimitaron 10 subparcelas de 56 m² (ancho x largo: 2,8 x 20 m) mediante un pastor eléctrico (Lacme Secur, La Fleche, Francia). Cada parcela incluyó la cubierta vegetal de dos pasillos de 2,8 m de ancho y las correspondientes hileras de vides. Las ovejas pastaron tres horas al día cada subparcela durante 10 días seguidos y se suplementaron en el aprisco con

© Elena Albanell



Estado de la cubierta vegetal en el viñedo comercial B. a) Inicio del periodo de pastoreo. b) Final del periodo de pastoreo.

pellets de alfalfa (0,5 kg materia fresca/oveja) y paja de cebada *ad libitum*. El comportamiento de los animales durante el pastoreo se controló con observadores de forma continuada. Las ovejas que consumieron más de 4 bocados de vid se reforzaron con una nueva dosis de LiCl *in situ*. Para no alterar el comportamiento del rebaño, se esperó a finalizar el tiempo de observación, se entró en la parcela y con agilidad se inmovilizó al animal para administrarle la dosis de LiCl. Para determinar el consumo de la vegetación herbácea, se segaron y pesaron cuatro cuadrados al azar (25 × 25 cm) de cada subparcela antes y después del pastoreo. El daño ocasionado por las ovejas en la viña (ramas y racimos rotos, defoliación, consumo de uva) fue evaluado visualmente por un técnico viticultor.

Viñedo B. En la primavera del tercer año (de mediados de mayo a principios de junio), se realizó una nueva prueba de pastoreo en viña, utilizando las seis ovejas AV de raza Lacaune. Para ello, previamente se sometieron a una prueba de validación de la AV en el SGCE, según el protocolo descrito anteriormente. A continuación se llevaron al viñedo (Caves Recaredo, Torrelavit, Penedés, Barcelona) con cubierta espontánea, para realizar un estudio descriptivo. En una parcela (cuatro hectáreas) de la variedad *tempranillo* se delimitaron cuatro subparcelas de 216 m² (ancho × largo: 6 × 36 m) mediante vallas metálicas portátiles (anchura × altura: 3,5 × 2 m). Cada subparcela constó de dos pasillos y una línea central de vides en espaldera. Las ovejas permanecieron en el pasto entre tres y cinco días, según la abundancia de hierba y con acceso libre a agua, durante dos periodos (final de mayo y principio de junio). El comportamiento de las ovejas se controló dos veces al día (por la mañana a las 9:00 y por la tarde a las 5:00). Las ovejas que consumieron pámpanos (más de cuatro bocados) fueron redosificadas con LiCl, de igual forma a lo indicado en el viñedo A. Entre periodos de pastoreo las ovejas volvieron al SGCE para evaluar de nuevo la persistencia de la AV.

Para determinar la biodiversidad de la cubierta vegetal del viñedo antes de la entrada de las ovejas, se calculó el índice de Shannon (Magurran, 1989). En cada subparcela se realizaron tres transectos diagonales con puntos de lectura cada 1,5 m (52 puntos/parcela). Para calcular la biomasa y composición química de la cubierta herbácea antes y después del pastoreo, se segaron en cada subparcela ocho cuadrados de 25 × 25 cm siguiendo dos transectos diagonales. Para no alterar la biomasa de las subparcelas antes del pastoreo, las muestras se tomaron del pasillo adyacente. Un técnico viticultor observó la parcela pastada dos veces al día con la finalidad de detectar vides defoliadas o dañadas.

• **Análisis químico de las muestras.** La materia seca (MS) se determinó a 103 °C durante 24 h, y el contenido en cenizas se midió por gravimetría tras ignición de las muestras en una

mufla a 550 °C durante 4 h (AOAC, 2005). El N se determinó por el método Dumas (AOAC, 2005) utilizando un analizador Leco (Leco Corporation, St. Joseph, Michigan, EEUU) y la proteína bruta se calculó como N × 6,25. La fibra neutro detergente, fibra ácido detergente y lignina se determinaron por el método de Van Soest (1982) con un Ankom Fiber Analyzer Incubator (Ankom Technology, Macedon, Nueva York, EEUU), añadiendo α -amilasa y sodio sulfito.

• **Análisis estadístico.** Los valores de consumo de hojas de vid durante la creación de la aversión y la viña simulada mostraron una distribución no normal, no pudiendo ser normalizados mediante las transformaciones de Box-Cox (Box-Cox y Cox, 1964; Osborne, 2010). Como consecuencia, el efecto del tratamiento AV se analizó utilizando la prueba no paramétrica de U de Mann-Whitney, con y sin incluir el efecto de la raza, mediante el programa SPSS v. 19.9.9 de IBM (Chicago, Illinois, EEUU). La significación se estableció a $P < 0,05$.

RESULTADOS

La composición química de las hojas de vid (creación de la aversión y viña simulada), del raigrás italiano (cubierta vegetal de la viña simulada) y de la cubierta vegetal espontánea (viñedo comercial A) se muestran en la Tabla 1.

Componente (%)	Hoja de vid	Raigrás	Cubierta A
Materia seca	20,92	20,02	41,84
Proteína bruta	20,98	20,24	10,10
Fibra bruta	14,88	19,15	27,53
Fibra neutro detergente	29,68	40,40	54,83
Fibra ácido detergente	18,44	21,64	31,32
Lignina	4,26	4,87	4,74
Cenizas	8,56	13,37	9,81

TABLA 1. Composición química de las hojas de vid, raigrás italiano y cubierta vegetal del viñedo A (sobre MS).

TABLE 1. Chemical composition of grapevine leaves, Italian rye-grass and ground cover of commercial A vineyard (DM basis).

Creación y validación de la aversión

A pesar de que los pámpanos eran un alimento nuevo para todas las ovejas, las de raza Lacaune empezaron a consumirlos desde el primer día, mientras que las de raza Manchega necesitaron un día más. Por esta razón, la administración de LiCl se retrasó un día en las Manchegas. El consumo de pámpanos se triplicó (317%) del día cero al uno (29 ± 13 vs. 92 ± 4 g, respectivamente; $P < 0,001$; Figura 1a) en las ovejas Lacaune del grupo C, manteniéndose luego estable. Sin embargo, las ovejas Manchegas del grupo C incrementaron su consumo ($P < 0,05$; Figura 1a) un 163% del día cero al uno (51 ± 17 vs. 71 ± 11 g) y un 131% del día uno al dos (71 ± 11 g vs. 99 ± 1 g).

A partir del día dos no hubo diferencias en el consumo de vid entre los grupos C de ambas razas. Tras la administración de LiCl, todas las ovejas AV se negaron a consumir los pámpanos (día uno; $P < 0,001$; Figura 1a) y rechazaron las cajas de plástico donde se les ofrecían.

Pastoreo en viña simulada

Durante la experiencia en viña simulada las ovejas de ambas razas mostraron comportamiento similar al observado en el aprisco. Las ovejas AV rechazaron consumir los pámpanos ($P < 0,001$; Figura 1b) y apenas se acercaron a los bastidores de viña simulada, mientras que las ovejas C consumieron grandes cantidades de hojas de vid (Figura 1b).

Pastoreo en viñedo comercial

• **Viñedo A.** Antes del pastoreo de la parcela, la oferta de vegetación espontánea de la cubierta fue escasa (206 ± 29 g MS/m²; $42 \pm 3\%$ MS). Aunque no se realizó un estudio exhaustivo de la biodiversidad de la cubierta, las familias y especies predominantes fueron: *Poaceae* (*Avena sterilis*, *Hordeum murinum*, *Setaria viridis* y *Lolium perenne*), *Fabaceae* (*Psoralea bituminosa*), *Apiaceae* (*Foeniculum vulgare* y *Torilis arvensis*), *Asteraceae* (*Chamaemelum nobile*, *Lactuca serriola* y *Pallenis spinosa*), *Convolvulaceae* (*Convolvulus arvensis*) y *Malvaceae* (*Malva sylvestris*).

Todas las ovejas AV mantuvieron la aversión a la vid hasta el día 400 sin necesidad de ser reforzadas. Después de pastar durante un total de 30 horas (tres horas por día durante 10 días), las ovejas AV redujeron la cubierta vegetal entre líneas un $68 \pm 8\%$ (sobre MS). Sin embargo, después del día 403, cuando la cubierta escaseó y presentó mayor lignificación, algunas ovejas empezaron a tomar bocados de los pámpanos (consumo de más de 4 bocados; Tabla 2) y tuvieron que ser redosificadas. Las de raza Lacaune empezaron antes que las de raza Manchega (Tabla 2). Finalmente, el día 408 todas las ovejas habían sido redosificadas, aunque no se detectaron daños de importancia ni en el viñedo ni en los racimos.

• **Viñedo B.** La cubierta vegetal mostró un índice de Shannon homogéneo ($H = 0,96 \pm 0,02$) entre subparcelas, con mayor abundancia de fabáceas que poáceas, tal como se detalla en la Tabla 3. Las especies más frecuentes fueron *Medicago minima* ($19,0 \pm 6,9\%$), *Psoralea bituminosa* ($9,6 \pm 2,1\%$), *Bromus madritensis* ($17,4 \pm 1,8\%$) y *Daucus carota* ($17,1 \pm 3,4\%$). Antes de llevar las ovejas al viñedo, se comprobó que mantenían la aversión. El resultado de la prueba realizada mostró una aversión completa a los pámpanos de las ovejas AV Lacaune (consumo 0 g; Tabla 4; día 710). Sin embargo, tres ovejas tuvieron que ser redosificadas entre periodos de pastoreo y una de ellas fue redosificada en dos ocasiones (Tabla 4).

