

itea

información técnica económica agraria

REVISTA DE LA ASOCIACIÓN INTERPROFESIONAL PARA EL DESARROLLO AGRARIO



Volumen 118

Número 4

Diciembre 2022



aida-itea.org

2022- AÑO LIII Vol. 118 N.º 4 http://dx.doi.org/10.12706/itea	DIRECCIÓN Y REDACCIÓN Avda. Montañana, 930 50059 ZARAGOZA (ESPAÑA) Tel.: 34-976 716305 Fax.: 34-976 716335 E-mail: direccion@aida-itea.org	Depósito legal: Z-577-82 ISSN: 2386-3765 INO Reproducciones, S.A. Pol. Malpica, calle E, 32-39 (INBISA II, nave 35) 50016 Zaragoza
---	---	---

DIRECCIÓN:	Albina Sanz, CITA de Aragón. España
EDICIÓN CIENTÍFICA:	José Manuel Alonso, CITA de Aragón. España Javier Álvarez, Universidad de Lleida. España Paula Gaspar, Universidad de Extremadura. España Gabriel Pardo, CITA de Aragón. España Ana Pina Sobrino, CITA de Aragón. España Helena Resano, IA2-Universidad de Zaragoza. España Guillermo Ripoll, CITA de Aragón. España Ana Isabel Sanjuán, CITA de Aragón. España
EDICIÓN TÉCNICA:	María Salillas, Asociación Interprofesional para el Desarrollo Agrario. España
COMITÉ DE REDACCIÓN:	Alfonso Abecia, Universidad de Zaragoza. España Jorge Álvaro, EEAD Zaragoza. España Arancha Arbeloa, EEAD Zaragoza. España Carlos Calvete, CITA de Aragón. España Fernando Escriu, CITA de Aragón. España Vicente González, CITA de Aragón. España Cristina Mallor, CITA de Aragón. España Javier Rodrigo, CITA de Aragón. España
COMITÉ ASESOR:	Ricardo Aké, Universidad Autónoma de Yucatán, México • Joaquim Balcells, Universidad de Lleida, España • Carlos Cantero, Universidad de Lleida, España M ^a Elena Daorden, INTA, Argentina • M ^a José Díez, Universidad Politécnica de Valencia, España • Miguel Gómez, Cornell University EEUU • Margarita López, Centro de Investigación Agraria "Finca La Orden-Valdesequera", España • Ana Meikle, Universidad de la República, Uruguay • Camilla Moonen, Scuola Superiore Sant'Anna di Pisa, Italia • M ^a Teresa Muiño, Universidad de Zaragoza, España • César Revoredo-Giha, SAC, Reino Unido • Ricardo Revilla, España • José Antonio Rubio, ITACYL, España Pierre Sans, École Nationale Vétérinaire de Toulouse, Francia • Guillermo Studdert, Universidad del Mar del Plata, Argentina • Alfredo Teixeira, Escola Superior Agrária de Bragança, Portugal • Luis Varona, Universidad de Zaragoza, España

ITEA-Información Técnica Económica Agraria aparece indexada en SCI Expanded, Journal Citation Reports/Science Editions, ICYT, CABI, SCOPUS y EBSCO. Prohibida toda reproducción total o parcial sin autorización expresa de la Asociación Interprofesional para el Desarrollo Agrario, Editor titular del copyright. ITEA no se responsabiliza necesariamente de las opiniones vertidas en los artículos firmados que publica, cuya responsabilidad corresponde a sus autores.

<https://www.aida-itea.org/index.php/revista-itea/presentacion-itea>



Foto y texto de portada: Miguel Angel Toro y Jesús Fernández

Se celebra este año el 200 aniversario del nacimiento de Gregor Johann Mendel (1822-1884), monje agustino en la abadía de Santo Tomás de Brno (hoy República Checa), que estableció los principios básicos de la herencia. Aunque sus primeras investigaciones fueron en ratones y posteriormente en abejas acabó decantándose por los guisantes. Estudió al menos 28.000 plantas analizando de forma matemática la herencia de siete pares de caracteres. Los resultados los publicó en 1866 pero fueron ignorados. Solo obtuvo el debido reconocimiento en 1900 cuando tres destacados botánicos de Vries (Holanda), Correns (Alemania) y Tschermak (Austria) redescubrieron de forma independiente las denominadas leyes de Mendel. La primera demostración en especies animales fue en gallinas, pero muy pronto se aceptó su generalidad. Así nació la ciencia de la genética que ha contribuido de forma fundamental al aumento de la producción animal, vegetal y forestal, así como a explicar y modificar herencia en humanos.

Agradecimiento

Desde el Comité editorial de la Revista ITEA-Información Técnica Económica Agraria, queremos agradecer a todos los evaluadores de artículos su colaboración con la Revista ITEA. Cada artículo precisa para su publicación en una revista indexada de una evaluación “por pares”, interviniendo a menudo en el proceso de evaluación un tercer evaluador. En la revisión de los artículos publicados este año 2022, de los que ya están aceptados para publicar en 2023 y de los artículos rechazados, han colaborado 104 revisores. Conocedores de que la evaluación de un artículo para su publicación es una tarea que resta al investigador tiempo de dedicación a sus trabajos de investigación y que a menudo el evaluador realiza esta revisión en su tiempo libre, hacemos pública la relación de evaluadores que han colaborado en el proceso de revisión de artículos en la Revista ITEA en señal de agradecimiento, haciendo notar que algunos evaluadores desean permanecer en el anonimato, por lo que la relación no es completa.

Ramiro Daniel Acurio Vásconez
Elena Albanell Trullas
Ricardo Alberio
Francisco Alcón Provencio
Gregorio Álvarez Fuentes
María Ancín
Ander Arando Arbulu
Atilio Aranguren Méndez
Manuel Arriaza Balmón
Inmaculada Batalla
Yuridia Bautista
Florencia Beracochea González
José Manuel Brotons Martínez
Piedad Campelo
Francisco Javier Cañon Ferreras
María Auxiliadora Casterad Seral
Juan Sebastián castillo Valero
Gabriela Castillo Hernández
Francesc Josep Cervera Ferrer
Montserrat Costa-Font
Manuel Delgado Pertíñez
Alfredo J. Escribano
Angélica Espinoza Ortega
Encarna Esteban
Fernando Estellés
Sergio Falla Tapias
Víctor Manuel Fernández-Cabanás
Juan Ramón Ferrer
Vera Ferrón Vílchez

Gonzalo Flores Calvete
Joaquín Gadea Mateos
Carmen Gallo
María Carmen García Cortijo
Ana Isabel García-Arias
Ana Garrido Varo
M^a Dolores Gómez López
Almudena Gómez Ramos
José Enrique González Zamora
Elisabeth González de Chavarri Echaniz
Vicente González
Roberto González Garduño
María José Grajal Martín
M. Dolores Guerrero-Baena
Francisco Ignacio Hernández García
Víctor Ángel Hernández Trejo
Leonardo Hernández Corredor
José G. Herrera Haro
William Andrés Herrera Cáceres
Kizkitza Insausti Barrenetxea
Santiago Larregla del Palacio
María José Lema Gesto
Pol Llonch Obiols
Isidre Llorente Cabratosa
Juan Manuel Lomillos
Rafael López Núñez
Antonio López Quílez
Ana Lorga da Silva
Pablo Manzano

Vicente Marco Mancebón
Daniel Martín Collado
Yolanda Martínez
Paula Martínez
Víctor Martínez Gómez
Federico Martínez-Carrasco
Yolanda Mena Guerrero
Alejandro Moreno Reséndez
Raquel Muelas
Germani Adrián Muñoz-Osorio
Luis Octavio Negrete Sánchez
Nadia F Ojeda-Robertos
Carlos Palacios Riocerezo
Begoña Panea Doblado
Pedro Paredes Ramos
Sonia Pereira Crespo
Carlos Pérez Marín
Alfredo Pérez Morales
George Philippidis
Águeda Pons Barro
Liliana Reina Usuga
Teresa Rigau Mas

Pedro Luís Rodríguez Medina
Antonio Rodríguez de Ledesma Vega
Tévécia Ronzon
José Antonio Rubio Cano
José Ignacio Ruiz de Galarreta
Raúl Sánchez Sánchez
Carlos Sandoval-Castro
Ana Isabel Sanjuán
Samir Sayadi Gmada
Ana Serrano González
Verónica Sierra Sánchez
Katrin Nekane Simon Elorz
Carolina Tamargo de Miguel
Javier Tapia
Germán Tortosa
Pilar Uldemolins Gómez
María Asunción Usón
Samuel Vargas López
Manuela Vega Zamora
Anastasio J. Villanueva
María Rosa Yagüe Carrasco

Sumario

Producción Vegetal

- Cambios en la porosidad del suelo asociados a la fertilización con purín porcino.
Soil porosity changes associated with pig slurry fertilisation.
 Ángela D. Bosch-Serra, Noemí Mateo-Marín, María Gabriela Molina, Rosa M. Poch y
 Montserrat M. Boixadera-Bosch 518

Producción Animal

- Pradera de *Lolium perenne* y *Trifolium repens* en Asturias. II. Balances nutricionales sobre vacas frisonas en producción a lo largo del año.
Temporary ley of Lolium perenne and Trifolium repens in Asturias. II. Nutritional balances on Friesian cows in production throughout the year.
 Begoña de la Roza-Delgado, Adela Martínez-Fernández, M. Sagrario Modroño y Alejandro Argamentería 530
- Huella hídrica de las explotaciones lecheras según tipología de alimentación.
Water footprint of dairy farms according to typology of feeding.
 Gregorio Salcedo, Athanasia Varsaki y Daniel Salcedo-Rodríguez 547
- Espectroscopía en el infrarrojo cercano por transmitancia y reflectancia para la predicción de la composición química de cereales en grano y molidos.
Transmission and reflectance near-infrared spectroscopy for predicting the chemical composition of ground and grain cereals.
 Alba Vigo, María Ángeles Latorre y Guillermo Ripoll 565
- Influencia del donante de semen en la recongelación de espermatozoides bovinos de raza Murciano Levantina.
Influence of the semen donor on the refreezing of Murciano levantino bovine sperm.
 Laura Almela-Veracruz, Begoña Peinado-Ramón, Salvador Ruiz-López y Ángel Poto-Remacha 580

Economía Agraria

- Evaluación integral de la sostenibilidad de la producción ovina de carne en Aragón.
Integrated sustainability assessment of sheep meat production in Aragon.
 Luis Pardos, Belén Lahoz, Alberto Bernués, José Luis Alabart y Enrique Fantova 594
- Estrategias de bioeconomía circular. Un análisis comparativo a nivel europeo.
Circular bioeconomy strategies: A comparative analysis at a European level.
 Ana C. Casillas-González, María Natividad Pérez-Camacho, Manuel García-López, M. Mar Cátedra-Cerón, Carmen Capote, Ignacio Martín-Jiménez y Anastasio J. Villanueva 613

Cambios en la porosidad del suelo asociados a la fertilización con purín porcino

Àngela D. Bosch-Serra^{1,*}, Noemí Mateo-Marín¹, María Gabriela Molina², Rosa M. Poch¹ y Montserrat M. Boixadera-Bosch¹

¹ Departamento de Medio Ambiente y Ciencia del Suelo, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agraria, Universitat de Lleida. Avda. Alcalde Rovira Roure 191, E-25198, Lleida, España

² Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Católica de Córdoba. Avenida de la Armada Argentina 3555, Córdoba, Argentina

Resumen

En zonas de secano del Valle del Ebro (España), la siembra directa y el uso de deyecciones ganaderas resultan interesantes para reducir costes. Este trabajo tiene como objetivo evaluar, bajo siembra directa de cereal de invierno, el efecto de la fertilización con purines porcinos en la porosidad del horizonte superficial de un suelo de textura franco-limosa. Se establecieron seis dosis de purín, además de un control. El suelo se clasificó como Xerofluvent típico. La porosidad del suelo, sin alterar su estructura, se estudió mediante técnicas micromorfológicas. Los muestreos se realizaron en mayo. Se obtuvieron 21 muestras inalteradas de suelo (0-0,06 m de profundidad) que fueron tratadas hasta obtener láminas delgadas de 5 cm de alto, 13 cm de largo y 30 µm de grosor de las que se fotografiaron dos campos (3,15 cm × 4,2 cm). Los poros se estudiaron mediante análisis de imagen, clasificándose en diferentes intervalos de diámetros aparentes (DA), desde 15 µm hasta 400 µm. Se estableció una relación cuadrática significativa entre la cantidad de N aportada y el porcentaje de poros en los DA entre 200 µm y 400 µm (de 3,4 % a 5,2 % de porosidad total). A pesar de la detección de compactación y de la presencia de una estructura laminar, estos cambios en la porosidad responden a una mejora de la estructura, que podría deberse al hecho de facilitar la actividad de la macrofauna. Esta mejora estructural no se observa en aportaciones de purines inferiores a 100 kg N·ha⁻¹ ni en las aportaciones más altas, próximas a 300 kg N·ha⁻¹.

Palabras clave: Cereal de invierno, compactación, estructura del suelo, micromorfología de suelos, secano, siembra directa.

Soil porosity changes associated with pig slurry fertilisation

Abstract

In dryland Mediterranean areas, the usage of slurries and no-till are encouraged to reduce costs. Implementation of these practices is a challenge since they may make soil susceptible to a reduction in its physical quality (particularly through compaction). This paper aims to evaluate the effect of pig slurry fertilisation on superficial soil porosity when no-tillage is used in silty-loam soil. Winter cereal was fertilised with pig slurry at six rates. There was also a non-nitrogen treatment (control). The soil was clas-

* Autor para correspondencia: angela.bosch@udl.cat

Cita del artículo: Bosch-Serra AD, Mateo-Marín N, Molina MG, Poch RM, Boixadera-Bosch MM (2022). Cambios en la porosidad del suelo asociados a la fertilización con purín porcino. ITEA-Información Técnica Económica Agraria 118(4): 518-529. <https://doi.org/10.12706/itea.2022.008>

sified as a Typic Xerofluvent. Soil porosity was studied within unaltered soil samples with a micromorphological approach. Soil samples were collected in May. From undisturbed soil samples (0-0.06 m depth), twenty-one thin sections (5 cm × 13 cm × 30 µm) were obtained and photographed into two areas of 3.15 cm × 4.20 cm. Pores were studied using image analysis and they were classified at different intervals of apparent pore diameter (APD) from >15 µm up to 400 µm. Photography analysis showed porosity changes at 200-400 µm of APD. In this interval, there was a quadratic relationship between nitrogen rate and percentage of pores (from 3.4 % to 5.2 % of total porosity). Even though the soil was compacted and had a laminar structure, these porosity changes were associated with an improvement of the soil structure. This positive consequence could be caused by the activity of the macrofauna. This effect was only detected when pig slurry was applied at agronomic rates and it was not observed in slurry treatments below 100 kg N·ha⁻¹ nor close to 300 kg N·ha⁻¹.

Keywords: Compaction, no-tillage, rainfed, soil micromorphology, soil structure, winter cereal.

Introducción

A escala mundial y en el periodo de 1999 a 2013, la siembra directa (no laboreo o labranza cero) se expandió a un ritmo anual de 7,5 millones de hectáreas (Bashour *et al.*, 2016). En 2021, esta técnica de manejo del suelo estaba implementada en un 15 % de la superficie cultivada del mundo (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2021). La zona en la que la siembra directa está más extendida es en América del Sur (se practica en un 45 % de la superficie agrícola) y en Estados Unidos (32 % de la superficie agrícola). En Europa, a diferencia del continente americano, la labranza cero sigue siendo minoritaria. España contó con 768.173 ha bajo no laboreo durante 2020 (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 2020).