Oveja	Raza	N.º	Días tras la creación de la aversión									
			401	402	403	404	405	406	407	408	409	410
Lc	1		0	0	1	10*	0	0	0	0	0	0
	2		0	0	0	0	10*	0	0	0	0	0
	3		0	0	0	1	0	11*	0	0	0	0
	4		0	0	0	1	3	0	10*	0	0	0
	5		0	0	0	0	8*	0	0	0	0	0
	6		0	0	7*	0	0	1	0	0	0	0
Mn	7		0	0	0	0	0	0	10*	0	0	0
	8		0	0	0	0	0	0	9*	0	0	0
	9		0	0	0	0	0	0	0	10*	0	0
	10		0	0	1	0	0	0	8*	0	0	0
	11		0	0	0	0	0	0	10*	0	0	0
	12		0	0	0	0	0	0	7*	0	0	0

*Ovejas reforzadas con 225 mg LiCl/kg PV tras consumir más de cuatro bocados de pámpanos.

TABLA 2. Número de bocados de pámpanos y momento de administración de las dosis de refuerzo del LiCl durante el segundo año en el viñedo comercial A (Lc, Lacaune; Mn, Manchega).

TABLE 2. Number of bites of grapevine leaves and day of administration of LiCl reinforcing doses during the second year in the A commercial vineyard (Lc, Lacaune; Mn, Manchega).

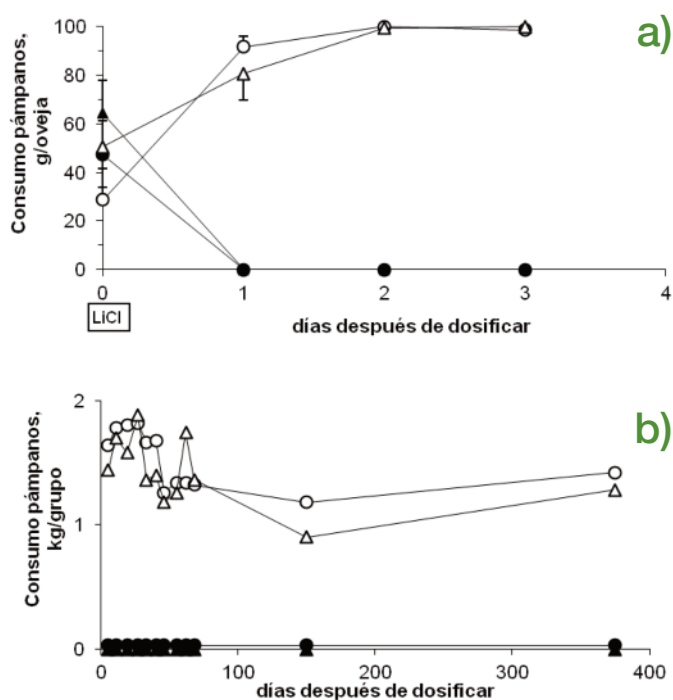


FIGURA 1. a) Consumo de pámpanos durante la creación de la aversión. El día de administración del LiCl está indicado. b) Consumo de pámpanos durante las pruebas en viña simulada. (○, Control Lacaune; ●, Aversión Lacaune; △, Control Manchega; ▲, Aversión Manchega).

FIGURE 1. a) Intake of grapevine leaves during the conditioned taste aversion induction. The day of LiCl administration is indicated. b) Intake of grapevine leaves during the simulated vineyard experiment. (○, Control Lacaune; ●, Aversion Lacaune; △, Control Manchega; ▲, Aversion Manchega)

	Composición botánica			Biodiversidad
	% Poaceae	% Fabaceae	% Otras	Índice de Shannon ¹
Subparcela 1	22,5	28,3	49,5	2,48
Subparcela 2	24,3	24,4	51,3	2,19
Subparcela 3	14,4	30,6	55,0	2,60
Subparcela 4	17,5	32,5	50,0	2,53
Media	19,7 ± 2,6	29,0 ± 2,0	51,5 ± 1,4	2,44 ± 0,10

¹Según Magurran (1989).

TABLA 3. Composición florística (familias) y diversidad (índice de Shannon) de cada subparcela antes del pastoreo en el viñedo B.

TABLE 3. Botanical composition (family) and biodiversity (Shannon index) of each plot of the B commercial vineyard before grazing.

Oveja N.º	Antes pastoreo	Entre los periodos de pastoreo			
	d 710	d 732	d 733	d 740	d 747
1	0	36*	0	0	0
2	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	30*
4	0	0	0	0	0
5	0	72*	0	0	30*
6	0	0	0	0	0

*Ovejas reforzadas con 225 mg LiCl/kg PV tras consumir más de 10 g de pámpanos.

TABLA 4. Consumo de pámpanos (g) de las ovejas Lacaune advertidas durante el tercer año en el viñedo comercial B. Momento de administración de las dosis de refuerzo de LiCl durante la prueba de persistencia de aversión antes y entre periodos de pastoreo.

TABLE 4. Intake of grapevine leaves (g) of the conditioned taste averted Lacaune ewes during the third year in the B commercial vineyard. Day of administration of LiCl reinforcing doses during the test of aversion persistence before and between grazing periods.

Como resultado del pastoreo, la cubierta vegetal se redujo un $44,0 \pm 4,0\%$ (sobre MS), quedando en el suelo la parte más fibrosa y menos nutritiva de las plantas, tal como puede observarse en la composición química de los rechazos (Tabla 5). La disposición de los alambres de las espalderas (70 cm por encima del suelo) permitió el paso de las ovejas por debajo de las vides sin dañarlas y que pastaran uniformemente toda la superficie disponible. Aunque las ovejas empezaron a consumir pámpanos el último día de pastoreo en la subparcela 3, ninguna otra subparcela se vio dañada.

Componente	Subparcela 1		Subparcela 2		Subparcela 3		Subparcela 4	
	Oferta	Rechazo	Oferta	Rechazo	Oferta	Rechazo	Oferta	Rechazo
Materia Seca (%)	29,9	45,8	25,0	60,0	28,9	40,1	30,4	37,7
Proteína Bruta (% sobre MS)	10,5	8,1	12,5	6,4	13,8	8,2	8,9	8,4
Fibra Bruta (% sobre MS)	27,9	33,0	28,8	38,5	30,0	35,9	31,4	32,9
Fibra Neutro Detergente (% sobre MS)	51,4	56,5	48,0	65,2	34,9	55,1	50,5	53,5
Fibra Acido Detergente (% sobre MS)	24,6	30,4	29,2	40,8	24,2	35,8	34,0	36,4
Lignina Acido Detergente (% sobre MS)	2,5	3,6	4,5	7,6	4,1	7,6	5,7	6,1
Cenizas (% sobre MS)	8,6	12,3	9,3	8,8	9,5	8,5	8,2	8,7
Reducción disponibilidad de MS (%)	38,3		42,5		54,0		41,0	

TABLA 5. Composición química de la cubierta vegetal de las subparcelas antes y después del pastoreo del viñedo B y reducción de la biomasa aérea de la cubierta pastada.

DISCUSIÓN

Neofobia alimentaria y diferencias entre razas

Como respuesta al empleo de los pámpanos como alimento nuevo, las dos razas (Manchega y Lacaune) expresaron neofobia durante los primeros días de oferta, incrementando de forma gradual su consumo hasta ser finalmente aceptados. Las ovejas de raza Manchega mostraron un mayor grado de neofobia que las de raza Lacaune, necesitando más días para empezar a consumir los pámpanos. El efecto de la raza de oveja en el grado de neofobia alimentaria ha sido descrito previamente por Manuelian *et al.* (2014) en hojas de olivo. Por otro lado, Villalba *et al.* (2009), observaron que la neofobia y el temperamento de los corderos de razas distintas (Rambouillet-Columbia-Finn-Targhee vs. Suffolk) estaban relacionados, sugiriendo la existencia de un componente genético en el comportamiento neofóbico alimentario.

Creación y validación de la aversión condicionada a la vid

La aversión condicionada a la vid se estableció el primer día con una sola dosis de LiCl (225 mg/kg PV), de acuerdo con los resultados obtenidos por Manuelian *et al.* (2010; 2014) en hojas de olivo. Además, la respuesta al LiCl no mostró diferencias según la raza, lo que confirma la idoneidad de la dosis utilizada. No se detectó ningún efecto (disminución de consumo) tras la manipulación de los animales al administrarles el LiCl o agua con la pistola de desparasitar. En la práctica, debido a la variabilidad individual, podría ser conveniente rechazar animales que no establezcan la AV con facilidad.

Aunque se creó la AV utilizando pámpanos de la variedad *tempranillo*, al llevar las ovejas a un viñedo con variedad *merlot* (año dos), se pudo observar que la AV a los pámpanos se mantuvo independientemente de la variedad utilizada. Estos resultados coinciden con los obtenidos por Ginane y Dumont (2006) quienes observaron que diferentes estados de presentación de la misma especie no afectaban al grado de aversión.

TABLE 5. Chemical composition of the herbaceous vegetation of the commercial vineyard B before and after grazing each plot and reduction in its aerial biomass.

Aversión condicionada a largo plazo en viñedos

Hay pocos estudios que hayan evaluado la persistencia de la AV a largo plazo. En nuestro estudio la AV se mantuvo en la mayoría de las ovejas durante los tres años de ensayo, lo que concuerda con los resultados obtenidos por Lane *et al.* (1990) y Ralphs (1997) en vacas de carne durante dos a tres años.

Como factor importante de la persistencia de la AV, debe destacarse la disponibilidad y calidad de la cubierta vegetal a pastar a fin de prevenir el consumo del alimento diana, lo que concuerda con lo indicado por otros autores (Burritt y Provenza, 1990; Thorhallsdottir *et al.*, 1990). En el mismo sentido, Ralphs y Cheney (1993) y Thorhallsdottir *et al.* (1987) indicaron que la AV se debilita cada vez que el animal consume el alimento diana sin sufrir efectos negativos post-ingestión. En nuestro caso, los resultados obtenidos indicaron que, en los viñedos comerciales, las ovejas empezaron a consumir pámpanos cuando la cubierta vegetal era escasa.

Restablecimiento de la aversión

La AV se restableció en la mayoría de las ovejas el día después de administrar una dosis de refuerzo, excepto en un caso en el que se debió redosificar aproximadamente un mes más tarde. El grado de AV conseguido con la dosis utilizada (225 mg LiCl/kg PV) fue mayor que el obtenido por Burritt y Provenza (1990) con una dosis de 160 mg LiCl/kg PV. El hecho de que la oveja que necesitó dos dosis de refuerzo en el viñedo B fuese la que aparentemente más viña consumió antes de ser redosificada (72 g en 30 minutos), respalda la idea de que la cantidad de alimento consumido previamente a la administración del LiCl está relacionada con la intensidad y persistencia de la AV (Massei y Cowan, 2002). En las pruebas en los dos viñedos comerciales, las ovejas estaban acostumbradas a la presencia de los observadores, y el manejo para la administración del refuerzo de LiCl no supuso una situación de estrés extra que interfiriera al comportamiento del rebaño.

Por otro lado, no todas las ovejas necesitaron ser redosificadas en el viñedo B (tercer año de la experiencia), lo que podría ser consecuencia de la variabilidad individual para mantener una AV efectiva. Todo ello pone de manifiesto la necesidad de un control sistemático e individualizado del grupo de animales AV durante el pastoreo.

CONCLUSIONES

La aversión condicionada a la vid puede establecerse con éxito con una sola dosis inicial de 225 mg LiCl/kg PV, siendo necesario su refuerzo anual para conseguir mantenerla en años sucesivos. Para evitar que las vides sean consumidas por las

ovejas, resulta clave la gestión de la disponibilidad de la cubierta vegetal, recomendando que siempre dispongan de un alimento apetecible a disposición.

Los resultados obtenidos indican la posibilidad de utilizar rebaños advertidos para el control de las cubiertas vegetales en viñedos, como alternativa sostenible frente al uso de herbicidas y sistemas mecánicos de control. No obstante, se necesita un cierto grado de observación de la conducta alimentaria de los animales y del estado de la superficie vegetal para poder actuar cuanto antes en caso de que se necesite reforzar la aversión.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AOAC (2005) *Official Methods of Analysis*, 18th ed. Gaithersburg, EEUU. Association of Official Analytical Chemists.
- BOX-COX G.E.P. Y COX D.R. (1964) An analysis of transformations. *Journal of the Royal Statistical Society*, 26, 211-234.
- BURRITT E.A. Y PROVENZA F.D. (1990) Food aversion learning in sheep: persistence of conditioned taste aversions to palatable shrubs (*Cercocarpus montanus* and *Amelanchier alnifolia*). *Journal of Animal Science*, 68, 1003-1007.
- BURRITT E.A., DORAN M. Y STEVENSON M. (2013) Training livestock to avoid specific forage. *Natural Resources*, 1-13.
- DORAN M.P., GEORGE M.R., HARPER J.H., INGRAM R.S., LACA E.A., LARSON S. Y MCGOURTY G.T. (2009) Vines and ovines: using sheep with a trained aversion to grape leaves for spring vineyard floor management. En: *Proceedings of the 60th Annual Meeting of the European Association for Animal Production*. pp. 325. Wageningen, Países Bajos. Wageningen Academic Publishers,
- GINANE C. Y DUMONT B. (2006) Generalization of conditioned food aversions in grazing sheep and its implications for food categorization. *Behaviour Processes*, 73, 178-186.
- GORNIAK S.L., PFISTER J.A., LANZONIA E.C. Y RASPANTINI E.R. (2008) A note on averting goats to a toxic but palatable plant *Leucaena leucocephala*. *Applied Animal Behaviour Science*, 111, 396-401.
- HATFIELD P.G., LENNSEN A.W., SPEZZANO T.M., BLODGETT S.L., GOOSEY H.B., KOTT R.W. Y MARLOW C.B. (2007a) Incorporating sheep into dryland grain production systems II. Impact on changes in biomass and weed density. *Small Ruminant Research*, 67, 216-221.
- HATFIELD P.G., LENNSEN A.W., SPEZZANO T.M., BLODGETT S.L., GOOSEY H.B., KOTT R.W. Y MARLOW C.B. (2007b) Incorporating sheep into dryland grain production systems III. Impact on changes in soil bulk density and soil nutrient profiles. *Small Ruminant Research*, 67, 222-231.
- IBÁÑEZ S., PÉREZ J.L., PEREGRINA F., CHAVARRI J.B. Y GARCIA-ESCUADERO, E. (2011) Cubiertas vegetales en viñedos. *Cuaderno de Campo* 47, 31-35.
- LANE M.A., RALPHS M.H., OLSEN J.O., PROVENZA F.D. Y PFISTER J.A. (1990) Conditioned taste aversion: potential

- for reducing cattle loss to larkspur. *Journal of Range Management*, 43, 127–131.
- MAGURRAN A.E. (1989) *Diversidad ecológica y su medición*. Barcelona. Ediciones Vedral.
- MANUELIAN C.L., ALBANELL E., ROVAI M., SALAMA A.A.K. Y CAJA G. (2010) Conditioned aversion to olive tree leaves (*Olea europaea* L.) in goats and sheep. *Applied Animal Behaviour Science*, 128, 45-49.
- MANUELIAN C.L., ALBANELL E., ROVAI M., SALAMA A.A.K. Y CAJA, G. (2014) Effect of breed and lithium chloride dose on the conditioned aversion to olive tree leaves (*Olea europaea* L.) of sheep. *Applied Animal Behaviour Science*, 155, 42-48.
- MANUELIAN C.L., ALBANELL E., ROVAI M., CAJA, G. Y GUI-TART, R. (2015) Kinetics of lithium as a lithium chloride dose suitable for conditioned taste aversion in lactating goats and dry sheep. *Journal of Animal Science*. Aceptado (doi:10.2527/jas2014-8223).
- MASSEI G. Y COWAN D.P. (2002) Strength and persistence of conditioned taste aversion in rats: evaluation of 11 potential compounds. *Applied Animal Behaviour Science*, 75, 249-260.
- OSBORNE J.W. (2010) Improving your data transformations: Applying the Box-Cox transformation. *Practica. Assessment, Research & Evaluation*, 15, 2.
- RALPHS M.H. (1997) Persistence of aversions to larkspur in naive and native cattle. *Journal of Range Management*, 50, 367–370.
- RALPHS M.H. Y CHENEY C.D. (1993) Influence of cattle age, lithium chloride dose level and food type in the retention of food aversions. *Journal of Animal Science*, 71, 373–379.
- RALPHS M.H., PROVENZA F.D., PFISTER J.A., GRAHAM D., DUFF D.C. Y GREATHOUSE G. (2001) Conditioned food aversion: from theory to practice. *Rangelands*, 23, 14-18.
- THORHALLSDOTTIR A.G., PROVENZA F.D. Y BALPH D.F. (1987) Food aversion learning in lambs with or without a mother: Discrimination, novelty and persistence. *Applied Animal Behaviour Science*, 18, 327-340.
- THORHALLSDOTTIR A.G., PROVENZA F.D. Y BALPH D.F. (1990) Social influences on conditioned food aversions in sheep. *Applied Animal Behaviour Science*, 25, 45-50.
- VAN SOEST P.J. (1982) *Nutritional ecology of the ruminant*. Ithaca, Nueva York, EEUU. Cornell University Press.
- VILLALBA J.J., MANTECA X. Y PROVENZA F.D. (2009) Relationship between reluctance to eat novel foods and open-field behavior in sheep. *Physiology & Behaviour*, 96, 276–81.



HISTORIA BREVE DE PASTOS

J. PIÑEIRO ANDIÓN

Editor de PASTOS de 1992 a 2012

Archer Milton Huntington, 19, 6º izda. 15011 A Coruña (España).
pineiro@mun-do-r.com

PRIMERA ÉPOCA. FUNDACIÓN Y CONSOLIDACIÓN DE LA REVISTA

La Revista PASTOS, de la Sociedad Española para el Estudio de los Pastos (SEEP), cuyo primer número se publicó el 1 de enero de 1971, fue creada por acuerdo de la Asamblea General de la SEEP celebrada el 16 de febrero de 1970. Su primer Director fue D. Manuel del Pozo Ibáñez y D. Julián de Zulueta y Artaloytia su primer Subdirector. Después de haberse publicado el primer número, D. Manuel del Pozo solicitó la renuncia al cargo por haber sido nombrado Director de la recientemente creada Agencia de Desarrollo Ganadero, para lo que debería desplazarse a Sevilla, solicitud que fue aceptada por la Junta Directiva, nombrando nuevo Director a D. Julián de Zulueta y Artaloytia y nuevo Subdirector a D. Rafael Caballero García-Arévalo.

Como se indica en el acta de la Asamblea celebrada el 21 de diciembre de 1970, cuando se señala que “Los trabajos se publicarán oportunamente en la Revista «Pastos»”, al referirse a la XI Reunión Científica celebrada en Cádiz en abril de 1970, PASTOS nace con el objetivo principal de publicar una selección de las ponencias y comunicaciones más relevantes que se presenten en las Reuniones Científicas anuales, para poner la información conseguida a disposición de agricultores y ganaderos, técnicos, investigadores, profesores y lectores en general. En todo caso, la Revista está abierta a recibir artículos directamente, sin necesidad de que hayan sido presentados previamente en las reuniones científicas. Por otro lado, en la Revista se recogen distintas actividades de funcionamiento de la SEEP, como asambleas, movimiento de socios, renovación de miembros de la Junta Directiva, reuniones científicas anuales, reseñas de libros y publicaciones recibidas, para información de los socios. Con ciertas variaciones en algunos años, cada número consta de los siguientes apartados: 1. *Artículos científicos y notas técnicas o de investigación*; 2. *Reseñas de libros*; 3. *Publicaciones recibidas*; y 4. *Noticias de la SEEP*. Dentro de las Noticias de la SEEP se hace, en algunos volúmenes, un detalladísimo resumen de las reuniones científicas, con inclusión del programa, relación de ponencias y comunicaciones presentadas,

descripción detallada de las visitas a ensayos y explotaciones, discursos de las autoridades locales y del Presidente de la SEEP, etc.