El motivo de la expansión de la labranza cero no responde, en la mayoría de casos, a una sensibilización medioambiental. En realidad, se trata de una tendencia con un marcado carácter económico puesto que ayuda a reducir los costes de combustible (Sánchez-Girón *et al.*, 2004 y 2007).

Más allá de su impacto positivo respecto a la reducción de costes, la siembra directa puede mejorar la estructura del suelo en la capa más superficial (entre 5 cm y 10 cm) debido a la estratificación de la materia orgánica y,

a largo plazo, puede favorecer la macroporosidad (Blanco-Canqui y Ruis, 2018). La estructura del suelo y su porosidad son dos características físicas esenciales para determinar la capacidad del suelo para sostener la actividad agrícola, dada su importancia sobre el control de la erosión, en el enraizamiento de las plantas (Rabot *et al.*, 2018), y en el almacenamiento/dinámica de agua en el suelo que es un factor limitante en condiciones de secano (Bescansa *et al.*, 2006).

En contraposición, numerosos análisis micromorfológicos (Ball y Robertson, 1994; Morrás y Bonel, 2005; Sasal *et al.*, 2006) demuestran que, bajo no laboreo y en la capa superficial del suelo, se desarrollan más fácilmente agregados laminares y poros planares; características asociadas a la compactación del suelo. En el caso de los suelos limosos, las potenciales ventajas de la siembra directa pueden también reducirse si el clima es árido o semiárido (Van den Putte *et al.*, 2010), por ser más susceptibles a procesos de compactación.

No obstante, el resultado final sobre la calidad física del suelo depende de otros factores. Así, bajo no laboreo pero con una rotación de cultivos que incluya una mayor proporción de gramíneas (por ejemplo trigo y maíz) frente al predominio de la soja se favorece el desarrollo de bioporos radicales y la actividad de la fauna (Behrends-Kraemer y Morrás, 2018).

Aparte de las características físicas mencionadas, existen los llamados “bioindicadores” o seres vivos (como las lombrices de tierra) que dan información por su presencia, su ausencia o su comportamiento, de las condiciones edáficas de una zona (Van Gestel y Van Brummelen, 1996). VandenBygaart et al. (1999) observaron que el paso del laboreo a la labranza cero supuso un aumento de la presencia de *Lumbricus terrestris*, hecho que tiene un impacto directo positivo sobre la agregación del suelo, su porosidad y la infiltración del agua.

Asimismo, los oribátidos (los primeros responsables de la transformación de la materia orgánica en el suelo) pueden ser analizados como bioindicadores y, en casos específicos, relacionarlos con la cantidad de purín aplicada en los terrenos en los que se encuentran. El aporte de purines es beneficioso para la población de oribátidos pero dosis excesivas comportan la reducción de especies y del número de estos artrópodos (Bosch-Serra et al., 2014).

La hipótesis de este trabajo es que bajo siembra directa, el efecto positivo de la aplicación de purín (estrechamente relacionado con la cantidad de nitrógeno que contiene) tiene un límite en cuanto a la dosis aplicada que pudiera revertir en una mejora de la porosidad del suelo y de la actividad de la macrofauna (desarrollo de galerías) asociadas. El objetivo de este artículo es determinar la influencia de la dosis de purín en el diámetro aparente de poros.

Material y métodos

Ubicación del experimento

Este estudio se llevó a cabo en una parcela experimental en Oliola, España (41° 52' 29" N, 01° 09' 10" E, 443 m. s.n.m.). El suelo se clasificó como Xerofluvent típico (Soil Survey

Staff, 2014). La capa superficial (0-0,3 m) presenta una estructura débil en bloques angulares. La textura del suelo es franco-limosa (clasificación USDA) con porcentajes de arena, limo y arcilla que alcanzan el 13,1 %, 60,9 % y 26,0 %, respectivamente. Los minerales arcillosos predominantes son la illita y la clorita. El pH es básico (8,2; 1:2,5 suelo:agua), no salino con baja conductividad eléctrica (CE 1:5 suelo:agua 0,18 dS·m⁻¹ a 25 °C) y el contenido de carbonato de calcio es alto (300 g·kg⁻¹). El valor de materia orgánica es bajo (~20 g·kg⁻¹) y la capacidad de intercambio catiónico (CIC) es de 11,1 cmol⁺·kg⁻¹.

El área de estudio se halla bajo un clima mediterráneo seco con temperaturas medias altas en verano (>20 °C), precipitaciones anuales bajas (<450 mm·año⁻¹) y valores elevados (1.013 mm·año⁻¹) de evapotranspiración del cultivo de referencia (calculada según la ecuación de Penman-Monteith).

Diseño del experimento

Se disponía de un experimento establecido en el año 2002 en donde los tratamientos fertilizantes se repetían anualmente a excepción de la campaña 2007-2008 que se mantuvo en barbecho. Tres años antes del inicio de este trabajo (2012) se había introducido la siembra directa (dividiendo en dos las parcelas experimentales). Para este estudio se muestrearon parcelas de labranza cero bajo distintos tratamientos de fertilización en donde se aplicaban purines de cerdo de engorde (Tabla 1). El tratamiento de 135 kg N·ha⁻¹, el de 202 kg N·ha⁻¹ y el de 216 kg N·ha⁻¹ (C13, C20 y C22, respectivamente) se aplicaban en el ahijado del cereal de invierno en una única dosis en cobertera; el tratamiento de 176 kg N·ha⁻¹ se aplicaba en presiembra del cereal (S18) en una única dosis y los tratamientos de 289 kg N·ha⁻¹ y de 311 kg N·ha⁻¹ se aplicaban fraccionados entre presiembra y ahijado del cereal (I29 e I31,

Tabla 1. Tratamientos de fertilización con purín porcino en base a las cantidades de nitrógeno total (NT), nitrógeno amoniacal (NA), fósforo (P), potasio (K) y materia orgánica (MO) aplicadas. Se incluye el rendimiento en grano en la cosecha (mes de junio). El significado de los acrónimos de los tratamientos indican: S: aplicación de fertilizante en siembra, los números indican la dosis de N aplicada de 0 o 176 kg N·ha⁻¹·año⁻¹; C, fertilizante aplicado en ahijado del cereal, los números indican la dosis de N aplicada de 135, 202 o 216 kg N·ha⁻¹·año⁻¹; I: aplicación de fertilizante fraccionada entre la siembra (176 kg N) y el ahijado del cereal, los números indican la cantidad total de N aplicada de 289 o 311 kg N·ha⁻¹·año⁻¹.
Table 1. Pig slurry fertilisation treatments with their values of total nitrogen, ammonium nitrogen (NA), phosphorous (P), potassium (K) and organic matter (MO) applied. Yields obtained at June harvest are included. The acronyms of treatment means: S, fertiliser applied at sowing, numbers indicate the N rates applied of 0 or 176 kg N·ha⁻¹·year⁻¹; C, fertiliser applied at cereal tillering, numbers indicate the N rates applied of 135, 202 or 216 kg N·ha⁻¹·year⁻¹; I, fertiliser divided between sowing (176 kg N·ha⁻¹·year⁻¹) and cereal tillering, numbers indicate the total N rate applied rate of 289 and 311 kg N·ha⁻¹·year⁻¹.

Tratamiento	NT (kg·ha ⁻¹)	NA (kg·ha ⁻¹)	P (kg·ha ⁻¹)	K (kg·ha ⁻¹)	MO (kg·ha ⁻¹)	Rendimiento (kg·ha ⁻¹)
S00	0	0	42	89	0	2080
C13	135	93	57	48	1425	4463
S18	176	106	57	157	1943	4466
C20	202	140	85	71	2134	5011
C22	216	146	64	133	2111	5185
I29	289	181	94	223	3101	5199
I31	311	199	115	205	3368	4744

respectivamente). Además, se muestreó un control, en el que no se aplicó nitrógeno (S00) aunque sí fósforo y potasio en presiembra (Tabla 1). La aplicación de purines antes de la siembra mediante el método del abanico se realizó el 26 de octubre de 2011 y la cobertura el 7 de marzo de 2012. Los purines presentaban un contenido materia orgánica de 664 g·kg⁻¹ y 725 g·kg⁻¹ sobre materia seca, respectivamente.

Estudio micromorfológico

En mayo de 2012 y para cada uno de los siete tratamientos se extrajo un prisma de la superficie del suelo de 6 cm en profundidad, 9 cm de ancho y 19 cm de largo. Como la parcela experimental estaba compuesta por tres

bloques (tres réplicas para cada uno de los tratamientos) se obtuvieron un total veintinueve prismas rectangulares de suelo inalterado.

De cada uno de estos prismas se fabricó una lámina delgada horizontal siguiendo el procedimiento indicado por Benyarku y Stoops (2005). Los prismas se secaron al aire, se impregnaron con resina de poliéster con un colorante fluorescente a la luz ultravioleta (Uvitex®) y se cortaron en bloques, obteniendo las láminas delgadas de 5 cm de alto, 13 cm de longitud y 30 µm de grosor. Estas láminas se estudiaron mediante un microscopio petrográfico. Se describió la tipología de poros: vesículas, bioporos, poros de empaquetamiento, huecos planares y cavidades mediante análisis visual en base al criterio morfológico de Stoops (2003).

Por cada una de las láminas se fotografiaron dos campos de 3,15 cm de alto y de 4,2 cm de largo. Para ello, se usó una cámara Olympus® C-7070 Wide Zoom. Se analizaron un total de 42 campos (dos por cada una de las 21 láminas). De cada campo se extrajeron tres imágenes a través de distintos tipos de iluminación: i) luz polarizada transmitida, ii) luz polarizada transmitida bajo polarizadores cruzados (usando papel polarizado) e iii) luz incidente ultravioleta (UV). La última de estas imágenes se binarizó usando el software ImageJ® desarrollado por Ferreira y Rasband (2012). Los dos primeros tipos (84 imágenes) se usaron como controles visuales de la calidad de la binarización en blanco y negro de las 42 imágenes obtenidas con luz UV. Si se detectaba algún error, este se corregía manualmente. En todos los casos, se eliminó el ruido de fondo (rasgos por debajo de 1 píxel). La porosidad asociada a distintos intervalos de diámetros aparentes (DA) de poros se obtuvo mediante un algoritmo a partir de los trabajos de Vogel (2008). Los intervalos estudiados fueron: 15-30 μm , 30-60 μm , 60-100 μm , 100-200 μm y 200-400 μm .

Análisis estadístico

La porosidad fraccionada en los distintos intervalos de diámetro aparente se analizó en relación a la cantidad total de nitrógeno aplicada. Se ajustó un modelo de regresión polinomial utilizando el paquete estadístico SAS v9.4 (SAS Institute Inc., 2002-2012).

Resultados

A través del análisis visual de las láminas delgadas, se comprobó que el suelo estudiado presentaba en todos los tratamientos una estructura laminar (Figuras 1, 2 y 3), la cual se asocia a un fenómeno de compactación tras tres años en condiciones de siembra directa.

Sin embargo, los poros planares o fisuras horizontales asociados a la estructura laminar no tenían un grado elevado de acomodación, es decir, estaban deformados y sus paredes no “casaban”, debido a que, en algunos puntos, se observaba su uso por la fauna y la creación de cámaras a partir de esas fisuras e incluso se observaban canales verticales que los atravesaban.

El porcentaje de porosidad para el intervalo de diámetro aparente de poros comprendido entre 200 μm y 400 μm y en función del N aplicado (Figura 4) se ajustó a una relación cuadrática significativa ($p = 0,049$; $R^2 = 0,779$).

La aplicación de purín porcino a partir de una dosis equivalente a 100 kg N·ha⁻¹ favoreció el incremento de poros de diámetro aparente entre 200-400 μm , pero la tendencia positiva se invirtió cuando se superaron los 200 kg N·ha⁻¹.

En cambio, no se observó una relación significativa entre la dosis de N aplicada con el purín y el porcentaje de poros del suelo dentro de los demás intervalos de diámetro aparente: 15-30 μm , 30-60 μm , 60-100 μm y 100-200 μm estudiados. Los datos se muestran en la Tabla 2.

Discusión

En suelos de textura franco-limosa, como es el caso de este estudio, la compactación es un proceso muy frecuente y que puede agravarse con la siembra directa (Çelik et al., 2019; Lampurlanés y Cantero-Martínez, 2003). En este estudio, la presencia de compactación se corrobora por la estructura laminar que se observa en los primeros centímetros del suelo en el tratamiento control (Figura 1).

La adición de materia orgánica favorece la macroporosidad y la conectividad entre poros (Zhang et al., 2012). Los purines porcinos en

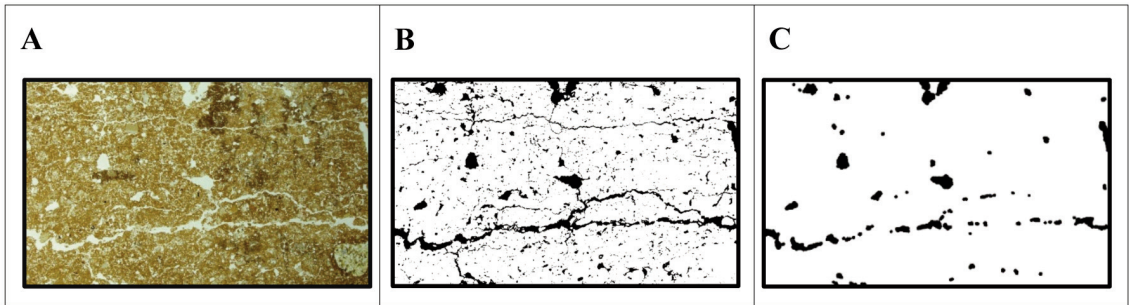


Figura 1. Tratamiento control sin aplicación de fertilizante nitrogenado (S00): A, imagen original; B, porosidad en color negro; C, porosidad en el intervalo de 200 µm a 400 µm.
Figure 1. Control treatment without nitrogen fertiliser (S00): A, original image; B, porosity marked in black; C, porosity between 200 µm and 400 µm.

Tabla 2. Porosidad (%) en distintos intervalos de diámetro aparente según distintos tratamientos de fertilización y en relación al área estudiada en cada lámina delgada.
Table 2. Porosity fractions (%) for different intervals of pore apparent diameter according to different fertilization treatments. Porosity fraction percentages are referred to the areas studied in each thin section.

Tratamiento	>15 µm	15-30 µm	30-60 µm	60-100 µm	100-200 µm
S00	15,82	0,76	1,51	2,46	4,04
C13	19,93	0,83	1,15	2,38	5,08
S18	17,56	0,57	1,93	2,95	5,28
C20	17,25	0,93	1,13	2,65	5,41
C22	15,93	1,12	0,26	1,44	3,45
I29	14,87	0,91	0,91	1,78	3,55
I31	16,31	0,95	1,17	2,02	3,26

cuanto a materia orgánica (MO) presentan valores bajos (Yagüe et al., 2012; Tabla 1) pero en este trabajo se ha observado que el uso de purines a dosis máximas de N de origen orgánico (170 kg N·ha⁻¹) recomendadas en las zonas vulnerables a la contaminación de las aguas subterráneas por nitratos o recomendadas en otras áreas no calificadas como vulnerables (por ejemplo, 210 kg N·ha⁻¹; DOCE, 1991; DOGC, 2009) puede mejorar la estructura del suelo. Este efecto de mejora se per-

cibe por el desarrollo de una estructura en bloques subangulares y en la aparición de poros planares no acomodados (deformados por actividad de la fauna) tras una aplicación continuada en el tiempo de purín porcino con un posible efecto acumulador de pequeñas cantidades de materia orgánica.