PASTOS 1(1) (1971) abre con el artículo “*Algunas reflexiones sobre la Sociedad Española para el Estudio de los Pastos y nuestra problemática pascícola*”, de G. González y González, Fundador y Presidente de la SEEP en esos momentos, en el que comenta los logros conseguidos a lo largo de los 12 años de existencia de la Sociedad y señala, especialmente, “las deficiencias que padecen los niveles científico, técnico y práctico de esta rama tan trascendente de la agricultura patria” porque las diferencias entre la producción conseguida en nuestros pastos dista mucho de lo que él llama “potencial práctico”. A pesar de que los potenciales indicados parecen demasiado altos, estamos de acuerdo en que acercarse en lo posible a ellos es “el reto que la SEEP debe hacer suyo” para “mejorar las condiciones en que se desenvuelve esta rama de la agricultura”. Señala también “la necesidad de crear delegaciones regionales o provinciales” para llevar adelante esta mejora. A pesar de que esta idea no ha llegado a concretarse dentro la Sociedad hasta el momento, es oportuno comentar que socios gallegos de la SEEP han sentido también esta necesidad y fundaron recientemente la “*Sociedade Galega de Pastos e Forrages* (SGPF)”, el 26 de abril de 2014, que nace con un claro objetivo de complementariedad con la SEEP, que es una sociedad científica, para hacer llegar los conocimientos al sector e interactuar con los agricultores y ganaderos. De hecho, la SGPF tiene previsto realizar su Primera Reunión de Otoño en A Fonsagrada, una importante zona ganadera de la provincia de Lugo, el 24 de octubre de 2014, con la participación activa de ganaderos en el desarrollo de la jornada.

Dentro del número 1(1) destaca el segundo artículo, con el título de “*La organización de la investigación agrícola en el Reino Unido con particular referencia a la hierba y forrajes*”, de E. K. Woodford, Director del *Grassland Research Institute* de Hurley (Berkshire, Inglaterra), basado en una conferencia pronunciada por el autor en el Salón de Actos del Instituto Nacional de Investigaciones Agronómicas (Madrid) el día 20 de febrero de 1968, bajo los auspicios de la SEEP. Esta

conferencia y correspondiente artículo han sido premonitorios del importante desarrollo que la Investigación Agraria experimentó en España en la década siguiente, con la creación de los Centros Regionales de Investigación y Desarrollo Agrario. En esos momentos la Investigación Agraria realizada en el Reino Unido era un buen referente, entre otros, para acometer el desarrollo de la Investigación Agraria española.

Entre los siguientes números destacan PASTOS 5(1) y 5 (2), de 1975, porque recogen, traducidas al español, todas las ponencias y comunicaciones presentadas en la "6ª Reunión General de la Federación Europea de Pastos" (6th *General Meeting of the European Grassland Federation -EGF-*), que se celebró en Madrid del 28 de abril al 3 de mayo de 1975, bajo la Presidencia de D. Gaspar González y González, Presidente de la EGF y de la SEEP en esas fechas.

En la Asamblea celebrada el 30 de enero de 1981 se sugirió un cambio de imprenta para agilizar la publicación de la Revista, para lo que se propone que el vocal D. Juan Remón Eraso contacte con la imprenta de Santander que había publicado los números 8(1) y 8(2), de 1978, en los que se incluyeron las comunicaciones presentadas en la XVIII Reunión Científica de la SEEP, celebrada en Santander en 1978. En 1981, D. Rafael Caballero García-Arévalo solicitó su relevo en el cargo de Subdirector, puesto para el que se nombró a D. Juan Remón Eraso, que se ocuparía específicamente de la gestión de la impresión de la Revista, que se concentró en imprentas de Santander desde 1981 hasta 1997, con el objetivo de hacer una supervisión cercana a su residencia, además de colaborar con el Director en distintos aspectos relacionados con su contenido. Anteriormente, la mayor parte de los números se hicieron en imprentas de Madrid, ciudad de residencia del Director y del Subdirector. Para lograr una estabilidad que no se estaba consiguiendo en los últimos años en Santander, al ser necesario cambiar cuatro veces de imprenta desde 1992 a 1997, se acordó buscar una empresa en Galicia, que imprimió la Revista desde 1998 hasta 2012, año en que finalizó la edición en papel, asumiendo el Director también el papel de editor-gestor en este periodo. En la Asamblea del 19 de febrero de 1988, se avanzó un poco más en la organización de la Revista, nombrándose Subdirector a D. Juan Piñeiro Andiñón, pasando D. Juan Remón Eraso a ocupar el cargo de Editor-Gestor, de nueva creación, y ampliándose el Comité de Redacción con la creación de cuatro áreas y nombramiento de los redactores siguientes: 1) *Geología y Botánica*: D. Pedro Montserrat y D. Estanislao Luis, 2) *Producción vegetal*: D. Luis Miró-Granada y D. Enrique Correal, 3) *Producción animal*: D. Jesús Treviño y D. Jaime Zea, y 4) *Economía*: D. Manuel Ocaña. Destaca en esta época la eficiente labor realizada por D. Juan Remón que consiguió resolver un cierto atasco en la publicación de la Revista, originado por la dificultad de conseguir los originales de las reuniones científicas en algunos años, con la propuesta de publicar en un solo volumen

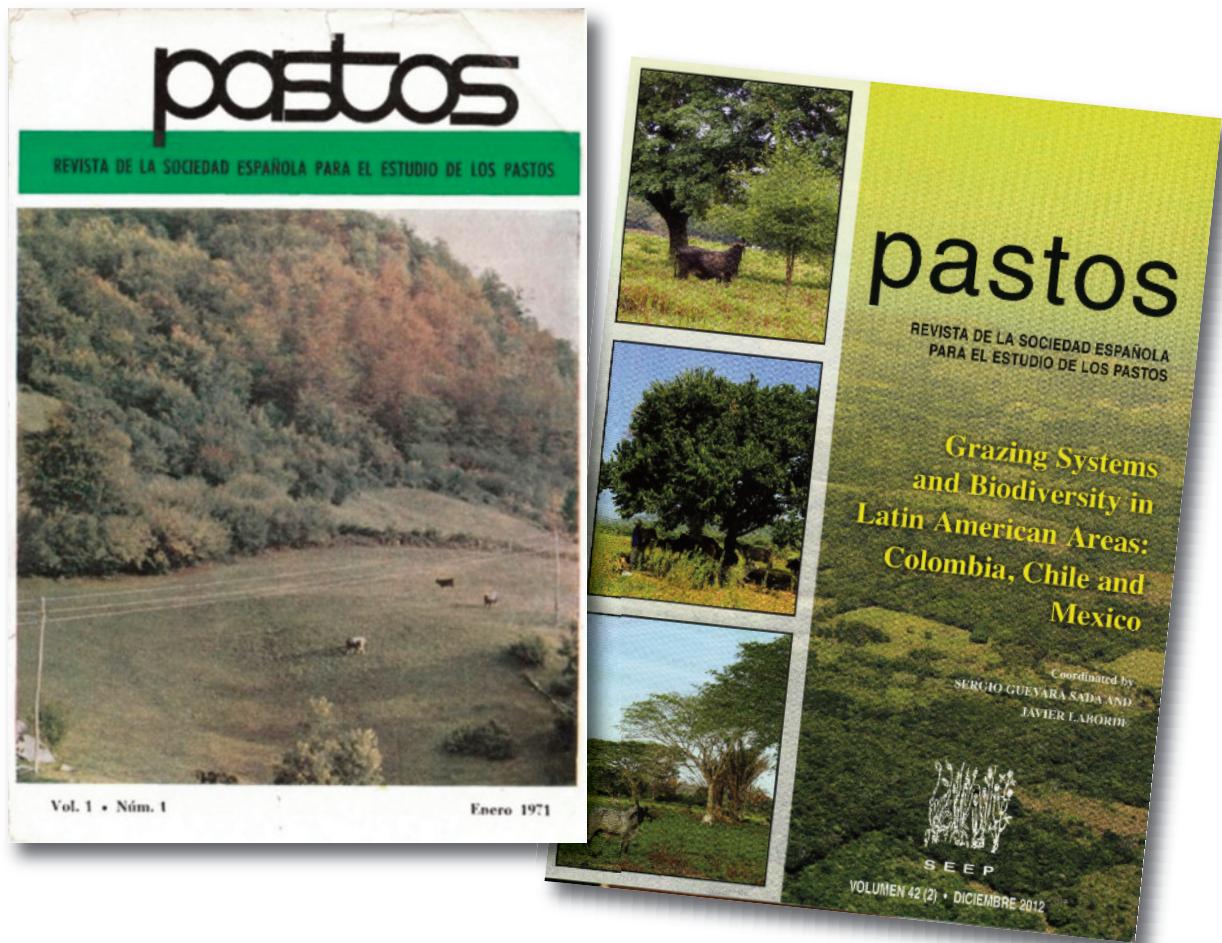
los cuatro ejemplares correspondientes a 1988 y 1989, y en otro los cuatro correspondientes a 1990 y 1991.

Desde 1971, año de fundación de la Revista, hasta 1987 hubo solamente dos redactores: D. José M^a de Abreu y Pidal y D. Gaspar González y González, salvo en 1982, año en que se incorporaron D. Valeriano Yepes Hernández de Madrid, D. Juan Piñeiro Andiñón y D. Antonio González Rodríguez para la edición de los dos números de ese año, que correspondían a la XXII Reunión Científica, celebrada en Galicia. En la Asamblea del 8 de febrero de 1991 se aceptó la solicitud de relevo de D. Julián de Zulueta y Artaloytia de su cargo de Director, debido a su próxima jubilación, y se nombró en su lugar a D. Juan Piñeiro Andiñón, que ejerció como Director a partir de enero de 1992. En esa misma Asamblea, se acordó desvincular la Revista de las reuniones científicas porque las comisiones organizadoras vienen publicando íntegramente sus actas, y entregándolas a los asistentes en el primer día de la reunión, desde la XXXV Reunión Científica, celebrada en 1985 en Valladolid, con lo que la Revista era, en realidad, una duplicación de algo previamente publicado. Con la publicación de los dos números de 1992, se considera finalizada la primera época, que corresponde a la fundación y consolidación de la Revista.

SEGUNDA ÉPOCA. REVISIONES CIENTÍFICAS

Con PASTOS 23(1), correspondiente al primer semestre de 1993, comienza una nueva etapa en la que se incluye una revisión científica, al menos, en todos los números, con excepción de los monográficos, que suelen estar constituidos casi exclusivamente por un conjunto de revisiones científicas sobre una región o tema determinados. Como consecuencia, cada número se estructura en los apartados siguientes: 1. *Revisión científica*, 2. *Trabajos científicos*, 3. *Notas técnicas o de investigación*, 4. *Recensiones de libros*, 5. *Publicaciones recibidas*, 6. *Reuniones científicas* y 7. *Noticias de la SEEP*. Dependiendo del número, puede faltar alguno de los apartados, salvo el 1 y el 2, que son obligatorios. De hecho, con el paso del tiempo, la Revista se ha ido simplificando y consta de los cuatro apartados siguientes: 1. *Revisión científica*, 2. *Trabajos científicos*, 3. *Notas técnicas o de investigación* (puede faltar) y 4. *Reuniones científicas* (incluye las Conclusiones de la RC correspondiente al año de publicación de la Revista).

Para iniciar la serie de revisiones científicas, se invitó a dos prestigiosos investigadores y gestores de la investigación: El español Dr. Gaspar González y González, Socio de Honor y Fundador de la SEEP, y el neozelandés Dr. Raymond Wilkie Brougham, Director de *Grasslands Division*, del Ministerio de Investigación Científica e Industrial de Nueva Zelanda, y Presidente del XVII Congreso Internacional de Pastos, celebrado en Nueva Zelanda en 1993. Los dos han destacado, nacional



Portadas de los números 1(1) de enero del año 1971 y 42(2) de diciembre del año 2012, primer y último número de la serie impresa en papel de la revista PASTOS.

e internacionalmente, por la investigación realizada en el campo de los pastos y forrajes, siempre acompañada por su incesante interés de llegar con sus hallazgos a los agricultores y ganaderos para que los aplicasen en sus explotaciones.

En la primera revisión científica, que se publicó en PASTOS 23(1) (1993) con el título de *“El enfoque energético en la producción de hierba”*, el Profesor González aborda un tema de permanente actualidad en el mundo moderno. La segunda, prevista para el número siguiente, se le pidió al Dr. Brougham, para la que se le sugirió el título de *“Pastos para nuestro mundo”*, que fue el lema del XVII Congreso Internacional de Pastos, antes mencionado. Desafortunadamente, le sorprendió la muerte, inesperada y repentina, cuando estaba en el proceso de su preparación. Dada la abundante información científica publicada por el Dr. Brougham, se pidió al Dr. Warwick Harris, uno de sus más estrechos colaboradores durante una fase de su vida, una revisión sobre su contribución a la ciencia de los pastos, que se publicó como revisión científica en PASTOS 23(2) (1993), con el título de *“The contributions of Dr. Raymond Wilkie Brougham to grassland science and management”*, un modesto homenaje a un hombre, de gran categoría humana y científica, que mostró por todo el mundo su profunda vocación por el estudio de los pastos. Con esta revisión se inicia, por otro lado, una decidida salida

al exterior de la Revista PASTOS, que se consolidaría en números posteriores con la inclusión de científicos extranjeros en el amplio comité de redacción, de 22 miembros, y con la publicación de revisiones científicas escritas por autores de los 16 países siguientes: Alemania, Australia, Bélgica, Colombia, Cuba, Chile, España, Estados Unidos, Francia, Grecia, Italia, México, Nueva Zelanda, Polonia, Portugal y Reino Unido.

Entre los números posteriores, merecen mención especial los dos nomenclátors, la revisión histórica y los dos monográficos.

Con la elaboración del *“Nomenclátor básico de pastos en España”*, publicado en PASTOS 31(1) (2001), los Profesores Ferrer, San Miguel y Olea, resolvieron con éxito una deuda pendiente en la SEEP desde su primera reunión científica, celebrada en 1960, en la que algunos destacados socios sugirieron definir y unificar las distintas voces utilizadas por los autores de las comunicaciones para denominar la misma cosa, dependiendo, en muchos casos, de la región de origen del autor y/o de su formación académica. Como complemento, los Profesores Maroto, Gómez, Guerrero, Garrido y Pérez elaboraron el *“Nomenclátor de muestras de alimentos para animales y de sus principios nutritivos”*, publicado en PASTOS 41(1) (2011), en el que se establece la manera de poner el nombre a las muestras y de denominar los principios

nutritivos de los alimentos para animales. Con la publicación de los nomenclátors, la SEEP ha conseguido unificar la terminología utilizada por los autores de las reuniones científicas y de la Revista PASTOS porque han sido incorporados a las normas que deben seguir para redactar sus artículos, ponencias y/o comunicaciones. Por otro lado, los nomenclátors nacieron con la idea de convencer de las ventajas de su utilización a científicos y técnicos de áreas afines, en Universidades, Centros de Investigación, Laboratorios de Análisis, Administraciones Públicas y Empresas Privadas. Dos buenos ejemplos de ello son: 1) La Xunta de Galicia viene utilizando los términos “prado” y “pradeira” (pradera, en español) desde el *Anuario de Estadística Agraria* de 2003, recomendados por el “Nomenclátor básico de pastos en España”, en lugar de “prado natural” y de “pradería polifita”, respectivamente, que se utilizaban en los anuarios anteriores, y 2) La Real Academia Galega aceptó, en su actualización de 2013, las definiciones del Nomenclátor de pastos para la descripción de las voces “prado” y “pradeira”, entre otras, en su Diccionario de la Lengua Gallega (*“Diccionario de la Real Academia Galega”*), accesible en internet.

En la que se ha denominado Revisión Histórica, que se publicó en PASTOS 39(2) (2009) con el título de *“Antecedentes, fundación, desarrollo y consolidación de la Sociedad Española para el Estudio de los Pastos (1949-1978)”*, el Profesor Gaspar González y González, escribió una documentada historia de la SEEP, desde los prolegómenos, en 1949, hasta 1978, pasando por su fundación, *de facto* en 1959 y *de iure* en 1960.

Hacia el final de la segunda etapa se han publicado los dos monográficos siguientes:

- 1) *“Grazing systems and biodiversity in Mediterranean areas: Spain, Italy and Greece”* [PASTOS 39(1), 2009], en el que un equipo de 11 investigadores de Grecia, Italia y España, coordinado por D. Rafael Caballero García-Arévalo, hizo una revisión, actualizada y muy documentada, sobre los sistemas de pastoreo extensivo y su efecto sobre la biodiversidad en la cuenca mediterránea, y
- 2) *“Grazing systems and biodiversity in Latin American areas: Colombia, Chile and Mexico”* [PASTOS 42(2), 2012], en el que otro equipo de 17 investigadores de Colombia, Chile, España y México, coordinados por D. Sergio Guevara Sada y D. Javier Laborde, analizaron en profundidad las consecuencias ambientales derivadas de la entrada del ganado vacuno en el continente americano y el conflicto que se desencadenó sobre la dedicación de la tierra a la cría de ganado o a la producción de cultivos diversos.

Con la publicación de este monográfico finaliza la segunda etapa de PASTOS, con la que remata también su publicación en papel impreso. En todo caso, en los últimos años se simultaneó la impresión en papel con la impresión digital, a través de la plataforma <http://polired.upm.es/index.php/pastos>.

Al final de esta etapa, PASTOS figuraba en las bases de datos siguientes:

<http://polired.upm.es/index.php/pastos>, AGRIS (Italia), CAB Abstracts (Reino Unido), CABI Full Text (Reino Unido), Catálogo LATINDEX (México), DIALNET (España), ICYT Ciencia y Tecnología (España).

TERCERA ÉPOCA. LA ERA DIGITAL

En la Asamblea de la SEEP celebrada el 31 de enero de 2013, se acordó que la Revista sería exclusivamente digital en el futuro y se nombró a D. Ramón Reiné Viñales y a D. Juan Busqué Marcos, como Editores, en sustitución de D. Juan Piñeiro Andión, que había solicitado el relevo como consecuencia de su jubilación. Empezó con ello una nueva e ilusionante época bajo la dirección de dos jóvenes, ilusionados y muy prestigiados socios de la SEEP, que se enfrentan al apasionante reto de modernizar la Revista y hacerla más atractiva a los autores, para lo que es necesario conseguir que PASTOS tenga en el futuro su índice de impacto en el panorama científico internacional.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer, en primer lugar, a los autores de las revisiones y artículos publicados por su generosidad al haber confiado a PASTOS la publicación de los resultados de sus revisiones bibliográficas e investigaciones científicas. Ellos fueron la base fundamental para que la Revista siguiese publicándose, todos sabemos que sin autores es imposible que exista una revista. En segundo lugar, expreso también mi sincero agradecimiento a la gran labor realizada por todos los miembros del Comité de Redacción, que han estado siempre dispuestos a emitir sus revisiones en muy breve plazo, cuando se le ha pedido. Por último, quiero expresar mi agradecimiento especial a D. Juan Remón Eraso, por su eficiente labor como editor-gestor en los inicios de mi responsabilidad como Director, a los coordinadores de los monográfico y a todos los miembros de la Familia SEEP, en la que todo el mundo se encuentra muy cómodo.

A Coruña, 15 de octubre de 2014

53 REUNIÓN CIENTÍFICA DE LA SOCIEDAD ESPAÑOLA PARA EL ESTUDIO DE LOS PASTOS (S.E.E.P.) “PASTOS Y PAC 2014-2020”

A. MARTÍNEZ FERNÁNDEZ

Vicepresidenta de la S.E.E.P.



© Alfonso Sammiguel

Participantes en la 53 RC de la SEEP en el Puerto de Áliva (Picos de Europa). Jornada de campo celebrada el 10 de junio de 2014.