En este trabajo, el incremento de porosidad entre 200 µm y 400 µm se asocia al desarrollo de poros planares cuando las aportaciones de N total mediante purines porcinos se si-

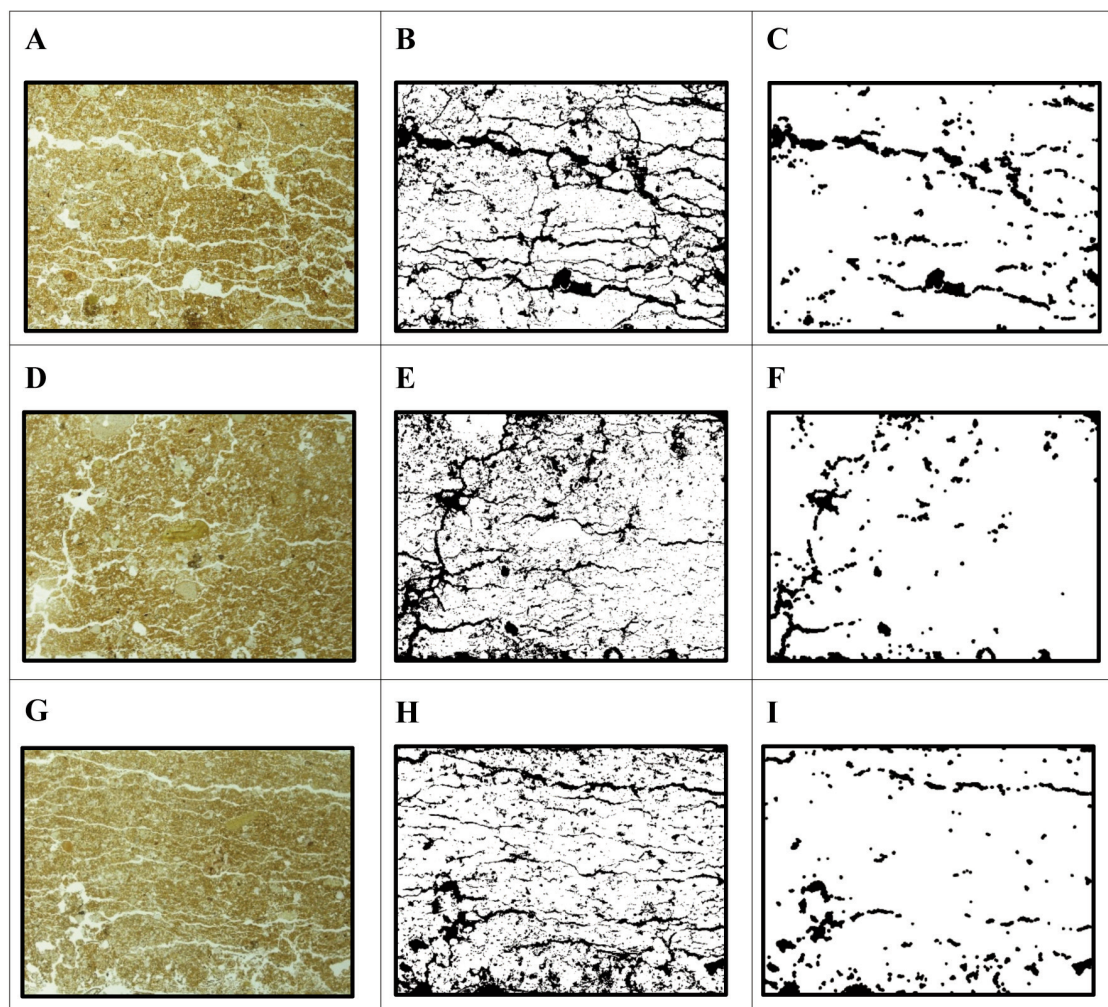


Figura 2. Imágenes de láminas delgadas (A, D, G), porosidad en color negro (B, E, H) y porosidad de 200 μm a 400 μm (C, F, I) en los siguientes tratamientos con purines porcinos (C13, S18 y C20, respectivamente): 135 $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ (A, B, C), 176 $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ (D, E, F) y 202 $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ (G, H, I).

Figure 2. Images from horizontal thin sections (A, D, G), porosity marked in black (B, E, H) and porosity between 200 μm and 400 μm (C, F, I) from the following pig slurry treatments (C13, S18, and C20, respectively): 135 $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ (A, B, C), 176 $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ (D, E, F) and 202 $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ (G, H, I).

túan en el intervalo de 100-200 $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ ($<3 \text{ Mg MO}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$; Tabla 1). Estos poros, principalmente con orientación horizontal, son aprovechados por la fauna para crear canales, por lo tanto deben considerarse estables para que la fauna los utilice. A pesar

de tratarse de estructuras laminares, la fauna es capaz, de forma temporal, de crear canales verticales que en algunos sectores transforma la estructura en bloques subangulares. No se observa tal desarrollo de estructura en las aportaciones menores de 100 $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ ni

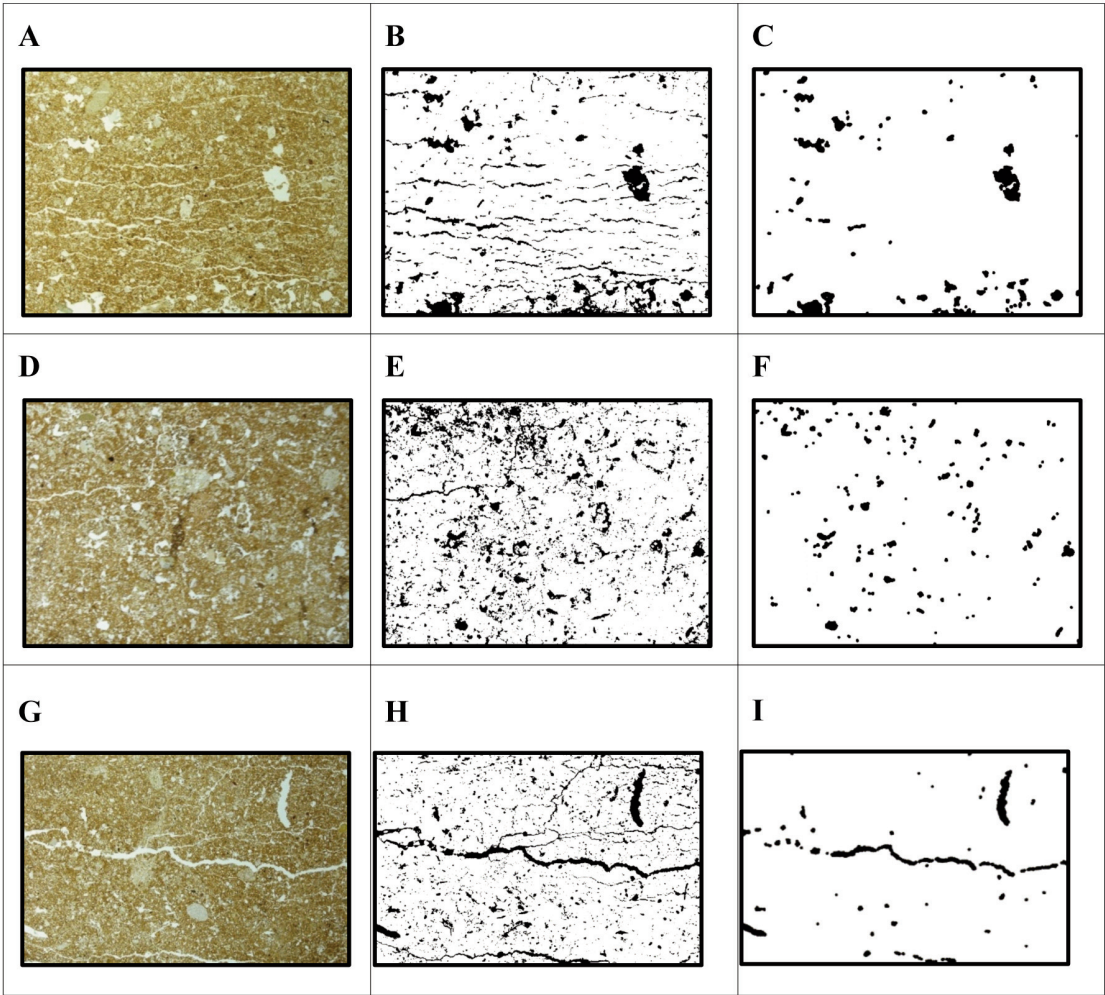


Figura 3. Imágenes de láminas delgadas (A, D, G), porosidad en color negro (B, E, H) y porosidad de 200 μm a 400 μm (C, F, I) en los tratamientos con purines porcinos (C22, I29 y I31, respectivamente): 211 $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ (A, B, C), 289 $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ (D, E, F) y 311 $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ (G, H, I).

Figure 3. Images from horizontal thin sections (A, D, G), porosity marked in black (B, E, H) and porosity between 200 μm and 400 μm (C, F, I) from the following pig slurry treatments (C22, I29, and I31, respectively): 211 $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ (A, B, C), 289 $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ (D, E, F), and 311 $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ (G, H, I).

en las que se encuentran alrededor de 300 $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$. Un aumento de la bioturbación causada por las lombrices de tierra tras la aplicación de purín porcino también ha sido detectado por otros autores (Valdez et al., 2019) a dosis similares (96 $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$). Esta dosis (umbral inferior de aplicación) estaría

asociada a una mínima cantidad de MO adicional ($\sim 1,4 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$, Tabla 1) efectiva para incidir sobre una mejora de la calidad física del suelo. Ello se traduciría también en que puede contribuir al incremento de las producciones (Tabla 1) siguiendo la ley de Mitscherlich o ley de los rendimientos menos

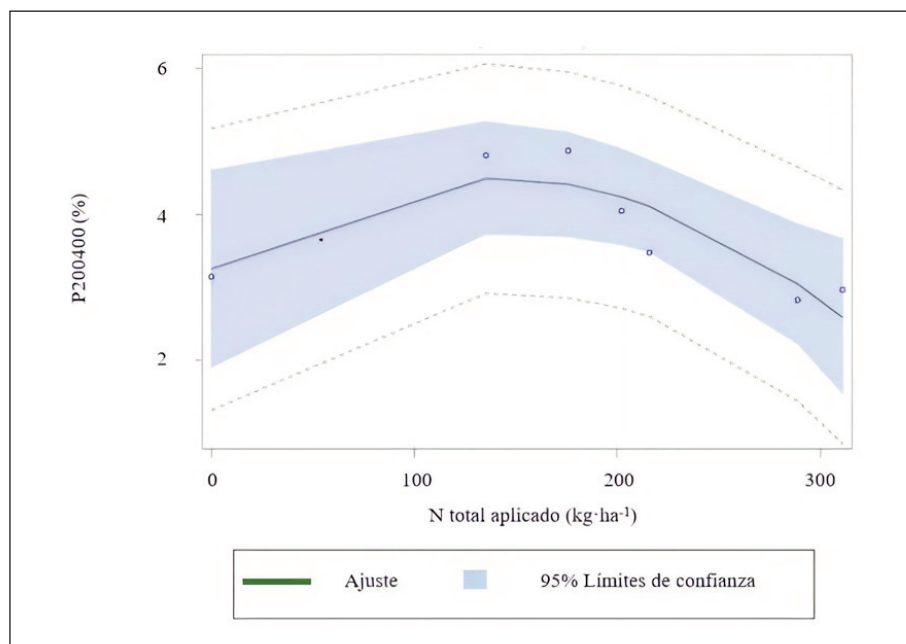


Figura 4. Porosidad del suelo (%) entre 200 μm y 400 μm (P200400) y en los primeros 5 cm en función del N total aplicado anualmente en forma de purín porcino ($\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$) y en un cultivo de cereal de invierno. La relación es significativa ($p = 0,049$); así como la estimación de los parámetros de la ecuación: $y = ax + bx^2 + c$; ($a = 0,01787$; $p = 0,0406$), ($b = -0,00006420$; $p = 0,0236$), ($c = 3,24688$; $p = 0,0026$).

Figure 4. Porosity of the soil (%) between 200 μm and 400 μm (P200400) and within the first 0.05 m depth, plotted against the total annual N applied as pig slurry ($\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$) on a winter cereal crop. The relationship is significant ($p = 0.049$), as well as the estimation of the equation's parameters: $y = ax + bx^2 + c$; ($a = 0.01787$; $p = 0.0406$), ($b = -0.00006420$; $p = 0.0236$), ($c = 3.24688$; $p = 0.0026$).

que proporcionales, de manera que a medida que se aumenta la cantidad aplicada de fertilizante, el aumento de producción que se obtiene es cada vez menor.

El incremento de la macroporosidad en el intervalo 200-400 μm podría verse negativamente afectado por la aplicación de mayores dosis de N en forma amoniacal (~67 % de N aplicado) que perjudicarían la fauna del suelo. En el mismo experimento de Oliola (Valdez-Ibañez et al., 2019) y respecto a la actividad de las lombrices, ya se detectó que la especie anécica *Nicodrilus trapezoides* desaparecía en las parcelas que habían recibido en cobertura dosis elevadas de purín porcino (>265 $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$). También, en el caso de la es-

pecie de oribátidos *Oribatula connexa*, su población empezó a decaer cuando la aplicación de purines en siembra y en una sola dosis superaba los 200 $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ o aproximadamente al equivalente de 140 $\text{kg N}\cdot\text{NH}_4^+\cdot\text{ha}^{-1}$ (Bosch-Serra et al., 2014). En las condiciones del ensayo, también podría existir un efecto aditivo de otros componentes no analizados y probablemente asociados a la cantidad de materia orgánica aplicada (Valdez-Ibañez et al., 2019), ya que bajo siembra directa ésta no se incorpora en el suelo; es decir, no existiría en los primeros centímetros el efecto dilución en función de la profundidad de laboreo, lo que podría afectar negativamente al hábitat de la macrofauna.

El incremento de la porosidad en el intervalo entre 200 μm y 400 μm no es solamente un indicador de la mejora de la estructura del suelo, sino también de la mejora de la conectividad entre poros asociada a la actividad de la macrofauna, por lo que es de esperar que se facilite la circulación del agua a través del suelo y mejore el aprovechamiento de ésta por parte de la planta. La disponibilidad de agua es factor determinante en la producción de los cultivos en condiciones de secano de climas semiáridos.

Conclusiones

En condiciones de siembra directa, la porosidad entre 200 μm y 400 μm se relaciona con la cantidad de N aplicada con el purín porcino. Estos cambios pueden expresarse, significativamente, a través de una curva polinómica de segundo grado. A efectos prácticos, dentro de un contexto en el que el suelo esté compactado y tenga una estructura laminar, la relación hallada apunta hacia la evolución de la forma estructural, esto es, hacia un incipiente desarrollo de una estructura en bloques subangulares. Esta mejora se observa cuando las aplicaciones anuales de purín porcino superan el equivalente a 100 kg N·ha⁻¹, pero no rebasan el límite de 200 kg N·ha⁻¹. La evolución positiva de la estructura podría atribuirse a la actividad de la macrofauna, actividad que se vería limitada tanto en las dosis bajas como en las dosis demasiado elevadas de purín.

Agradecimientos

Las autoras de este trabajo agradecen a J.M. Llop su apoyo en los trabajos de campo, así como al Departamento de Acción Climática, Alimentación y Agenda Rural por el mantenimiento de la parcela experimental. Asimismo, se agradece la colaboración del labora-

torio de micromorfología de suelos de la Universitat de Lleida por haber facilitado la elaboración de las láminas delgadas. Este estudio ha sido financiado por el Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria – INIA (proyectos RTA2010-126-C2-01, RTA2013-57-C5-01 y RTA2017-88-C3-03) y por el Ministerio de Economía, Industria y Competitividad.

Referencias bibliográficas

- Ball BC, Robertson EAG (1994). Soil structural and transport properties associated with poor growth of oil-seed rape in soil direct drilled when wet. *Soil and Tillage Research* 31: 119-133. [https://doi.org/10.1016/0167-1987\(94\)90075-2](https://doi.org/10.1016/0167-1987(94)90075-2).
- Bashour I, Al-Ouda A, Kassam A, Bachour R, Jouni K, Hansmann B, Estephan C (2016). An overview of conservation agriculture in the dry Mediterranean environments with a special focus on Syria and Lebanon. *AIMS Agriculture and Food* 1: 67-84. <https://doi.org/10.3934/agrfood.2016.1.67>.
- Behrends-Kraemer F, Morrás HJM (2018). Macroporosity of a Typic Argiudoll with different cropping intensity under no-tillage. *Spanish Journal of Soil Science* 8: 214-235. <https://doi.org/10.3232/SJSS.2018.V8.N2.06>.
- Benyarku CA, Stoops G (2005). Guidelines for preparation of rock and soil thin sections and polished sections. En: *Quaderns DMACS*, 33. Departament de Medi Ambient i Ciències del Sòl, Universitat de Lleida. Lleida, España. 83 pp.
- Bescansa P, Imaz MJ, Virto I, Enrique A, Hoogmoed WB (2006). Soil water retention as affected by tillage and residue management in semi-arid Spain. *Soil and Tillage Research* 87: 19-27. <https://doi.org/10.1016/j.still.2005.02.028>.
- Blanco-Canqui H, Ruis SJ (2018). No-tillage and soil physical environment. *Geoderma* 326: 164-200. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.03.011>.
- Bosch-Serra ÀD, Padró-Caminal Roc, Boixadera-Bosch R, Orobí J, Yagüe-Carrasco MR (2014).

- Tillage and slurry over-fertilization affect oribatid mite communities in a semiarid Mediterranean environment. *Applied Soil Ecology* 34: 124-139. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2014.06.010>.
- Çelik I, Günel H, Acara M, Acir N, Barut ZB, Budak M (2019). Strategic tillage may sustain the benefits of long-term no-till in a Vertisol under Mediterranean climate. *Soil and Tillage Research* 185: 17-28. <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.08.015>.
- Ferreira T, Rasband W (2012). ImageJ: User Guide. Disponible en: <https://imagej.nih.gov/ij/docs/guide/user-guide.pdf> (Consultado: 17 de enero de 2022).
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (2021). General opens the 8th World Congress on Conservation Agriculture. Disponible en: <https://www.fao.org/news/story/it/item/1412745/icode/> (Consultado: 17 de enero de 2022).
- DOCE (1991). Directiva del Consejo (91/676/CEE) de 12 de diciembre de 1991 relativa a la protección de las aguas contra la contaminación producida por nitratos utilizados en la agricultura. *Diario Oficial de las Comunidades Europeas*, núm. L375, pp. 1-8.
- DOGC (2009). Decret 136/2009, d'1 de setembre, d'aprovació del programa d'actuació aplicable a les zones vulnerables en relació amb la contaminació de nitrats que procedeixen de fonts agràries i de gestió de les dejeccions ramaderes. *Diari Oficial de la Generalitat de Catalunya*, núm. 5457, de 3 de setiembre de 2009, pp. 65858-65902.
- Lampurlanés J, Cantero-Martínez C (2003). Soil bulk density and penetration resistance under different tillage and crop management systems and their relationship with barley root growth. *Agronomy Journal* 95: 526-536. <https://doi.org/10.2134/agronj2003.5260>.
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (2020). Encuesta sobre superficies y rendimientos de cultivos. Análisis de las técnicas de mantenimiento del suelo y de los métodos de siembra en España. Disponible en: https://www.mapa.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticas-agrarias/cubiertas2020_tcm30-526244.pdf (Consultado: 17 de enero de 2022).
- Morrás H, Bonel B (2005). Microstructure differentiation in a Typic Argiudoll in the Pampean Region of Argentina under conventional and no-till agricultural systems. Two converging pathways to a similar organic matter content. *Geophysical research abstracts* 7: 01337. <https://meetings.copernicus.org/www.cosis.net/abstracts/EGU05/01337/EGU05-J-01337.pdf> (Consultado: 17 de enero de 2022).
- Rabot E, Wiesmeier M, Schlüter S, Vogel HJ (2018). Soil structure as an indicator of soil functions: A review. *Geoderma* 314: 122-137. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.11.009>.
- Sánchez-Girón V, Serrano A, Hernanz JL, Navarrete L (2004). Economic assessment of three long-term tillage systems for rainfed cereal and legume production in semiarid central Spain. *Soil and Tillage Research* 78: 35-44. <https://doi.org/10.1016/j.still.2004.01.001>.
- Sánchez-Girón V, Serrano A, Suárez M, Hernanz J, Navarrete L (2007). Economics of reduced tillage for cereal and legume production on rainfed farm enterprises of different sizes in semiarid conditions. *Soil and Tillage Research* 95: 149-160. <https://doi.org/10.1016/j.still.2006.12.007>.
- SAS Institute Inc. (2002-2012). SAS/TAT. Software v 9.4. Ed. SAS, Cary, NC, EEUU. Disponible en: https://www.sas.com/en_us/home.html (Consultado: 4 de noviembre de 2021).
- Sasal MC, Andriulo AE, Taboada MA (2006). Soil porosity characteristics and water movement under zero tillage in silty soils in Argentinian Pampas. *Soil and Tillage Research* 87: 9-18. <https://doi.org/10.1016/j.still.2005.02.025>.
- Stoops G (2003). Guidelines for analysis and description of soil and regolith thin sections. *Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, EE.UU.* 256 pp.
- Valdez AS, Bosch-Serra ÀD, Yagüe MR, Poch RM, Puigpinós E (2019). Earthworm community and soil microstructure changes with long-term organic fertilization. *Archives of Agronomy and Soil Science* 66: 957-970. <https://doi.org/10.1080/03650340.2019.1648792>.
- Valdez-Ibañez AS, Bosch-Serra ÀD, Yagüe-Carrasco MR (2019). Fertilization with pig slurry:

- impacts on earthworms in rainfed agriculture. *Investigación Agraria* 21: 1-10. <https://doi.org/10.18004/investig.agrar.2019.junio.1-10>.
- VandenBygaart AJ, Protz R, Tomlin AD, Miller JJ (1999). Tillage system effects on near-surface soil morphology: observations from the landscape to micro-scale in silt loam soils of southwestern Ontario. *Soil and Tillage Research* 51: 139-149. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(99\)00050-1](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(99)00050-1).
- Van den Putte A, Govers G, Diels J, Gillijns K, Demuzere M (2010). Assessing the effect of soil tillage on crop growth: A meta-regression analysis on European crop yields under conservation agriculture. *European Journal of Agronomy* 2010: 231-241. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2010.05.008>.
- Van Gestel CAM, Van Brummelen TC (1996). Incorporation of the biomarker concept in ecotoxicology calls for a redefinition of terms. *Ecotoxicology* 5: 217-225. <https://doi.org/10.1007/BF00118992>.
- Vogel HJ (2008). Quantim4 C/C++ Library for scientific image processing. UFZ – Helmholtz Center for Environmental Research, Helmholtz, Germany. Disponible en: https://www.ufz.de/export/data/2/94413_quantim4_ref_manual.pdf (Consultado: 17 de enero de 2022).
- Yagüe MR, Bosch-Serra AD, Boixadera J (2012). Measurement and estimation of the fertiliser value of pig slurry by physicochemical models: Usefulness and constraints. *Biosystems Engineering* 111: 206-216. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2011.11.013>.
- Zhang S, Li Q, Zhang X, Wei K, Chen L, Liang W (2012). Effects of conservation tillage on soil aggregation and aggregate binding agents in black soil of Northeast China. *Soil and Tillage Research* 124: 196-202. <https://doi.org/10.1016/j.still.2012.06.007>.
- (Aceptado para publicación el 8 de marzo de 2022)

Pradera de *Lolium perenne* y *Trifolium repens* en Asturias. II. Balances nutricionales sobre vacas frisonas en producción a lo largo del año

Begoña de la Roza-Delgado*, Adela Martínez-Fernández,
M. Sagrario Modroño y Alejandro Argamentería

Servicio Regional de Investigación y Desarrollo Agroalimentario. Carretera AS-267, PK. 19. 33300 Villaviciosa, Asturias, España

Resumen

La pradera de *Lolium perenne* y *Trifolium repens* es utilizada para producción de leche en zonas templado-húmedas. Su valor nutritivo depende de su composición química, ingestibilidad y utilización digestiva y metabólica. En la costa centro-oriental de Asturias, se dispone de datos sobre evolución de su composición y digestibilidad. El objetivo del presente trabajo fue evaluar la utilización de la energía y nitrógeno ingeridos. Los objetivos específicos evaluaron a lo largo del año, por un periodo de 12 años, la evolución de las unidades de valoración energética, de las pérdidas urinarias de nitrógeno y su recuperación en leche, con forraje como dieta única o suplementado con diferentes escalas y modalidades de concentrado. Durante primavera, la energía metabolizable a nivel de mantenimiento (MJ), las unidades forrajeras leche según INRA 2018 y la energía neta de lactación a nivel de alimentación 3 (Mcal), por kg de materia seca (MS), oscilaron respectivamente entre 11,1-11,7; 0,93-1,01 y 1,31-1,49. En verano, se redujeron a 10,2-8,9; 0,87-0,69 y 1,18-0,84. En otoño, se recuperaron progresivamente los valores de primavera. Los ensilados de hierba tuvieron valores similares a los de hierba de verano. La suplementación energética con concentrados elevó la metabolicidad, el nivel de alimentación y la recuperación de energía bruta ingerida en leche. La suplementación nitrogenada, elevó la recuperación de nitrógeno ingerido en leche y con un 15 % de proteína bruta sobre MS se redujo la excreción de nitrógeno al medio ambiente. La pradera evaluada posee elevado potencial para producción de leche respetando las normativas UE.

Palabras clave: Pastoreo rotacional, forrajes, valor nutritivo, concentrados.

Temporary ley of *Lolium perenne* and *Trifolium repens* in Asturias. II. Nutritional balances on Friesian cows in production throughout the year

Abstract

The temporary ley of *Lolium perenne* and *Trifolium repens* is widely used for milk production in temperate-humid areas. Its nutritional value depends on its chemical composition, ingestibility and subsequent digestive and metabolic use. On the central eastern coast of Asturias, data are available on the evolution of its chemical composition and digestibility. The general objective of this paper was to obtain information on the use of energy and nitrogen ingested. The specific objectives were to determine,

* Autor para correspondencia: broza@serida.org

Cita del artículo: de la Roza-Delgado B, Martínez-Fernández A, Modroño MS, Argamentería A (2022). Pradera de *Lolium perenne* y *Trifolium repens* en Asturias. II. Balances nutricionales sobre vacas frisonas en producción a lo largo del año. ITEA-Información Técnica Económica Agraria 118(4): 530-546. <https://doi.org/10.12706/itea.2021.039>

throughout the year and for a period of 12 years, the evolution of the energy units, the urinary losses of nitrogen and the recovery of the same in milk, with forage as a single diet or supplemented with different scales and modalities of concentrate. During spring, metabolizable energy at maintenance level (MJ), milk forage units according to INRA 2018 and net lactation energy at feed level 3 (Mcal), per kg of dry matter, ranged respectively between 11.1-11.7; 0.93-1.01 and 1.31-1.49. In summer, they were reduced to 10.2-8.9; 0.87-0.69 and 1.18-0.84. In autumn, spring values gradually recovered. The grass silages had values similar to those of summer grass. Energy supplementation with concentrates significantly elevated metabolicity, feeding level and recovery of raw energy ingested in milk. Nitrogen supplementation significantly increased the recovery of nitrogen ingested in milk and with 15 % crude protein on dry matter, the excretion of nitrogen into the environment was reduced. The evaluated pasture has high potential for milk production in compliance with EU regulations.

Keywords: Rotational grazing, forages, nutritive value, concentrates.

Introducción

En la Cornisa Cantábrica la producción de leche de vacuno en sistemas sostenibles y de reducido impacto medioambiental, que se concentran en la rasa marítima y en las altiplanicies de la zona central, se basan en la utilización de pastos y forrajes verdes y ensilados, por ello resulta imprescindible la determinación del valor nutritivo de las praderas, ya que comparte con el resto de zonas húmedas del Norte de España una acentuada vocación pascícola y forrajera (Martínez-Fernández et al., 2008). Un primer trabajo y como paso previo a este, lo constituyó la determinación de la digestibilidad *in vivo* sobre vacuno lechero (de la Roza-Delgado et al., 2021) de las praderas de *Lolium perenne-Trifolium repens* de la Unidad de Producción de Leche del Servicio Regional de Investigación y Desarrollo Agroalimentario (SERIDA) del Principado de Asturias (zona costera centro-oriental, dentro del arco atlántico).

En cuanto a los sistemas de alimentación, los más usuales en España para vacuno lechero son el del AFRC (Chamberlain y Wilkinson, 1996a), el Systali del INRA (Nozière et al., 2018) y el del NRC (2001). Requieren disponer ante todo de los datos de las respectivas unidades de valoración energética: energía metabolizable a nivel de mantenimiento, unidades fo-

rrajeras leche y energía neta de lactación a nivel de alimentación 3. En lo concerniente a la alimentación nitrogenada, no es suficiente disponer de datos de nitrógeno ingerido, sino también de su utilización posterior.

El primer objetivo de este trabajo fue determinar la evolución del valor energético del forraje de la mencionada pradera por meses del año, así como el de los ensilados de primero y segundo cortes, según los sistemas de alimentación antes enumerados. El segundo, consistió en cuantificar las pérdidas urinarias de nitrógeno ingerido y la recuperación del mismo en leche. El tercero, caracterizar la influencia de la suplementación con diferentes dosis y modalidades de concentrado sobre los balances en energía y nitrógeno.

Material y métodos

Finca experimental, rebaño, manejo e instalaciones

Se utilizó una finca experimental del SERIDA (43° 28' 50" N, 5° 26' 27" W, 10 m s. n. m.) y un rebaño de 60 vacas de raza Holstein Friesian. El manejo de las parcelas y el rebaño se llevó a cabo de acuerdo a la descripción reflejada en el trabajo previo de la Roza-Delgado et al. (2021).

Diseño experimental

Durante doce años sucesivos, se efectuaron cuatro-seis controles anuales de ingestión total diaria de materia seca y la excreción de heces, orina y leche en vacas frisonas, procedentes de un rebaño que aprovechaba parcelas de pradera de *Lolium perenne-Trifolium repens*, en pastoreo o como forraje ensilado, en base a sólo forraje o con suplementación. Cada control incluía 14 días de adaptación y siete experimentales. Todos los detalles relativos a metodología, composición botánica de los forrajes, composición en materias primas de los concentrados, escalas de suplementación para los mismos, composición química y digestibilidad *in vivo* de los principios nutritivos de forrajes y concentrados, pueden ser consultados en un artículo previo (de la Roza-Delgado et al., 2021). Además de la toma de muestras y analítica que exige un ensayo de digestibilidad, se recogió orina dos veces al día, después de cada ordeño, dentro de un recipiente tarado con 250 ml de H₂SO₄ 5 M. Una alícuota del 1 % se fue acumulando en frascos de vidrio con tapón roscado a -30 °C. Otras dos alícuotas diarias del 10 % de rechazos y heces, fueron recolectadas respectivamente en bolsas de plástico y se mantuvieron a -30 °C hasta su liofilización. En cada ordeño, se tomaron muestras del 1 % en peso del total de leche obtenida, que se acumularon por duplicado en recipientes de vidrio de cabeza roscada con dicromato potásico como conservante y se mantuvieron refrigerados a 3-5 °C hasta su análisis.

El peso vivo de cada vaca (promedio de dos días sucesivos tras el ordeño de la mañana) y su condición corporal (escala de 1 a 5; Mulvany, 1981; García-Paloma, 1990), se determinaron al comienzo del periodo pre-experimental y al final del periodo experimental.