CONCLUSIONES GENERALES DEL CONGRESO EN TORNO A LA PAC 2014-2020

El lema de la R.C. (*Pastos y PAC 2014-2020*) se vio reflejado en la temática de las ponencias, que trataron distintos aspectos de esta compleja política, a punto de comenzar un nuevo ciclo. El objetivo de la organización fue poner al día a los socios de la SEEP e investigadores en pastos de la gran importancia que tienen los pastos en las ayudas de la PAC, y de cómo los investigadores pueden a su vez influir en que esta política sea más sostenible para el territorio y los sistemas productivos que usan los pastos.

La primera ponencia, titulada “**Oportunidades y retos de los pastos frente a la nueva PAC en un contexto de cambio climático**”, fue impartida por **Agustín del Prado**, del Centro Vasco por el Cambio Climático (BC3), en un trabajo realizado por este investigador, junto con Isabel Bardají (Universidad Politécnica de Madrid) y Rosa María Mosquera-Losada (Universidad de Santiago de Compostela). En esta ponencia, el autor comenzó haciendo un repaso del funcionamiento de la nueva PAC 2014-2020, con especial hincapié en el nuevo pago verde del primer Pilar. A continuación expuso los impactos del cambio climático en Europa, y las posibles estrategias en sistemas ganaderos basados en pastos en relación a su mitigación (reducción de la emisión de óxido nitroso, metano, secuestro de

DATOS NUMÉRICOS

Participación de España

- Representación de 15 Comunidades Autónomas
- Colaboraciones de 14 Universidades Españolas
- Colaboraciones de 6 Centros del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)
- Colaboraciones de 11 organismos Públicos de Investigación no CSIC
- Colaboraciones de 2 laboratorios agrarios
- Gobiernos regionales
- Plataforma para la Ganadería extensiva y el pastoralismo
- Instituto Vasco para el cambio climático
- Empresas de gestión ambiental y consultorías
- Empresas del sector
- Colaboraciones de cooperativas agrarias

Colaboraciones fuera de España

- Colaboraciones de 7 Universidades de Reino Unido (Universidad de Exeter y Universidad de Aberyystwyth), Francia (Universidad de Clermont Ferrand, Finlandia (Universidad de Turku), México (Universidad autónoma de Hidalgo y Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM) y Chile (Universidad Austral),
- Colaboraciones de organismos Públicos de Investigación de Andorra Francia (INRA-UMR), Irlanda (Teagasc- Moorepark), Finlandia (MTT Agrifood Research).
- Colaboración de la Federación Europea de sistemas Agroforestales (EUFAR) y del Foro Europeo por la conservación de la naturaleza y el pastoralismo (EFNCP)

Esta reunión ha generado la siguiente participación

- 112 inscripciones: Ponentes invitados, delegados, acompañantes, organización
- 4 Ponencias invitadas: 5 ponentes
- 70 Comunicaciones: todas con exposición oral
 - 22 de Botánica y ecología de Pastos
 - 18 de Producción vegetal
 - 14 de Producción animal
 - 18 de Sistemas y recursos silvopastorales

El programa de trabajo se estructuró en

- 11 Sesiones de trabajo
- 2 Jornadas de campo:
 - Zona de Montaña: Puerto de Áliva (Picos de Europa)
 - Zona Litoral: Finca Aranda (Cóbreces) y Centro Integrado de Formación Profesional la Granja (Heras).
- Homenaje a D. Juan Remón Eraso (Expresidente de la SEEP y socio de Honor)

carbono) y adaptación (manejo de los pastos, el pastoreo, la suplementación, etc). El autor puso en evidencia cómo algunas medidas que a una escala local podrían parecer adecuadas en los escenarios de cambio climático (p.ej. disminuir el tiempo de pastoreo por descensos en su productividad en la región mediterránea) podrían acarrear efectos negativos a una escala más global por el incremento en el uso de alimentos externos provenientes de una agricultura lejana (aumento de la huella de carbono de los alimentos de origen animal producidos). Sugirió el uso de subproductos agroindustriales, forrajes alternativos, rotaciones más adaptadas y la práctica de sistemas agroforestales como estrategias más sostenibles de enfrentarse al cambio climático. Finalmente, el ponente puso de relieve la escasa representación explícita de estas medidas de mitigación/adaptación al cambio climático en la reglamentación de la PAC, las distintas formas y escaso consenso aún de medir aspectos clave como son la huella de carbono (¿por unidad de superficie, o de producto, o por otras uds. alternativas?), y la importancia de otras medidas escasamente contempladas, como disminuir demanda y desperdicio de alimentos, y evitar la competencia entre productos para la alimentación animal o directamente para humanos.

La segunda ponencia, titulada “**Pastos, PAC y programas de desarrollo rural 2014-2020: ¿nuevas oportunidades para avanzar en la provisión de bienes públicos y servicios agroambientales en España y en la UE?**”, fue impartida por **Marcos Domínguez**, del Centro de Investigación y Formación Agrarias de Cantabria. Comenzó con una descripción detallada del concepto de bienes públicos, y cómo progresivamente la PAC ha pasado de ser principalmente productivista a considerar cada vez más importantes la generación y mantenimiento de estos bienes públicos, especialmente recogidos en el Pilar 2 o de desarrollo rural. Dentro de este Pilar, pasó a describir el fundamento y funcionamiento de las ayudas agroambientales, como mecanismo más enfocado a conseguir un nivel óptimo de bienes y servicios ambientales ligados a ciertas prácticas agrarias. Explicó los factores que contribuyen a que estas medidas tengan éxito y su importancia en distintos Estados Miembros. Dentro de las medidas agroambientales, profundizó su análisis en las relacionadas con pastos comunales, remarcando sus peculiaridades, beneficios y problemas por su carácter colectivo, así como ejemplos concretos de aplicación en Cantabria, Escocia e Inglaterra. Concluyó que la mejora en el uso de los recursos comunales debe hacerse con un enfoque colectivo de gestión. En este sentido, los programas agroambientales deben incentivar la participación de los usuarios en acciones coordinadas que garanticen ese objetivo y la satisfacción de las demandas sociales. Es preciso, en todos los casos analizar, justificar y legitimar socialmente las intervenciones bajo una perspectiva de análisis coste-beneficio.

La tercera ponencia, titulada “**Ingredientes para una nueva Política Agraria Común en apoyo de los sistemas ganaderos**”

sostenibles ligados al territorio", fue impartida por **Guy Beaufoy** (Foro Europeo por la Conservación de la Naturaleza y el Pastoralismo) y **Jabier Ruíz Mirazo** (Federación Europea de Sistemas Agroforestales). Los ponentes estructuraron su presentación en tres partes: Pilar 1 y Pilar 2 de la PAC y otras consideraciones a tener en cuenta en esta política. Hicieron un resumen de los aspectos de cada uno de los dos pilares de la PAC con mayor importancia sobre los sistemas ganaderos extensivos, poniendo de relieve las principales debilidades de la nueva reforma que comenzará en 2015. En el primer Pilar describieron paradojas como la disparidad en los valores de los derechos de pago único/básico entre sectores en España, o la gran cantidad de superficie de pasto existente no contabilizada. Explicaron el concepto de Coeficiente de Admisibilidad de Pastos, actualmente en desarrollo a nivel estatal, y en la necesidad de diferenciar abandono de utilización, especialmente en el caso de los pastos arbustivos y arbolados. Propusieron la inclusión de mediciones relacionadas con la existencia de una actividad pastoral mínima, y la necesidad de incorporar los elementos paisajísticos de alto valor natural. Para el segundo Pilar remarcaron su prioridad nº 4 referente a la conservación de los sistemas agrarios de alto valor natural y en una serie de medidas consideradas más relevantes: agroambientales, compensatorias en Red Natura 2000 y zonas desfavorecidas, o pastoreo en la lucha contra incendios. Valoraron también positivamente la promoción de proyectos de cooperación entre productores y otros actores (grupos operativos y proyectos piloto). La necesidad de investigar en temas como tipos de pasto, cargas ganaderas y manejos sostenibles, socioeconomía y cuantificación ambiental fueron aspectos considerados en la tercera parte de la ponencia, así como la mejora de la base de datos SIGPAC en algunos de estos aspectos. En las conclusiones globales remarcaron el declive de la ganadería extensiva y la pérdida con ello de bienes públicos, poniendo de relieve que la PAC ofrece herramientas para revertir este proceso, pero que hay que aprovecharlas.

La cuarta y última ponencia, titulada "**Herramientas para la gestión de los pastos de montaña en el marco de la PAC**", fue ofrecida por **Juan Busqué**, del Centro de Investigación y Formación Agrarias de Cantabria. Su presentación comenzó por una evaluación de la importancia de los pastos comunales de montaña en España y Cantabria, tanto en superficie como en su uso ganadero. Remarcó la necesidad de cuantificar muchos de estos aspectos, así como de los bienes públicos asociados, buscando también las razones del actual desconocimiento. A continuación presentó el valor económico de los pastos comunales de Cantabria ligado a ayudas de la PAC, y pronosticó su pérdida de importancia para el nuevo ciclo 2014-2020. Esta pérdida de importancia la consideró ligada a su escasa consideración y gestión, proponiendo la necesidad de investigar en herramientas para ayudar a mejorar estos aspectos. En este sentido, presentó un modelo de simulación, "PUERTO", diseñado para reproducir el funcionamiento del pastoreo de múltiples rebaños en pastos de montaña heterogéneos. Remarcó que los avances científicos y técnicos en aspectos como la teledetección, la computación, y la existencia de bases de datos ganaderas detalladas hacen actualmente viables el uso de este tipo de modelos en la gestión de los pastos comunales y la ganadería. Mostró una batería de simulaciones para un caso típico de la media montaña ácida cantábrica, con distintas opciones de tipo de ganado en pastoreo, carga ganadera y cantidad de pasto de buena calidad, para enseñar la utilidad de PUERTO para elegir sistemas de pastoreo sostenibles para el territorio y el ganado. Concluyó que es importante que, desde la investigación, nos fijemos ya en un horizonte a medio plazo, donde, trabajando en red desde múltiples asociaciones científicas, ofrezcamos a los gestores herramientas del tipo de PUERTO para que las futuras políticas territoriales y sectoriales sean más robustas en sus objetivos, seguimiento y resultados a alcanzar.