Estimación de las pérdidas energéticas bajo forma de gases y de calor

Las pérdidas de energía bajo forma de metano procedente de la fermentación ruminal, para calcular la energía metabolizable, fueron estimadas y no medidas. Es poco preciso, de acuerdo con el Agricultural Development y Advisory Service (ADAS, 1989) y el INRA (Sauvant et al., 2018a). Pero, como los valores no son cuantitativamente elevados, no contribuyen a errores graves en los cálculos finales.

Las pérdidas de calor desprendido al medio ambiente también se estimaron según la bibliografía existente, incluida en los dos sistemas de alimentación que evalúan en términos de energía neta de lactación (NRC, 2001; Sauvant et al., 2018a,c).

Variables dependientes finales

Los parámetros determinados en cada ensayo fueron los siguientes:

- Peso vivo (kg) y condición corporal medios.
- Ingestión de energía bruta (EBi; MJ/día).
- Energía excretada en orina y recuperada en leche (% EBi).
- Contenido en energía digestible (ED; MJ/kg MS) e ingestión de energía digestible (EDi; MJ/día).
- Nivel de alimentación estimado como $L = EDi/ED$ para mantenimiento. Se tomó ED para mantenimiento (MJ/día) = $0,5 \times \text{Peso vivo medio}^{0,75} / 0,81$. (ARC, 1980).
- Energía metabolizable (EM; MJ/kg MS) e ingestión de energía metabolizable (EMi; MJ/día). Para su cálculo, las pérdidas energéticas bajo forma de gases (% EBi) fueron estimadas en función de la digestibilidad de la energía bruta (DEB) y de L como $EBg = 1,3 + 0,112 \times (DEB + 10,7 \times (L - 1)) / (1 + 0,113 \times (L - 1)) + L \times [2,37 - 0,05 \times (DEB + 10,7 \times (L - 1)) / (1 + 0,113 \times (L - 1))]$, según deducción a partir de Blaxter y Clapperton (1965).

- Los valores de energía digestible se refirieron a nivel de alimentación 1, según Blaxter (1969), mediante la expresión:

$$y = (x + 10,7 \times (L - 1)) / (1 + 0,113 \times (L - 1)), \text{ donde:}$$

y = Valor calculado para nivel de alimentación igual a 1

x = Valor obtenido con el nivel de alimentación real (L) durante el ensayo

- Metabolicidad de la energía $q = \text{EMi/EBi}$.
- Relación EMi/EDi .
- Valor D, como relación entre EM1x y contenido en materia orgánica digestible a nivel de mantenimiento en g/kg MS.
- Ingestión de nitrógeno (Ni ; g/día).
- Nitrógeno excretado en orina y leche (No , Nl ; g/día).
- Balance en proteína en el rumen (BPR ; g/kg MS), estimado en función del contenido en proteína bruta de la ración total (PB ; g/kg MS) como $\text{BPR} = -84,5 + 0,61 \times \text{PB}$, según Sauvante et al. (2018b).
- Producción de leche (kg/día) y su calidad fisicoquímica (% de grasa, proteína, lactosa y sólidos no grasos).

Análisis químicos

Las muestras liofilizadas de ofertas de forrajes, rechazos y heces y concentrados fueron molidas a 0,75 mm y analizadas según se describe en de la Roza-Delgado et al. (2021). En las muestras de leche y orina, se determinó la densidad, el nitrógeno Kjeldahl y la energía bruta, después de liofilización en bolsas de polietileno con calor de combustión conocido, mediante bomba calorimétrica IKA®-WERKE C 5000 C (IKA®-Werke GmbH & Co. KG, Germany). Previamente a la liofilización, las muestras de orina se neutralizaron con NaOH y las de leche se homogenizaron a 40 °C en un agitador magnético. Los componentes de la leche se determinaron por reflectancia en el infra-

rojo medio (2500 - 4×10^4 nm, equipo Milkoscan™ FT 6000 de Foss, Dimamarca), en el Laboratorio Interprofesional Lechero de Asturias (LILA, acreditación nº 246/LE 476), sobre muestras refrigeradas con adición de dicromato potásico conservante). Adicionalmente, el contenido en proteína de esas mismas muestras de leche fue también calculado como nitrógeno Kjeldahl $\times 6,38$ (equipo Kjeltex Auto de Foss Tecator, Suecia).

Análisis estadístico

Los análisis estadísticos se efectuaron mediante la aplicación informática R de libre acceso (R Core Team, 2013). Como paso previo, se comprobó el ajuste a una distribución normal de todas las variables consideradas, mediante el test de Shapiro-Wilks. También se comprobó la homogeneidad de varianzas mediante el test de Bartlett, para las variables analizadas y para los residuos de ajuste a modelo lineal. Ante la frecuente falta de homocedasticidad, muchas veces altamente significativa, se acudió a la estadística robusta (WRS2; Mair y Wilcox, 2018).

El diseño original incluía:

- Diez categorías del factor de efecto fijo “forraje”: forraje verde de marzo, de abril, de mayo, de primera quincena de junio, de segunda quincena de junio y julio, de agosto, de octubre, de noviembre, ensilado horizontal de primer corte y ensilado de rotapacas de segundo corte.
- Tres del factor de efecto fijo “Tipo de concentrado (TipoConc): B1, B2, B”.
- Covariable dosis de concentrado (Ic ; kg MS/vaca-día). Para vacas testigo sin concentrado, $\text{Ic} = 0$.
- Año como factor de efecto aleatorio.

Pero, la estadística robusta no permite todas las posibilidades de la paramétrica. Exigió las siguientes simplificaciones expuestas a continuación.

- Por no contemplar el uso de factores de efecto aleatorio, el año se dejó incluido en el error.
- La interacción efecto fijo $\times$ covariable, sólo permite dos categorías del primero. Se consideró, como mejor solución, sustituir la covariable lc por una cuarta categoría TipoConc = No, y, a continuación, sintetizar las diez categorías del factor forraje y las cuatro del factor TipoConc en $10 \times 4 = 40$ categorías de un único factor de efecto fijo "ForTipoConc".

Para algunos parámetros, fue preciso aceptar otras limitaciones adicionales impuestas por el manejo rutinario de la explotación.

Para contrastar las características de peso y condición corporal de las vacas, así como la producción y composición de la leche, es preciso tener muy en cuenta que, la agrupación de partos a la salida del invierno, condiciona la fase creciente de lactación al período de hierba de marzo a junio¹, lactación media a hierba de junio² y de agosto, y, lactación tardía a hierba de octubre y noviembre o ensilado de hierba. Se delimitaron así cuatro épocas: primavera, verano, otoño y ensilado, considerando cada una como experiencia independiente. También fue necesario proceder de forma similar con los cuatro TipoConc. Resultó imposible que todos pudiesen intervenir en cada balance, ya que el número máximo de animales por ensayo fue de seis. Por tanto, se sintetizaron en sólo dos categorías: "No" para dieta única de forraje y "Si" para forraje más concentrado.

Se determinó el efecto de la suplementación (No o Si) sobre las variables peso, condición corporal y producción y calidad de la leche, por separado para cada una de las cuatro épocas. Para ello, se calcularon las medias recortadas 20 % y se siguió un modelo de análisis de varianza robusto t1way con contraste inmediato.

Para los parámetros indicadores del balance en energía y nitrógeno, se consideró el factor de efecto fijo ForTipoConc, antes definido, dentro de un análisis de varianza robusto t1way sobre las medias recortadas al 20 %, seguido de los posteriores contrastes lineales entre las mismas (función lincon), en caso de F significativa ($p \leq 0,05$). Para TipoConc = No, se obtienen los resultados de las diez categorías de forraje como dieta única. Para TipoConc = B1, B2, B, se obtienen los resultados de las respectivas raciones totales. Dado que se conoce la proporción de la energía bruta ingerida que procede del concentrado, se puede calcular el contenido energético del mismo.

Todo el proceso anterior se basó en la utilización de efectos fijos. Para determinar la influencia de la dosis de concentrado sobre los balances en energía y nitrógeno, fue preciso acudir a los métodos de correlación y regresión robustas, empleando el paquete estadístico MASS.

El primer paso consistió en obtener la matriz de coeficientes de correlación robustos entre la totalidad de las variables dependientes, así como sus respectivos niveles de significación, mediante el procedimiento pball.

A continuación, de forma individual para TipoConc = No más B1 en conjunto, No más B2 en conjunto y No más B en conjunto, se obtuvieron las respectivas ecuaciones de regresión robusta mediante máxima verosimilitud restringida (procedimiento rlm), así como los correspondientes coeficientes de correlación robustos y su nivel de significación (procedimiento pbcor).

El procedimiento pbcor se empleó asimismo para confirmar la concordancia entre valores de energía bruta y proteína de la leche por vía húmeda y según reflectancia en el infrarrojo medio.

Resultados

Peso vivo, condición corporal, producción y calidad fisicoquímica de la leche

La Tabla 1 presenta el estado de lactación, características de las vacas, producción de leche y composición de la misma, según época del año y suplementación. La suplementación mejoró la condición corporal de los animales en primavera (fase temprana de lactación) e incrementó siempre la producción de leche, reduciendo el porcentaje de grasa excepto durante el periodo de alimentación con ensilado. No se observó incremento en el contenido en proteína. En cuanto a lactosa y sólidos no grasos, no hubo un comportamiento uniforme.

El coeficiente de correlación robusto entre energía bruta de la leche y su contenido en grasa, fue de $+0,74$ ($p < 0,001$) y entre proteína MilkoScan y N Kjeldahl por vía húmeda, alcanzó $+0,95$ ($p < 0,001$), valores que aportan seguridad en los resultados obtenidos.

Pérdidas de energía bruta ingerida bajo forma de gases y de orina

Las pérdidas de EBi bajo forma de gases y de orina, supusieron respectivamente el $7,6 \pm 0,09$ % y el $3,9 \pm 0,10$ %. En total, alcanzaron $11,5 \pm 0,12$ % (medias recortadas 20 % $\pm$ error estándar).

La regresión entre las estimaciones de pérdidas energéticas bajo forma de gases según ADAS (1989) (EBgARC) y según Sauvant et al. (2018a) (EBgSystali), resultó significativa, pero débil: $\text{EBgARC} = 7,0 + 0,14\text{EBgSystali}$; 7 iteraciones; $\text{pbcor} = +0,19$, $p < 0,01$; escala estimada = 0,571.

Respecto a las pérdidas urinarias, la regresión robusta entre los valores obtenidos experimentalmente (EBo) y las estimaciones según Sauvant et al. (2018a) (EBoSystali), presentó

una significación mayor: $\text{EBo} = -1,36 + 1,12\text{EBoSystali}$; 4 iteraciones; $\text{pbcor} = +0,49$, $p < 0,001$; escala estimada = 1,32.

En cuanto a la matriz de coeficientes de correlación robustos entre EBo y los parámetros considerados por Systali, reveló valor negativo no significativo con ingestión de materia seca en % PV, de $+0,47$ ($p < 0,001$) con PB, y de $+0,14$ ($p < 0,05$) con proporción de concentrado en la ración. Con PB, la ecuación de regresión fue $\text{EBo} = -0,04 + 0,21\text{PB}$; 4 iteraciones; escala estimada = 1,27. Se debe señalar que, el coeficiente de correlación robusto entre ingestión total y proporción de concentrado en la ración, resultó $+0,38$ ($p < 0,001$).

Entre pérdidas totales de gases y orina estimadas en este trabajo y las estimaciones según Systali, la ecuación de regresión robusta fue $\text{EBgo} = 8,4 + 0,27\text{EBgoSystali}$. La relación entre EBgo y las pérdidas energéticas fecales (EBf) fue $\text{EBgo} = 14,7 - 0,11\text{EBf}_i$. Ambas regresiones presentan resultados comunes: 4 iteraciones; $\text{pbcor} = -0,41$, $p < 0,0001$; escala estimada = 1,48.

Balance energético sin suplementación

La Tabla 2 presenta los resultados de las energías (bruta, digestible y metabolizable) ingeridas (EBi, EDi, EMi; MJ/día), nivel de alimentación (L), metabolizabilidad de la energía ($q = \text{EMi}/\text{EDi}$), relación EMi/EDi y % de EBi excretada en leche (EBi_i), según categorías de forraje y sin concentrado suplementario. La energía bruta ingerida presentó valores máximos en primavera, oscilaciones en verano y valores mínimos en otoño. La energía digestible y metabolizable ingeridas, así como el nivel de alimentación, tuvieron una evolución más definida, con un valor máximo muy constante durante primavera y un mínimo en verano y otoño. En cuanto a los ensilados, mostraron valores equiparables a los de la hierba de verano y no difirieron

Tabla 1. Semana de lactación, características de las vacas, producción de leche y composición de la misma, según época del año y suplementación (Medias recortadas 20 % ± error estándar y contrastes).
Table 1. Average lactation week, characteristics of cows, milk production and their composition, according to time of year and supplementation (20 % trimmed means ± standard error and contrasts).

Época	Suplementación	Características de las vacas				Producción y composición de la leche					
		Slactación	Vpeso (kg/día)	PV (kg)	CC	P leche (kg/día)	Grasa (%)	Proteína (%)	Lactosa (%)	SNG (%)	EB (MJ/kg)
Primavera	Si	12±0,9	0,66±0,292	504±8,3	1,63±0,046	21,5±0,70	4,20±0,083	2,87±0,033	4,86±0,030	8,38±0,057	3,08±0,037
	No	8±0,7	0,49±0,266	527±9,8	1,82±0,048	21,7±0,89	3,88±0,100	2,96±0,030	4,92±0,025	8,51±0,086	2,95±0,044
	Significación	ns	ns	ns	**	***	**	ns	ns	**	ns
Verano	Si	21±1,5	-1,52±0,507	500±16,7	1,70±0,077	12,7±0,83	4,11±0,141	2,96±0,073	4,72±0,051	8,36±0,075	2,97±0,079
	No	22±0,7	-0,79±0,290	547±11,7	1,68±0,046	20,3±0,65	3,88±0,093	2,92±0,042	4,72±0,044	8,36±0,052	2,93±0,041
	Significación	ns	ns	ns	ns	***	ns	ns	ns	ns	ns
Otoño	Si	36±0,8	1,26±0,452	512±11,8	1,60±0,062	7,1±0,66	4,76±0,143	3,58±0,098	4,24±0,094	8,59±0,103	3,45±0,075
	No	36±0,8	1,04±0,819	524±8,3	1,73±0,063	14,1±0,81	4,35±0,164	3,25±0,069	4,76±0,037	8,73±0,076	3,22±0,074
	Significación	ns	ns	ns	ns	***	*	*	***	ns	*
Ensilado	Si	23±3,8	-0,58±0,202	560±10,5	1,93±0,075	5,2±1,07	4,02±0,269	3,30±0,108	4,31±0,159	8,35±0,017	3,01±0,114
	No	32±1,9	0,10±0,526	564±11,4	1,97±0,111	15,5±1,22	4,12±0,125	3,24±0,104	4,67±0,064	8,62±0,092	2,98±0,099
	Significación	ns	ns	ns	ns	**	ns	ns	*	ns	ns

Slactación: Semana de Lactación; Vpeso: Variación de peso; CC: Condición Corporal; Pleche: Producción de leche; PV: Peso Vivo; SNG: Sólidos no grasos; EB: Energía Bruta.

Tabla 2. Energías bruta, digestible y metabolizable ingeridas (EBi, EDi, EMi; MJ/día), nivel de alimentación (L), metabolizabilidad de la energía ($q = \text{EMi}/\text{EDi}$), relación EMi/EDi y % de EBi excretada en leche (EBi_l) según categorías de forraje y sin concentrado suplementario.

Table 2. Gross energy intake, digestible energy intake, metabolizable energy intake (MJ/ cow/ day), feeding level, metabolizability, metabolizable energy: digestible energy ratio and recovery intake energy on milk (%) according to forage categories and without supplementary concentrate.

Forraje	EBi	EDi	EMi	L	q	EMi/EDi	EBi_l
Marzo	252±5,7 ^{ab}	186±5,8 ^b	158±5,1 ^b	2,88±0,101 ^b	0,63±0,018 ^b	0,85±0,007 ^b	29,7±1,51 ^c
Abril	257±9,1 ^{ab}	190±6,8 ^b	160±6,7 ^b	2,84±0,092 ^b	0,62±0,011 ^b	0,84±0,008 ^{ab}	25,9±2,84 ^{bc}
Mayo	256±13,3 ^{ab}	183±10,1 ^b	154±8,8 ^b	2,85±0,112 ^b	0,60±0,021 ^b	0,84±0,005 ^{ab}	22,6±0,71 ^{bc}
Junio1	277±10,9 ^b	191±6,3 ^b	161±4,9 ^b	2,81±0,100 ^b	0,58±0,011 ^b	0,84±0,006 ^{ab}	17,7±0,64 ^b
Junio2	228±12,5 ^{ab}	159±15,2 ^{ab}	134±14,1 ^{ab}	2,28±0,154 ^{ab}	0,58±0,032 ^b	0,83±0,010 ^{ab}	18,3±0,70 ^b
Agosto	252±29,1 ^{ab}	137±15,4 ^a	113±13,0 ^a	2,01±0,193 ^{ab}	0,45±0,009 ^a	0,82±0,004 ^{ab}	8,4±3,90 ^a
Octubre	202±5,0 ^a	141±6,6 ^{ab}	116±5,3 ^{ab}	2,15±0,109 ^{ab}	0,58±0,011 ^b	0,82±0,005 ^{ab}	9,8±1,00 ^a
Noviembre	191±11,6 ^a	140±9,5 ^a	114±8,1 ^a	2,11±0,166 ^{ab}	0,60±0,015 ^b	0,81±0,007 ^a	14,1±1,14 ^{ab}
Ens. Hor.	192±6,5 ^a	124±3,6 ^a	102±3,0 ^a	1,72±0,043 ^a	0,54±0,014 ^b	0,83±0,005 ^{ab}	8,1±2,02 ^a
Ens. Rot.	221±15,6 ^{ab}	144±10,9 ^{ab}	119±8,8 ^{ab}	2,07±0,150 ^{ab}	0,54±0,006 ^b	0,83±0,003 ^{ab}	3,5±1,83 ^a

Forraje: Hierba verde del mes indicado. O bien: Ens. Hor. = Ensilado horizontal de primer corte; Ens. Rot. = Ensilado de rotopacas de segundo corte.

Junio1: Experiencia iniciada entre 1 y 15 de junio. Junio2: Después del 15 de junio.

a, b, c: Valores acompañados de distinta letra en la misma columna difieren a $p < 0,05$.

significativamente entre sí. La metabolizabilidad varió dentro del intervalo 0,45-0,63 y presentó un mínimo absoluto para la hierba de agosto. La relación EMi/EDi fue muy constante (0,81-0,85), con un mínimo absoluto para la hierba de noviembre. La recuperación de energía bruta ingerida en leche presentó un máximo absoluto en marzo (29,7 %) y mínimos en verano (8,4 % en agosto) y otoño, así como durante el periodo de alimentación con ensilado (8,1 % y 3,5 %, para ensilado horizontal de primer corte y rotopacas de segundo corte, respectivamente).

Efectos de la suplementación sobre el balance energético

Los efectos de la suplementación sobre el balance energético se presentan en la Tabla 3. La ingestión de concentrado no sólo incrementó la de energía bruta, digestible y metabolizable, sino que también elevó la metabolizabilidad, el nivel de alimentación y la recuperación de energía en leche. Los efectos fueron mayores con el concentrado B1, tanto sobre el coeficiente de correlación robusto como sobre el de regresión. Adicionalmente, la relación EMi/EDi, fue mejorada por la ingestión de los concentrados B2 y B, pero no por la del B1.

Tabla 3. Efecto sobre el balance en energía de la dosis de concentrado (lc; kg materia seca/vaca·día) y de la naturaleza del mismo (B1, B2 y B).
Table 3. Effect on the energy balance of the concentrate dose (lc; kg dry matter/cow·day) and the nature of the concentrate (B1, B2 and B).

	Concentrado					
	B1			B2		
	pbcor	Regresión robusta	pbcor	Regresión robusta	pbcor	Regresión robusta
EBi	0,546**	EBi = 226 + 19,03lc	0,535***	EBi = 222 + 13,9lc	0,447**	EBi = 239 + 9,8lc
EDi	0,767***	EDi = 165 + 19,4lc	0,515***	EDi = 124 + 10,6lc	0,466**	EDi = 162 + 8,2lc
EMi	0,750***	EMi = 138 + 17,1lc	0,504***	EMi = 127 + 9,4lc	0,470**	EMi = 133 + 7,7lc
q	0,869***	q = 0,60 + 0,018lc	0,193**	q = 0,57 + 0,0063lc	0,417**	q = 0,56 + 0,0084lc
L	0,829***	L = 2,48 + 0,261lc	0,379***	L = 2,39 + 0,105lc	0,413**	L = 2,29 + 0,109lc
EMi/EDi	ns	EMi/EDi = 0,84 ± 0,003(t)	0,156*	EMi/EDi = 0,87 + 0,0028lc	0,495**	EMi/EDi = 0,82 + 0,0041lc
EBL_i	0,621***	EBL_i = 19,2 ± 1,63lc	0,264***	EBL_i = 15,9 + 1,20lc	0,381*	EBL_i = 16,3 + 1,20lc

B1: 25 % de harina de pescado. B2: 12,5 % de harina de pescado. B: Trigo + subproductos con fibra de alta digestibilidad.
En MJ/vaca·día: EBi = Energía bruta ingerida; EDi = Energía digestible ingerida; Emi = Energía metabolizable ingerida; Metabolibilidad:
q = EMi/EBi; L = Nivel de alimentación. EBL_i: Energía bruta excretada en leche respecto a total ingerida.

pbcor: Coeficiente de correlación robusto. Si resulta NS:

t: Media recortada 20 % ± error estándar.

***: $p < 0,001$; **: $p < 0,01$; *: $p < 0,05$; ns: $p > 0,05$.

Valoración energética de los forrajes

Los resultados de valoración energética de las diez categorías de forraje consideradas se presentan en la Tabla 4. En lo que concierne a la hierba verde, a partir de un máximo inicial en primavera, los valores decrecen hasta un mínimo en agosto y se recuperan durante el otoño hasta alcanzar en noviembre el mismo valor que en marzo y abril. Valorando en términos de energía metabolizable, se observan algunas diferencias significativas entre primavera temprana y tardía, que no se captan valorando en términos de energía neta. En cuanto a ensilados, en ningún caso se observan diferencias significativas entre primero y segundo corte.

Valoración energética de los concentrados

Aunque no son posibles contrastes estadísticos entre los mismos, se pueden hacer las siguientes observaciones, a partir de los resultados que se muestran en la Tabla 5. En términos de energía metabolizable a nivel de mantenimiento (EM_{1x}), los concentrados B1 y B2, tienen el mismo valor, superior al de B (12,8-12,7 MJ/kg MS vs. 10,7 MJ/kg MS). En cuanto a las UFL, B1 presenta un valor superior a B2 y B, que no se diferencian entre sí (1,44 UFL/kg MS vs. 1,17 UFL/kg MS y 1,19 UFL/kg MS). Los valores de energía neta de lactación a nivel de alimentación 3 ($ENL3x$), no presentan diferencia entre los tres concentrados (1,87 Mcal/kg MS; 1,90 Mcal/kg MS y 1,95 Mcal/kg MS, para B1, B2 y B, respectivamente).

Tabla 4. Contenido en energía digestible (MJ/kg MS), energía metabolizable (MJ/kg MS), unidades forrajeras leche (UFL/kg MS) y energía neta de lactación (Mcal/kg MS) de los forrajes.

Table 4. Digestible energy (MJ/kg DM), metabolizable energy (MJ/kg DM), milk forage units (UFL/kg DM) and net energy of lactation (Mcal/kg DM) of the forages.

Forraje	ED resultante	EM resultante	ED _{1x}	EM _{1x}	UFL/kg MS	ENL _{3x}
Marzo	13,2±0,41 ^c	11,3±0,33 ^c	13,8±0,36 ^{bc}	11,5±0,27 ^{bc}	0,98±0,043 ^b	1,39±0,081 ^c
Abril	13,4±0,24 ^c	11,3±0,23 ^c	14,1±0,21 ^c	11,7±0,25 ^c	0,98±0,023 ^b	1,40±0,037 ^c
Mayo	13,0±0,46 ^{bc}	10,9±0,37 ^c	13,7±0,39 ^{bc}	11,3±0,26 ^{bc}	0,93±0,050 ^{ab}	1,31±0,092 ^c
Junio1	12,8±0,19 ^{bc}	10,8±0,21 ^{bc}	13,6±0,22 ^{bc}	11,1±0,19 ^{bc}	1,01±0,062 ^b	1,49±0,108 ^c
Junio2	12,1±0,43 ^b	10,1±0,43 ^b	12,6±0,45 ^{ab}	10,2±0,36 ^{ab}	0,87±0,051 ^{ab}	1,18±0,093 ^{bc}
Agosto	10,2±0,22 ^a	8,4±0,22 ^a	11,0±0,34 ^a	8,9±0,27 ^a	0,69±0,020 ^a	0,84±0,057 ^a
Octubre	12,8±0,23 ^b	10,5±0,18 ^b	13,2±0,24 ^b	10,8±0,17 ^b	0,87±0,043 ^{ab}	1,23±0,075 ^c
Noviembre	13,5±0,31 ^c	10,9±0,28 ^c	14,0±0,25 ^{bc}	11,3±0,20 ^{bc}	0,95±0,029 ^b	1,34±0,060 ^c
Ens. Hor.	11,9±0,26 ^b	9,8±0,27 ^b	11,2±0,22 ^a	9,1±0,18 ^a	0,77±0,022 ^{ab}	0,96±0,044 ^{ab}
Ens. Rot.	12,0±0,18 ^b	10,0±0,13 ^b	11,5±0,21 ^{ab}	9,3±0,17 ^a	0,78±0,012 ^{ab}	1,01±0,033 ^b

Forraje: Hierba verde del mes indicado. O bien: Ens. Hor. = Ensilado horizontal de primer corte; Ens. Rot. = Ensilado de rotopacas de segundo corte.

Junio1: Experiencia iniciada entre 1 y 15 de junio. Junio2: Después del 15 de junio.

ED = Energía digestible; EM = Energía metabolizable; UFL = Unidades forrajeras leche; ENL = Energía neta de lactación.

1x: Valores referidos a nivel de mantenimiento; 3x: Valores referidos a nivel de alimentación = 3.

a, b, c: Valores acompañados de distinta letra en la misma columna difieren a $p < 0,05$.

Tabla 5. Contenido en energía digestible (MJ/kg MS), energía metabolizable (MJ/kg MS) y energía neta de lactación (Mcal/kg MS) de los concentrados B1, B2 y B.

Table 5. Digestible energy (MJ/kg DM), metabolizable energy (MJ/kg DM) and net energy of lactation (Mcal/kg DM) of the concentrates B1, B2 and B.

Concentrado	ED resultante	EM resultante	ED1x	EM1x	UFL/kg MS	ENI3x
B1	14,5	13,1	15,7	12,8	1,44	1,87
B2	14,5	12,7	15,7	12,7	1,17	1,90
B	13,8	12,2	14,1	10,7	1,19	1,95

ED = Energía digestible; EM = Energía metabolizable; UFL = Unidades forrajeras leche; EN1 = Energía neta de lactación.

1x: Valores referidos a nivel de mantenimiento; 3x: Valores referidos a nivel de alimentación = 3.

Balance en nitrógeno sin suplementación

Los resultados del balance en nitrógeno sin suplementación, figuran en la Tabla 6. El N ingerido es máximo durante la primavera ($465 \pm 28,6$ g/día) y en noviembre, y mínimo durante el período de alimentación con ensilados ($272 \pm 12,2$ g/día y $275 \pm 29,8$ g/día para primer y segundo corte, respectivamente). Con respecto a las pérdidas urinarias del N ingerido, los valores son máximos en noviembre ($60,7 \pm 3,22$ %) y mínimos en agosto ($34,3 \pm 3,23$ %).

La recuperación del N ingerido en leche es máxima en primavera temprana ($25,6 \pm 1,91$ % en marzo) y mínima durante el período de alimentación con ensilado de rotapacas de segundo corte ($5,2 \pm 2,62$ %).

Efecto de la suplementación sobre el balance en nitrógeno

El efecto de la suplementación con los tres concentrados sobre el balance de nitrógeno se muestra en la Tabla 7. La suplementación con los concentrados B1 y B2 incrementó la ingestión de nitrógeno, resultado que no tuvo lugar con el concentrado B. Por otro lado, la suplementación con el concentrado B2 re-

dujo significativamente las pérdidas urinarias de nitrógeno ingerido y en cuanto a la recuperación de nitrógeno ingerido en leche, todos los concentrados la incrementan. Finalmente, el concentrado B1 incrementó, además, el nitrógeno retenido.

Parámetros indicadores del balance en energía y nitrógeno, sobre la totalidad de ensayos realizados, sin o con adición de concentrado (medias recortadas 20 % $\pm$ error estándar)

Además de los resultados recogidos en las Tablas 1 a 6, a continuación, se presenta la síntesis general de los balances nutricionales:

1. En cuanto a balance energético: metabolizabilidad $q = 0,592 \pm 0,0043$; relación energía metabolizable/energía digestible = $0,836 \pm 0,0016$; valor D = $0,162 \pm 0,0008$.
2. En cuanto a destino del nitrógeno ingerido (%): pérdidas urinarias = $43,3 \pm 0,68$; nitrógeno retenido en el cuerpo del animal = $11,8 \pm 0,74$.
3. Para vacas no secas, la recuperación en leche es el $20,1 \pm 0,61$ % de la energía bruta ingerida y el $19,1 \pm 0,46$ % del nitrógeno ingerido.

Tabla 6. Balance en nitrógeno según categorías de forraje y sin adición de concentrado.
 Table 6. Nitrogen balance according to forage categories without supplementation.

Forraje	N ingerido (g/día)	N excretado (% del N ingerido)	
		En orina	En leche
Marzo	438±22,9 ^b	47,9±1,08 ^{ab}	25,6±1,91 ^b
Abril	444±24,8 ^b	46,6±2,68 ^{ab}	23,0±1,13 ^b
Mayo	384±20,6 ^{ab}	42,9±3,08 ^{ab}	22,6±1,32 ^{ab}
Junio1	465±28,6 ^b	46,3±1,43 ^{ab}	16,7±1,26 ^{ab}
Junio2	343±18,0 ^{ab}	43,5±3,53 ^{ab}	16,8±1,00 ^{ab}
Agosto	373±47,1 ^{ab}	34,3±3,23 ^a	13,9±1,21 ^{ab}
Octubre	375±14,7 ^{ab}	48,3±3,48 ^{ab}	8,8±0,88 ^a
Noviembre	405±24,1 ^b	60,7±3,22 ^b	10,6±0,94 ^{ab}
Ens. Hor.	272±12,2 ^a	43,0±1,79 ^{ab}	9,6±1,72 ^a
Ens. Rot.	275±29,8 ^{ab}	38,9±1,92 ^{ab}	5,2±2,62 ^a

Forraje: Hierba verde del mes indicado. O bien: Ens. Hor. = Ensilado horizontal de primer corte; Ens. Rot. = Ensilado de rotopacas de segundo corte.