RESEÑAS DE TESIS DOCTORALES

■ **Autora:** M^a José Humada Macho

Título Tesis Doctoral: “*Caracterización productiva, de la calidad de la canal, de la carne y de la grasa de la raza bovina Tudanca*”

Dpto./Facultad/Universidad: CIFA-Gobierno de Cantabria / Dpto. de Producción Animal y Ciencia de los Alimentos-Facultad de Veterinaria-Universidad de Zaragoza

Directores: Dra. Emma Serrano Martínez y Dr. Carlos Sañudo Astiz

Fecha defensa: 11 de febrero de 2015

Resumen

En la presente Tesis se han analizado las características productivas, la calidad de la canal, de la carne y de la grasa de machos enteros de la raza Tudanca (raza bovina autóctona de Cantabria catalogada “en peligro de extinción”), destetados con 5 meses de edad, manejados desde el destete hasta el sacrificio siguiendo dos sistemas de producción (semi-extensivo e intensivo) y sacrificados a distintas edades (12, 14 o 16 meses en el sistema semi-extensivo y 10, 12 o 14 meses en el intensivo).

La raza Tudanca presentaría rendimientos productivos, características de la canal y una precocidad en la deposición de grasa que se podrían considerar similares a los de razas como la Asturiana de la Montaña, Morucha, Highland o Podólica, incluidas en el grupo de razas locales de pequeño tamaño, poco musculadas y con una capacidad alta-media de deposición de grasa intramuscular. La alimentación con pienso y paja *ad libitum* no implicó una mejora clara en los rendimientos productivos, ni en la calidad de la canal pero sí un incremento en el contenido de grasa intramuscular, intermuscular y perirrenal. Por otro lado, la alimentación con pasto y una cantidad limitada de concentrado implicó una mejor eficiencia en la utilización de la energía, una menor utilización de concentrado por cada kilogramo de canal producido, un perfil de ácidos grasos más favorable desde el punto de vista de la salud humana, un mayor contenido en vitamina E de la carne y una menor sensibilidad a la oxidación de los lípidos. Incrementar la edad de sacrificio 2 meses en el sistema semi-extensivo permitió obtener pesos vivos y de canal equivalentes a los del sistema intensivo.

Esta tesis aporta información útil, no disponible hasta ahora, para potenciar la producción de carne con este tipo de razas rústicas en los sistemas para los que estarían especialmente adaptadas (extensivos o semi-extensivos). En estos sistemas,

la raza Tudanca, presentaría índices técnico-económicos más favorables que en sistemas intensivos y la carne obtenida se dotaría de aspectos positivos como un perfil de ácidos grasos más saludable y una mayor vida útil.

Palabras Clave: pastoreo, razas rústicas, sistemas con bajos insumos, perfil de ácidos grasos, vida útil, oxidación de los lípidos

Disponible en:

<http://cifacantabria.org/Documentos/87a7b3TesisMJHumadaMacho11de121214.pdf>

■ **Autora:** Izaskun Valdivielso Zubiría

Título Tesis Doctoral: Efecto de los sistemas de manejo en pastoreo sobre la calidad de la leche y el queso.

Dpto./Facultad/Universidad: Departamento de Farmacia y Ciencias de los Alimentos / Facultad de Farmacia / Universidad del País Vasco

Directores: Dr. Luis Javier Rodríguez Barrón y Dr. Juan Carlos Ruiz de Gordo Arroniz

Fecha defensa: 29 de enero de 2015

Resumen

El objeto principal de esta Tesis Doctoral es el estudio del efecto de la alimentación de ovejas lecheras en sistemas de pastoreo, tanto en valle como en montaña, sobre la composición y calidad de la leche, y del queso elaborado con ella. Aspectos relevantes de este estudio son la búsqueda de evidencias científicas que permitan la diferenciación de leche y queso de ovejas en pastoreo mediante la evaluación de su calidad nutricional, tecnológica y sensorial, así como la identificación de potenciales marcadores químicos para la autenticación de alimentos procedentes de animales en pastoreo. Se llevaron a cabo dos diseños experimentales diferentes, uno de ellos realizado con un rebaño controlado de ovejas de raza Latxa en pastoreo a tiempo parcial, y el segundo con rebaños comerciales adscritos a la Denominación de Origen Idiazabal, los cuales, al final del período de lactación, son manejados en pastoreo extensivo de montaña. Los resultados obtenidos contribuyen con datos relevantes a la diferenciación de leches y quesos de oveja procedentes de diferentes sistemas de manejo en pastoreo. Algunos de los compuestos analizados (ácidos grasos, tocoferoles) pueden ser potenciales marcadores químicos

para la autenticación de leche y queso procedentes de animales en pastoreo, en particular, de zonas de montaña. Las evidencias científicas aportadas sobre la mayor calidad nutricional de la leche y queso procedente de animales en pastoreo reforzará la actividad de los productores. La presencia de potenciales marcadores químicos en los alimentos de pastoreo puede proporcionar a entidades de control, administración pública y asociaciones profesionales, herramientas útiles para la autenticación de dichos productos.

Palabras Clave: Queso Idiazabal, autenticación, calidad, pastoreo.

■ **Autora:** Carmen L. Manuelian Fusté

Título Tesis Doctoral con Mención Europea: "Conditioned taste aversion to woody crops in small ruminants"

Dpto./Facultad/Universidad: Departament de Ciència Animal i dels Aliments / Veterinària / U. Autònoma de Barcelona

Directores: Elena Albanell Trullàs y Gerardo Caja López

Fecha defensa: 29 de octubre de 2014

Resumen

El uso de cubiertas vegetales (naturales o cultivadas) en cultivos leñosos (p. ej., olivares, viñedos) es una práctica de cultivo recomendada para prevenir la erosión del suelo y aumentar la retención de agua, carbono orgánico y nitratos. El pastoreo selectivo para reducir la cubierta vegetal en primavera es una alternativa sostenible al uso de maquinaria y herbicidas, además de ayudar a mantener la humedad del suelo y mejorar su fertilidad. Sin embargo, debido a la alta palatabilidad de los cultivos leñosos, los agricultores no permiten la entrada de rebaños en estos cultivos para evitar las pérdidas por el pastoreo (p. ej. daños en el cultivo, productividad). La aversión condicionada (AV) es una un aprendizaje asociativo en el que el animal evita consumir un alimento después de la administración de un agente inductor (p. ej., cloruro de litio). El objetivo de esta tesis doctoral fue evaluar la idoneidad del uso de la AV, mediante el cloruro de litio (LiCl), para evitar daños en cultivos leñosos por el pastoreo. Como resultados se obtuvo una AV efectiva hacia las hojas de olivo y hojas de vid en ovejas y cabras después de la administración de una sola dosis de LiCl, siendo necesario una redosificación para mantener la AV más de 1 año. La misma dosis de LiCl generó una AV más intensa en cabras que en ovejas. Por otro lado, la persistencia de la AV varió en función de la raza (Manchega < Lacaune = Ripollés) al administrar una dosis de 200 mg LiCl/kg PV, pero no para una dosis de 225 mg LiCl/kg PV. Durante el pastoreo en viñedos, el rebaño empezó a consumir nuevamente el alimento AV cuando la oferta de la cubierta escaseó. El estudio de la cinética del LiCl mostró una recuperación del Li administrado a las 96 horas (orina, 92%; heces, 6,5%; leche, 2,8%); y estableció el tiempo de eliminación en 11 y 9 días para cabras y ovejas, respectivamente. Como conclusiones,

se estableció las dosis recomendadas en de 200 y 225 mg LiCl/kg PV para cabras y ovejas, respectivamente. Y que el uso de la AV fue eficaz para controlar las cubiertas vegetales en viñedos y olivares, siendo necesario un refuerzo anual de la AV.

Palabras Clave: Cloruro de litio, caprino, farmacocinética del litio, ovino, pastoreo selectivo, tiempo supresión del litio.

■ **Autora:** Begoña Diez Unquera

Título Tesis Doctoral: "Desarrollo de un modelo de simulación y optimización adaptado al ovino lechero"

Dpto./Facultad/Universidad: Departamento de Ciencias Agrarias y del Medio Natural, Facultad de Veterinaria, Universidad de Zaragoza

Directores: Dr. Roberto Ruiz Santos y Dr. Daniel Villalba Mata

Fecha defensa: 27 de junio de 2013

Resumen

Se ha desarrollado un modelo de simulación y optimización que representa los principales aspectos bio-económicos del sistema de ovino lechero de raza Latxa, integrado por 3 modelos fisiológicos. El módulo de rumen es un modelo mecanicista que representa el funcionamiento del rumen partiendo de las características del animal y de las características de la dieta, para calcular diariamente la materia seca ingerida, la energía metabolizable y la proteína metabolizable. El segundo modelo es determinista y simula el reparto de la energía y la proteína para las diferentes necesidades fisiológicas (mantenimiento, gestación, lactación), con lo que representa la movilización o depósito de reservas y la producción lechera. El tercero es el módulo de simulación del comportamiento reproductivo y representa la estacionalidad reproductiva del ovino de raza Latxa y la probabilidad de gestación. Además se ha incluido el efecto que la condición corporal y la realización de flushing tienen sobre la fertilidad y la prolificidad en monta natural y en inseminación artificial. Cada uno de los tres módulos se ha validado por separado, y posteriormente se han integrado en un software que simula cada oveja, de forma individual, y a partir de ahí representar el rebaño. Las variables de manejo o de entrada que necesita el modelo corresponden a las fechas de entrada y salida de los moruecos, decisión de realizar o no inseminación artificial, diseño de la dieta (permitiendo combinar concentrado, forraje comprado y un recurso propio) y la cantidad de alimento que se ofrece a cada lote. Además el software requiere establecer la calidad y cantidad de recursos disponibles (forraje conservado, pasto), y asignar un precio a los insumos y productos. Estos aspectos hacen posible configurar diferentes escenarios que representan la realidad de las explotaciones de la CAPV. Con el objetivo de añadir utilidad al modelo, éste se ha integrado en un sistema de búsqueda de soluciones y

optimización mediante algoritmos genéticos en base a criterios de maximización de los beneficios económicos y la minimización del exceso de energía y proteína. Para su evaluación se han diseñado dos explotaciones representativas con distinta disponibilidad de recursos (explotación de costa vs. interior), cuatro escenarios de secado (fecha de secado fijada vs. libre) y precios de mercado (precio medio vs. 40% superior). De las simulaciones realizadas se concluye que el método de optimización empleado permite definir el manejo que se adapta de más manera razonable a los escenarios planteados, a la vez que se generan elementos para la discusión acerca de la necesidad de incluir criterios de sostenibilidad y ponderar objetivos de optimización.

Palabras Clave: herramientas, gestión, ovino, modelización, sostenibilidad

Disponible en:

<http://zaguan.unizar.es/record/11736>

■ **Autora:** Ana Isabel Roca Fernández

Título Tesis Doctoral con Mención Europea: "Sustainable Milk Production Systems in Humid Areas Using Farm Resources"

Dpto./Facultad/Universidad: Departamento de Producción Vegetal/ Escuela Politécnica Superior/Universidad de Santiago de Compostela

Directores: Dr. Antonio González Rodríguez y Dra. María Elvira López Mosquera

Fecha defensa: 13 de junio de 2011

Resumen

The study in this Thesis of "Sustainable Milk Production Systems in Humid Areas Using Farm Resources" contributes to the knowledge of the main factors to control for reducing feeding costs of milk production in humid areas of the European Arc Atlantic as Galicia (NW Spain). The base of this research is in the use of available farm resources and the management of the grazing system with emphasis on some of the factors derived from pasture (stocking rate, pre-grazing herbage mass, daily herbage allowance, residence time at pasture, source of forage/concentrate in the ration and levels of supplementation at pasture) and animal (state and number of lactation, cow genotype and animal behavior at grazing/in confinement) that influence on the complex interaction between both. It seeks, thereby, to achieve an efficient conversion from grass into milk, in a competitive and profitable way taking into consideration the current context of the region in which the quality and fatty acid profile of the final product has become particularly relevant in recent years. The work carried out during the current Thesis was divided into three major sections associated to six experimental trials conducted at different European Research Institutes. It was examined some of the most important factors that influence on the interaction between

pasture and animal, with the aim of obtaining a multidisciplinary approximation to sustainable pasture-based milk production systems using fresh grass as a main ingredient of the diet in dairy cows. From the trials undertaken, it was highlighted the importance of applying appropriate grazing management practices at farm level, whether increasing the stocking rate (Trial 1.1.- CIAM) or changing the sward structural characteristics, combining pre-grazing herbage mass and daily herbage allowance per animal (Trial 1.2.- Moorepark), in order to achieve greater herbage utilization, with lower post-grazing residues and maintain higher sward quality on subsequent grazing rotations. The quality of pastures in these conditions, with lower dry matter and fiber content (acid and neutral detergent) and higher levels of crude protein, water soluble carbohydrates and digestibility provided higher milk quality (with higher content of protein and fat). Choose the type of cow more adapted to the milk production system selected improved its efficiency and in this thesis two milk production systems were evaluated using two cow genotypes (Holstein-Friesian vs. Normande), fed with and without concentrate at pasture (Trial 2.1.- Pin au Haras). The behavioral activities of two cow genotypes (Holstein-Friesian vs. Jersey crossbreed), during daily time budget, were determined in animals managed in a low inputs grazing system vs. a high inputs confinement system (Trial 2.2.- Hillsborough) related to food demands and needs of lying and rumination in both herds. Due to in pasture-based milk production systems, there is a high dependence on fresh grass in the diet of dairy cows it was possible to increase the added value of the final product (milk) with higher content of conjugated linoleic acid. This fatty acid is considered beneficial for human health and its intake was increased using a grazing diet in those Galician farms that relied on pastures for feeding their cows (Trial 3.1.- CIAM). The use of concentrate containing oilseeds in the diet of dairy cows was considered also as a way to improve the fatty acid profile of milk, both at grazing and in stable (Trials 3.1.- and 3.2.- CIAM). In the future, using proper grazing management strategies will be crucial in humid areas in order to optimize sward quality and daily pasture dry matter intake, maximizing milk production per cow and per hectare, with an increase also in milk quality due to better fatty acids profile, and making Galician dairy farms more sustainable and competitive.

Palabras Clave: dairy cattle, grazing management, forage-based milk production systems, milk fatty acids profile, pasture dry matter intake, sward quality.

Disponible en:

<https://www.educacion.gob.es/teseo/imprimirFicheroTesis.do?fichero=25259>

■ **Autor:** Jabier Ruiz Mirazo

Título Tesis Doctoral: Las áreas pasto-cortafuegos: un sistema silvopastoral para la prevención de incendios forestales.

Dpto./Facultad/Universidad: Departamento de Fisiología Vegetal / Universidad de Granada; Estación Experimental del Zaidín / Consejo Superior de Investigaciones Científicas

Directores: Ana Belén Robles Cruz y José Luis González Rebollar

Fecha defensa: 3 de junio de 2011

Resumen

El término áreas pasto-cortafuegos es un neologismo que se emplea para denominar aquellas zonas de baja combustibilidad, ubicadas estratégicamente en los montes, que son gestionadas mediante pastoreo con ganado para contrarrestar el desarrollo natural de la vegetación y así mantenerlas en condiciones adecuadas para la prevención de incendios forestales. El uso de esta práctica silvopastoral está creciendo en la Europa mediterránea, donde es necesario mejorar las estrategias de prevención con las que se afronta la proliferación de incendios registrada en las últimas décadas. De hecho, tal y como se argumenta en la introducción, el declive generalizado del pastoreo del monte ha contribuido a este incremento de incendios; ahora son los propios

programas de prevención de incendios forestales quienes incentivan su recuperación, al utilizar el pastoreo como herramienta complementaria para el mantenimiento de áreas cortafuegos. Andalucía es una de las regiones en las que la gestión silvopastoral de áreas cortafuegos ha comenzado a utilizarse recientemente. Dado el carácter innovador de esta gestión, la Junta de Andalucía solicitó el apoyo científico del grupo de Pastos y Sistemas Silvopastorales Mediterráneos del CSIC para realizar los primeros ensayos y acompañar la puesta en marcha de la denominada Red de Áreas Pasto-Cortafuegos de Andalucía (RAPCA). Esta tesis doctoral se ha desarrollado en el marco de esta colaboración, por lo que los trabajos presentados en los distintos capítulos son de carácter aplicado y procuran resolver cuestiones muy concretas, siempre ligadas a la integración del pastoreo en la prevención de incendios forestales.

Palabras Clave: mediterráneo, agroforestal, tasas de consumo, impacto del pastoreo, diversidad estructural, arbustos forrajeros, ecología del paisaje, vallados virtuales

Disponible en:

<http://digital.csic.es/handle/10261/35848>

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.

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 admitirán en formato Word de Microsoft Office u otro programa de edición de texto que sea fácilmente exportable a Word (p.ej. Apple Pages u OpenOffice Writer). 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. Las páginas se numerarán usando la función automática de edición.

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 (reine@unizar.es). El envío de un trabajo a PASTOS supone que sus autores no han enviado simultáneamente el mismo original a otra revista para su publicación.

PROCESO DE REVISIÓN DE LOS ORIGINALES

Los editores principales enviarán los originales recibidos a uno de los editores asociados del área de conocimiento correspondiente al trabajo. El editor asociado asignará la evaluación a un mínimo de dos revisores anónimos externos y expertos en la temática que revisarán y evaluarán el manuscrito. Con la decisión tomada por éstos, avalada por el equipo editor de PASTOS, el artículo revisado se devolverá al autor en un plazo no superior a 60 días. En caso de ser aceptado, los autores tendrán un plazo de 30 días para devolver la versión corregida. Una vez aceptada la versión definitiva, y tras el proceso de maquetación, el autor recibirá un documento pdf para la corrección de las pruebas de edición que ha de devolver con su visto bueno en 5 días.

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 250 palabras para artículos científicos y notas de investigación, y 400 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 (usar herramienta insertar tabla, no usar tabulaciones) y nunca insertadas como imagen desde otro programa. Alternativamente se pueden incluir en un fichero de hoja de cálculo tipo Excel de Microsoft Office o similar. Se situarán al final del texto, una tabla en cada página, 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, y se traducirán al segundo idioma inmediatamente debajo del idioma original. Se podrá añadir a pie de tabla la descripción de abreviaturas o cualquier otra información pertinente. Las tablas deben citarse en el texto siguiendo un orden numérico consecutivo.

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 de Microsoft Office, cada una en un archivo diferente. 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 inmediatamente debajo. Las figuras deben citarse en el texto siguiendo un orden numérico consecutivo. Todos sus elementos y símbolos deben ser identificados y se debe mantener el mismo tipo y tamaño de letra en todas las figuras, que será además perfectamente legible.

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. Es necesario 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.

Se citarán solamente los apellidos de los autores, sin iniciales:

1. Si el nombre/s del autor/es no forma parte del texto el apellido irá 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) *Measures 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 l 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).

La unidad de medida irá separada del número con un espacio (ej. 5 ml, 5 °C) también en el caso de los porcentajes (ej. 20 %).

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/s³A y m kg/s³ A, son incorrectas.
4. Para las fórmulas matemáticas se utilizará siempre que sea posible el editor de ecuaciones del tratamiento de texto.

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 números 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. Para los contenidos de minerales se deben usar los elementos químicos. La composición de fertilizantes y otros compuestos químicos puede expresarse con abreviaturas sin indicar definición (ej. P₂O₅).

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.

Se debe consultar y utilizar la terminología de pastos del Nomenclador básico de Pastos en España de Ferrer *et al.* (2001) disponible en <http://polired.upm.es/index.php/pastos/article/view/1694/1696>