Junio1: Experiencia iniciada entre 1 y 15 de junio. Junio2: Después del 15 de junio.

a, b, c: Valores acompañados de distinta letra en la misma columna difieren a $p \leq 0,05$.

Tabla 7. Efecto de la suplementación sobre el balance en nitrógeno (Coeficientes de correlación robustos entre las respuestas a cada concentrado y la dosis empleada).
 Table 7. Effect of supplementation on nitrogen balance. (Robust correlation coefficients between responses to different concentrates and dose used).

Concentrado	N ingerido	Recuperación del N ingerido		
		En orina	En leche	Retenido
B1	0,716 ^{***}	ns	0,450 [*]	0,414 [*]
B2	0,385 ^{***}	-0,237 ^{***}	0,342 ^{***}	ns
B	ns	ns	0,447 ^{**}	ns

B1: 25 % de harina de pescado. B2: 12,5 % de harina de pescado. B: Subproductos con fibra de alta digestibilidad.

***: $p < 0,001$; **: $p < 0,01$; *: $p < 0,05$; ns: $p > 0,05$.

4. El balance en proteína en el rumen (g/kg MS), sin suplementación, resultó mínimo con ensilado de hierba ($10,3 \pm 3,50$) y máximo con hierba de otoño ($55,7 \pm 6,41$; $p < 0,01$). Para primavera y verano, los respectivos valores fueron $31,3 \pm 3,75$ y $30,2 \pm 5,42$, que no difirieron significativamente de ambos extremos. Con suplementación, los valores promediados por categorías de forraje fueron $44,3 \pm 3,95$; $35,2 \pm 1,56$ y $23,8 \pm 2,83$ para B1, B2 y B, respectivamente. Los tres difieren entre sí a $p \leq 0,10$.

Discusión

La discusión de los resultados obtenidos en este trabajo se realizó teniendo en cuenta que se han obtenido con agrupación de partos a la salida del invierno.

Peso vivo, condición corporal y producción y composición química de la leche

Debido a la agrupación de partos, aunque los valores de las variables expresadas por kg de materia seca se puedan deducir, los resultados de las variables expresadas por día, están influenciados de forma directa por la semana de lactación (Wood, 1976) y de forma indirecta por la ingestión de materia seca que, de acuerdo con Vadiveloo y Holmes (1979) y Hulme et al. (1986), está a su vez afectada por la semana de lactación.

De acuerdo con la aplicación de los sistemas de alimentación referenciados, durante la fase temprana de lactación (primavera), la pérdida de peso es excesiva y la condición corporal demasiado baja, estando la evolución de la producción de leche y de sus componentes, bien adaptadas al modelo clásico de Wood (1976).

En todo lo referente a peso vivo, condición corporal, producción y composición de la leche

y recuperación en leche de la energía y el nitrógeno ingeridos, es importante diferenciar con claridad los efectos nutricionales de los que son imputables a la semana de lactación.

Balance en energía según semanas de lactación

Las pérdidas energéticas bajo forma de gases y orina obtenidas en este trabajo se ajustaron bien a la información existente (Chamberlain y Wilkinson, 1996a; NRC, 2001; Nozière et al., 2018). En lo que concierne al sistema más novedoso Systali (Sauvant et al., 2018a), hubo una razonable concordancia entre las previsiones derivadas de su aplicación y los resultados obtenidos. Se apreció claramente la compensación de mayores pérdidas energéticas fecales mediante menores pérdidas por gases y orina. Nuestros resultados no mostraron influencia significativa de la ingestión total de materia seca sobre las interacciones digestivas, hecho que se justifica por la menor variación de dicho parámetro en los resultados y por la correlación interna que mantuvo con la proporción de concentrado en la ración.

A lo largo de la primavera (semana 10 de lactación, como promedio), la ingestión de energía metabolizable sin suplementación pudo considerarse constante, al igual que el nivel de alimentación. Pero, a pesar de ello, la recuperación de energía bruta ingerida en leche siguió una evolución decreciente, la pérdida de peso resultó excesiva y la condición corporal muy baja, lo que indica una situación de subalimentación energética (Fa-verdin et al., 2018).

Las escalas de suplementación E2, E3 y E4 tenían un máximo de 5 kg concentrado/vaca-día (4,5 kg MS/vaca-día) (de la Roza-Delgado et al., 2021). Por tanto, fueron insuficientes para mantener $L = 3$ durante la fase creciente de lactación en primavera. De acuerdo con los datos presentados en la Tabla 3, se hubiesen necesitado 6,5 kg vaca/día del concentrado B2 o 7 kg vaca/día del B.

La escala de suplementación E1 contemplaba una dosis máxima de 9,5 kg concentrado/vaca día (8,5 kg MS/vaca-día) (de la Roza-Delgado et al., 2021). Es superior a las necesidades antes calculadas para alcanzar $L = 3$. Sin embargo, tampoco evitó las excesivas pérdidas de peso, de condición corporal y de recuperación de EBi en leche. Debe imputarse a no haber respetado las recomendaciones para vacas en periodo de transición.

Al iniciarse el verano, la recuperación de EBi en leche disminuye de forma mucho más acusada aún. Esto no se justifica por el avance de la lactación, sino por una menor EMI durante la época estival (Tabla 2). De acuerdo con la misma, para mantener la EMI, en junio se precisarían $(158 + 160 + 154 + 161)/4 - 134 = 22$ MJ/día adicionales. Habría que elevar las suplementaciones en 1,7 kg MS/día para los concentrados B1 y B2 y en 1,8 kg MS/día para el B, según la Tabla 5. En agosto, se precisarían 43 MJ/día adicionales, que requerirían incrementos de 3,3 kg MS/día para el concentrado B1, 3,4 kg MS/día para el B2 o 3,5 kg MS/día para el B.

Durante el otoño, tiene lugar una recuperación del contenido en EM1x de la hierba. Pero, la lactación está ya muy avanzada (semana 37-38), lo que se tradujo en un descenso de la capacidad de ingestión, por lo cual se incrementó muy poco la EMI. Las suplementaciones con concentrados B1, B2 y B supusieron unos incrementos respectivos de 17,1 MJ/día, 9,4 MJ/día y 7,1 MJ/día, frente a unas necesidades de gestación del orden de 30 MJ/día. Unido esto a la necesidad adicional de recuperar reservas corporales, hace imposible esperar ninguna respuesta en producción de leche.

Balance en nitrógeno a lo largo del año

Sin suplementación, el repentino incremento de las pérdidas urinarias con hierba de noviembre, coincidente con el valor máximo estimado de BPR, hecho que sugiere un exceso de proteína bruta en dicha época.

La ingestión de nitrógeno resultó mínima con hierba de agosto y también con ensilados de hierba (Tabla 6). Sin embargo, el mínimo de pérdidas urinarias de nitrógeno sólo tuvo lugar con la hierba de agosto. Estos resultados concuerdan con la complejidad de la alimentación nitrogenada y sugieren la necesidad de trabajos adicionales complementarios sobre degradabilidad ruminal y síntesis de proteína microbiana.

La suplementación con concentrado B1 se mostró muy eficiente ante la utilización del nitrógeno ingerido, aunque más que por su alto contenido en proteína, induce a pensar que la eficiencia se debe a la baja velocidad de degradación en el rumen de la harina de pescado, lo que conllevaría menores pérdidas de amoníaco ruminal. El concentrado B2 se comportó de manera similar al B1, aunque tiene un menor contenido en proteína ($19,4 \pm 0,26$ % MS vs. $23,1 \pm 0,97$ % MS). Redujo la proporción de pérdidas urinarias, además de incrementar la recuperación de nitrógeno ingerido en leche. El concentrado B, incrementó recuperación en leche sin afectar a la proporción de pérdidas urinarias. Pero, por ser el de menor contenido proteico ($14,9 \pm 0,25$ % MS), fue el que generó menos excreción de nitrógeno al medio ambiente.

Para algunos ensilados, e incluso algunos forrajes verdes de mayo, sin suplementación, el contenido en PB de la ración no alcanzó el 14 % MS, por lo que el RPB resulta negativo, señalando insuficiente aporte proteico. No obstante, se necesitaría completar esta información con ensayos adicionales relativos a la utilización del nitrógeno ingerido.

La prohibición vigente del uso de harina de pescado en nutrición de rumiantes parece limitar la aplicación práctica de los resultados obtenidos, pero actualmente es posible encontrar en el mercado alimentos de baja degradabilidad ruminal (Calsamiglia et al., 2005). Generalmente se han observado respuestas favorables de los rendimientos productivos a

la administración de proteínas protegidas (Husseïn y Jordan, 1991) y ya resulta conocido el efecto del procesado de la soja sobre su ritmo de degradación en el rumen (Stern et al., 1985).

Contenido energético de los alimentos

El contenido energético de los forrajes evolucionó de forma similar a la digestibilidad (de la Roza-Delgado et al., 2021), resultando concordante con el hecho de que las mayores pérdidas de energía tienen lugar por las heces, según se constata en todos los textos clásicos sobre nutrición animal. Las diferencias observadas entre la valoración energética según energía metabolizable o energía neta de lactación, se justifican por el efecto del distinto nivel de alimentación empleado en cada sistema: 1 según el AFRC (Chamberlain y Wilkinson, 1996a); variable según el INRA (Sauvant et al., 2018a) y 3 (en ocasiones 4) según el NRC (2001).

Comparando con las tablas de composición química y valor nutritivo de forrajes de otras áreas del arco atlántico, para la hierba de marzo a junio se observa mucha similitud con la "prairie permanente plaine" de Normandía (Baumont et al., 2018), en estado vegetativo o para pastoreo (codes INRA FV0010 y FV0020). También la hierba de otoño resulta similar a los rebrotes de tercer ciclo de dicha pradera de Normandía (codes INRA FV0130 y FV0140). La hierba de verano contiene menos UFL que los rebrotes de segundo ciclo (codes INRA FV0070 a FV0120). Observando los datos británicos (INFIC Class 20), nuestros valores de EM1x quedan dentro del intervalo 7,5-11,7 que figura en sus tablas (Chamberlain y Wilkinson, 1996b). Adicionalmente, el valor D obtenido, tanto para forraje en exclusividad, como para las dietas de forraje más concentrado, es totalmente coincidente con MAFF (1984). Contrastando con las tablas del NRC (Clark, 2001), la hierba de primavera concuerda bien con "Pasture, Cool Season" (International Feed No 2-02-260).

Respecto al contenido energético de los concentrados, los valores obtenidos por diferencia concuerdan con los previsibles a partir de los bancos de datos españoles (De Blas et al., 2019).

Las diferencias en energía neta de lactación según el sistema Systali del INRA (Nozière et al., 2018) y NRC (2001), observadas para el concentrado B1, concuerdan con el hecho de que NRC (2001) no considera interacciones digestivas. El concentrado B1 es el de mayor contenido en PB y, por tanto, el de mayor efecto sobre el balance proteico ruminal (RPB), que afecta a las mencionadas interacciones digestivas.

Conclusiones

El forraje verde de pradera de *Lolium perenne* y *Trifolium repens* de la costa centro-oriental de Asturias (zonas húmedas del Norte de España), durante primavera y otoño tardío, presentó un contenido energético elevado. Aún así, en vacas frisonas, la suplementación con concentrado no sólo incrementó la ingestión de energía, sino que también mejoró el posterior balance energético. Este resultó acorde con la bibliografía existente y con valores próximos a los promedios generales. Para un concentrado con 12,5 MJ de energía metabolizable/kg MS, la suplementación recomendable resultó de 6,5 kg de MS/vaca-día.

Durante verano y otoño temprano, el contenido energético del forraje verde resultó mucho más bajo, lo que sugiere elevar progresivamente la dosis anterior hasta 9 kg de MS/vaca-día.

A pesar del elevado contenido en proteína del forraje verde, se observó respuesta positiva ante el aporte de proteína con el concentrado, a partir de niveles superiores al 15 % sobre materia seca e, incluso pudo reducirse la excreción del nitrógeno al medio ambiente.

Los ensilados presentaron un contenido energético similar al de la hierba de verano y, en ocasiones, balance proteico en el rumen negativo. No resultan recomendables dosis concretas de concentrado, sino efectuar un racionamiento según resultados de análisis del ensilado. Esta recomendación final debe hacerse extensiva a los periodos de preparto y postparto.

No obstante, se necesita completar la información obtenida con determinaciones de metabolitos y degradabilidades ruminales que permitan una mejor evaluación de la alimentación nitrogenada.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA) la financiación de los proyectos que permitieron la realización de gran parte de los trabajos experimentales recogidos en la presente publicación. Además, agradecen a la Universidad de Córdoba el interés demostrado en los datos obtenidos, que fueron incluidos en su Servicio de Información sobre Alimentos (SIA). A Alfonso Carballal Samalea, la labor informática que llevó a cabo y, a José Bodelo Parceró, a María Antonia Cueto Ardevín, y, a todo el personal de campo de la Unidad de Producción de Leche y Nave Metabólica y al del Laboratorio de Nutrición Animal, la ejecución de las labores agroganaderas, de funcionamiento de la nave metabólica y de análisis de muestras.

Referencias bibliográficas

Agricultural Development and Advisory Service (ADAS) (1989). Technical Bulletin 89/7. Methane energy loss from feedstuffs: A comparison between measured and predicted values. Her Majesty's Stationery Office. London. Great Britain. 4 pp.

Agricultural Research Council (ARC) (1980). Nutrient requirements of ruminant livestock. Technical review by an Agricultural Research Council working party. Ed. Commonwealth Agricultural Bureaux. Farnham Royal, Slough. Great Britain. 351 pp.

Baumont R, Tran G, Chapoutot P, Maxin G, Sauviant D, Heuzé V, Lemosquet S, Lamadon A, (2018). Chapitre 25: Tables INRA de la valeur des aliments utilisés en France. En: INRA Alimentation des ruminants. (Ed Quae, Versailles Cedex.), pp. 521-616. France.

De Blas C, García-Rebollar P, Gorrachategui M, Mateos GG (2019). Tablas FEDNA de composición y valor nutritivo de alimentos para la fabricación de alimentos compuestos (4ª edición). Ed. Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal, Madrid (España). 604 pp.

Blaxter KL, Clapperton JL (1965). Prediction of the amount of methane produced by ruminants. British Journal of Nutrition 19: 511-522. <https://doi.org/10.1079/BJN19650046>.

Blaxter KL (1969). The efficiency of energy transformations in ruminants. En: Energy Metabolism of Farm Animals. Proceedings of the 4th Symposium held at Warsaw, (1967) (Ed. Blaxter KL, Kielanowsky J, Thorbek GA), pp. 21-28. Oriel Press Ltd. New Castle upon Tyne. Great Britain.

Calsamiglia S, Castillejos L, Busquets M (2005). Estrategias nutricionales para modificar la fermentación ruminal en vacuno lechero. En: XXI Curso de Especialización FEDNA Avances en Nutrición y Alimentación Animal (Ed. Rebollar PG, de Blas C, Mateos GG), pp: 161-185.

Chamberlain AT, Wilkinson JM (1996a). Feeding the dairy cow. Ed. Chalcombe Publications. Lincoln. Great Britain. 318 pp.

Chamberlain AT, Wilkinson JM (1996b). Tables of Requirements and Feed Analyses. En: Feeding the Dairy Cow (Ed. Chalcombe Publications), pp. 203-223. Lincoln. Great Britain.

Clark J (2001). Nutrient composition of feeds. En: Nutrient Requirements of Dairy Cattle. Seventh Revised Edition (Ed. Academy Press), pp. 281-314. Washington. USA.

Faverdin P, Delagarde R, Lemosquet S, Boudon A, Delaby L (2018). Chapitre 17. Vaches laitières.

- En: INRA (2018). Alimentation des ruminants (Ed Quae, Versailles Cedex), pp. 274-314. France.
- García-Paloma JA (1990). El método de la condición corporal en vacuno lechero: propuesta de una metodología unificadora. Investigación agraria. Producción y Sanidad Animal 5: 121-130.
- Hulme DJ, Kellaway RC, Booth PJ, Bennett L (1986). The CAMDAIRY model for formulating and analysing dairy cow rations. Agricultural Systems 22: 81-108. [http://doi.org/10.1016/0308-521X\(86\)90054-5](http://doi.org/10.1016/0308-521X(86)90054-5).
- Hussein HS, Jordan RM (1991). Fish meal as a protein supplement in ruminant diets: a review. Journal of Animal Science 69: 2147-2156. <https://doi.org/10.2527/1991.6952147x>.
- Mair R, Wilcox P (2018). Robust statistical methods using WRS2. Disponible en: <https://cran.r-project.org/web/packages/WRS2/vignettes/WRS2.pdf> (Consultado: 11 de febrero de 2021).
- MAFF (Ministry of Agriculture, Fisheries and Food) (1984). Energy allowances and feeding systems for ruminants. Reference Book 433. Ed. Her Majesty's Stationery Office. London. Great Britain. 71 pp.
- Martínez-Fernández A, de la Roza-Delgado B, Modroño MS, Argamentería A (2008). Producción y contenido en principios nutritivos de prados, praderas y de la rotación raigrás italiano-maíz en la rasa marítima centro-oriental de Asturias. Pastos 28: 187-224.
- Mulvany PM (1981). Dairy cow condition scoring. BSAP Occasional Publication 4: 349-353. <https://doi.org/10.1017/S0263967X00000690>.
- National Research Council (NRC) (2001). Nutrient Requirements of Dairy Cattle 7th. rev. edition. Washington, DC, National Academy Press. USA. 405 pp.
- Nozière P, Sauvant D, Delaby L (2018). Alimentation des ruminants. INRA, 2018. Ed. Quae, Versailles, France. 640 pp. <https://doi.org/10.3920/978-90-8686-292-4>.
- R Core Team (2013). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponible en: <http://www.R-project.org/> (Consultado: 10 de octubre de 2020).
- de la Roza-Delgado B, Martínez-Fernández A, Modroño MS, Argamentería A (en prensa). Pradera de *Lolium perenne* y *Trifolium repens* en Asturias. I. Evolución de la composición química y de la digestibilidad in vivo sobre vacas frisonas a lo largo del año. ITEA-Información Técnica Económica Agraria Vol. xx: 1-21. <https://doi.org/10.12706/itea.2021.013>.
- Sauvant D, Chapoutot D, Ortigues-Marty I, Nozière P (2018a). Chapitre 3: Digestion et apports en nutriments énergétiques. En: Alimentation des ruminants. INRA, 2018. (Ed. Nozière P, Sauvant D, Delaby L), pp. 47-64. Quae, Versailles Cedex. France.
- Sauvant D, Lemosquet S, Chapoutot P, Nozière P (2018b). Chapitre 4: Digestion et apports en nutriments protéiques. En: Alimentation des ruminants. INRA, (2018) (Ed. Nozière P, Sauvant D, Delaby L), pp. 65-84. Ed Quae, Versailles Cedex. France.
- Sauvant D, Nozière P, Ortigues-Marty I (2018c). Chapitre 6: Dépenses, efficacité métabolique et besoins en énergie. En: Alimentation des ruminants. INRA, 2018. (Ed. Nozière P, Sauvant D, Delaby L), pp. 99-132. Ed Quae, Versailles Cedex. France. ISBN: 978-2-7592-2867-6.
- Stern MD, Santos KA, Satter LD (1985). Protein degradation in rumen and amino acid absorption in small intestine of lactating dairy cattle fed heat-treated whole soybeans. Journal of Dairy Science 68: 45-56. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(85\)80796-7](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(85)80796-7).
- Vadiveloo J, Holmes W (1979). The prediction of the voluntary feed intake of dairy cows. Journal of Agricultural Science 93: 553-562. <https://doi.org/10.1017/S0021859600038958>.
- Wood PDP (1976). Algebraic models of the lactation curves for milk, fat and protein production, with estimates of seasonal variation. Animal Science 22: 35-40. <https://doi.org/10.1017/S000335610003539X>.
- (Aceptado para publicación el 17 de diciembre de 2021)

Huella hídrica de las explotaciones lecheras según tipología de alimentación

Gregorio Salcedo^{1,*}, Athanasia Varsaki² y Daniel Salcedo-Rodríguez³

¹ CIFP, "La Granja", Barrio Estación 25B. 39892 Heras, Cantabria, España

² Centro de Investigación y Formación Agrarias (CIFA), C/ Héroes 2 de Mayo 27. 39600 Muriedas, Cantabria, España

³ INDRA, Dpto. Sistemas de información, Avda. de Bruselas 35, 28108 Alcobendas, Madrid, España

Resumen

Cincuenta y tres explotaciones lecheras de Galicia, Asturias, Cantabria y Navarra se agruparon en seis tipologías de alimentación: a) Ecológico (Eco); b) Pastoreo convencional (PasCon); c) Pesebre-Pastoreo (PePa); d) Ensilado de hierba (EHba); e) Ensilado de maíz (EMz) y f) Ensilado de hierba y de maíz (EHba-EMz) para estimar la huella hídrica de los forrajes producidos en la explotación (HH_f) y la de un litro de leche corregido por grasa (HH_{ECM}). La HH_f fue diferente en el conjunto de forrajes, con medias de 895 l de agua por kg de materia seca y mayor en la hierba de pradera (719 l), e inferior el maíz con 301 l y 267 l el raigrás italiano. El reparto de la HH_f fue del 85,6 % como agua verde; 1,2 % agua azul y 13 % agua gris. La menor agua gris se registró en la pradera (9,3 %) y la máxima del 24,2 % en raigrás italiano. Entre tipologías, el agua azul fue mayor en EHba-EMz (20,4 %) y del 19,3 % en EMz. La HH_{ECM} en el conjunto de explotaciones fue de 1080 l, con máximos en Eco (1304 l) y mínimos de 716 l en EMz. La distribución de la HH_{ECM} fue de 948 l, 40 l y 91 l de agua verde, azul y gris, respectivamente. El mayor porcentaje de agua verde se localizó en Eco (89,9 %) y el menor, del 83,5 %, en EHba-EMz y EMz. El agua azul superior en EHba-EMz y la menor en EHba. La HH_{ECM} de las explotaciones con cultivos forrajeros anuales se redujo un 23,2 % equivalente a 258 l. La compra de alimentos representó el 62,7 % de la huella de un litro de leche. Las variables relacionadas con el prado y el consumo de concentrado tienden a incrementar la huella hídrica; mientras, la producción y la dedicación de la superficie a cultivos forrajeros tiende a reducirla.

Palabras clave: Tipología alimentación, forraje, leche, agua.

Water footprint of dairy farms according to typology of feeding

Abstract

Fifty-three dairy farms situated in Galicia, Asturias, Cantabria and Navarra were previously selected and classified according to the INIA-RTA 2012-00065-C05 project in six types of feeding: a) Ecological (Eco); b) Conventional grazing (PasCon); c) Harvest-Grazing (PePa); d) Grass silage (EHba); e) Corn silage (EMz) and f) Grass and corn silage (EHba-EMz). Values from these farms were used to estimate the water footprint of the forages produced on the farm (HH_f) and the water footprint of a litre of milk corrected for fat (HH_{ECM}). The HH_f was statistically different between the various forages, with averages of 895 l

* Autor para correspondencia: gregoriosal57@gmail.com

of water per kg of dry matter. HH_f showed the higher value in prairie grass (719 l) and the lower value lower in corn and Italian ryegrass, with 301 l and 267 l respectively. The HH_f had 85.6 % as green, 1.2 % blue and 13 % gray water. The lowest gray water value was registered in the meadow (9.3 %) and the maximum (24.2 %) in Italian ryegrass. Among typologies, blue water value was higher in EHba-EMz and EMz, with 20.4 % and 19.3 %, respectively. The HH_{ECM} was 1080 l, with maximum in Eco (1304 l) and minimum in EMz (716 l). The HH_{ECM} had 948 l, 40 l and 91 l of green, blue and gray water, respectively. The highest percentage of green water was located in Eco (89.9 %) and the lowest in EHba-EMz and EMz (83.5 %). The upper blue water value was found in EHba-EMz and the lowest in EHba. The HH_{ECM} of the farms with annual forage crops decreased by 23.2 % equivalent to 258 l. Food purchases represented 62.7 % of the footprint of a litre of milk. The variables related to the pasture and the consumption of concentrate tends to increase the water footprint; meanwhile, production and dedication of the surface to forage crops tends to reduce it.

Keywords: Typology feeding, forage, milk, water.

Introducción

El agua se considera como el nutriente más importante en las vacas lecheras (National Research Council, 2001; Beede, 2005). En general más de la mitad del peso vivo de aquellas está formada por agua, encontrándose el 50 % en los fluidos intracelulares, el 16 % es fluido intersticial y el 5 % se mantiene en los fluidos del plasma (Houpt, 1970). El resto del agua, que puede variar mucho en volumen, se mantiene en el tracto digestivo. Tres son las fuentes de agua para las vacas lecheras, i) la ingesta voluntaria, ii) la contenida en los alimentos y la metabólica derivada del alimento y iii) las reservas corporales a través de los procesos metabólicos (Beede, 2005).

El mayor consumo de agua procede de la producción alimentos (Mekonnen y Hoekstra, 2012). No obstante, la huella hídrica de cualquier producto animal es mayor que la huella hídrica de los productos agrícolas con valor nutricional equivalente (Mekonnen y Hoekstra, 2012). La reducción de la presión sobre los recursos hídricos de los productos alimenticios presenta un gran desafío a la humanidad, y el conocimiento del consumo de agua es relevante para que los gobiernos nacionales planifiquen y evalúen su política ambiental y seguridad alimentaria (Hoekstra y Mekonnen, 2012).

La demanda creciente de alimentos de origen animal, el aumento de la población (Wirsenius et al., 2010) y la eficiencia en la producción de alimentos sostenibles (Johnston et al., 2014) son aspectos relevantes en los sistemas lecheros. En este sentido, cuantificar la huella hídrica de la leche e identificar los puntos críticos de consumo de agua a lo largo de la cadena alimentaria es un primer paso para reducir las presiones sobre los sistemas de agua dulce que resultan de la producción ganadera y, al mismo tiempo, proporcionar información al usuario final (UNEP, 2007).

El clima de la cornisa cantábrica es similar al de Europa Occidental, de tipo Cfb según la clasificación de Köppen, que corresponde al llamado clima oceánico o atlántico, templado y húmedo, característico de las regiones más occidentales de las grandes masas continentales como Europa Occidental. Este clima definido como templado mesotermal, sin estación seca y con veranos suaves (Gutiérrez et al., 2010), le convierte en favorable para la producción de pastos y forrajes (Piñeiro y Díaz, 2005). Sin embargo, las previsiones para el período 2000-2100 de Gutiérrez et al. (2010) indican reducciones significativas de lluvia e incrementos e temperatura.

El consumo de agua desde el origen hasta la puerta de la granja (huella hídrica) fue defi-

nida por la Water Footprint Network (WFN) como la suma volumétrica de agua a lo largo de toda la cadena de suministro de un producto (Hoekstra *et al.*, 2011), formada por verde, azul y gris. El componente verde de la huella hídrica se refiere al agua de lluvia consumida por el cultivo. El agua azul hace referencia a la superficial y subterránea que se consume (incluida el agua la evaporada y el agua que se incorporó al producto) a la salida de la granja. Al volumen de agua dulce necesario para reducir los contaminantes a niveles ambientales se le denomina gris.

El objetivo de este trabajo fue determinar los principales agentes que contribuyen al consumo de agua dulce de un litro de leche corregido por grasa (ECM) a la salida de la granja de 53 explotaciones lecheras procedentes de 6 tipologías de alimentación situadas en la cornisa cantábrica.

Material y métodos

Explotaciones

Las comunidades autónomas implicadas, el número de explotaciones y las tipologías de alimentación analizadas vienen indicadas en la Tabla 1. Las entrevistas se realizaron *in situ* durante el año 2018, éstas incluían cuestiones relacionadas con: i) localización, ii) base territorial y distribución forrajera, iii) fertilización, iv) composición y manejo del rebaño, v) alimentación de los animales, vi) producción y composición química de la leche y vii) consumo de energía. El cuestionario formulado a los ganaderos fue indicado por Salcedo y Salcedo (2021). Las temperaturas, mínima, máxima y media (°C), la precipitación anual (l m⁻²) y la altitud de las explotaciones dentro de cada comunidad vienen representadas en la Figura 1.

Tabla 1. Tipologías y número de explotaciones.
Table 1. Typologies and number of farms.

	Galicia	Asturias	Cantabria	Navarra	Total
Ecológicas (Eco)	2	3	3	1	9
Pastoreo-Convencional (PasCon)	4	–	2	3	9
Pesebre-Pastoreo (PePa)	–	3	–	–	3
Ensilado hierba (EHba)	3	3	3	–	9
Ensilado maíz (EMz)	5	3	3	–	11
Ensilado hierba-maíz (EHba-EMz)	5	3	–	4	12
Total	19	15	11	8	53

Cuantificación de la huella hídrica

Unidad funcional

Los límites del sistema vienen señalados en la Figura 2. La unidad funcional utilizada en este trabajo fue la de un litro de leche corre-

gido por grasa (Sjaunja *et al.*, 1990) a la salida de la explotación, que representa la suma del agua utilizada en la producción de alimentos propios (agua_p), alimentos comprados (agua_c), bebida (agua_b) y de limpieza (agua_l) conforme a Mekonnen y Hoekstra (2012).

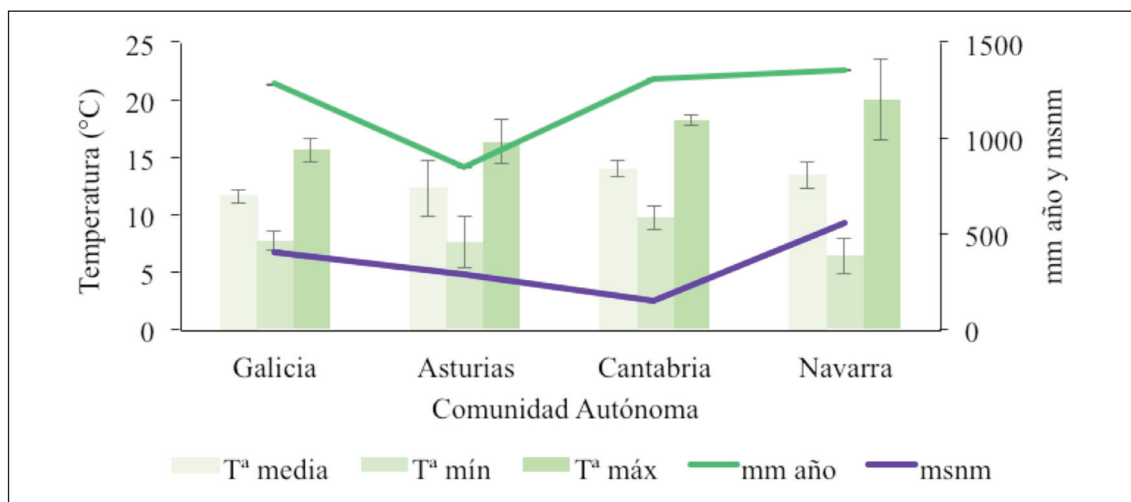


Figura 1. Temperaturas medias, mínimas y máximas, precipitaciones y altitud entre comunidades autónomas.

Figure 1. Average, minimum and maximum temperatures, rainfall and altitude between autonomous communities.

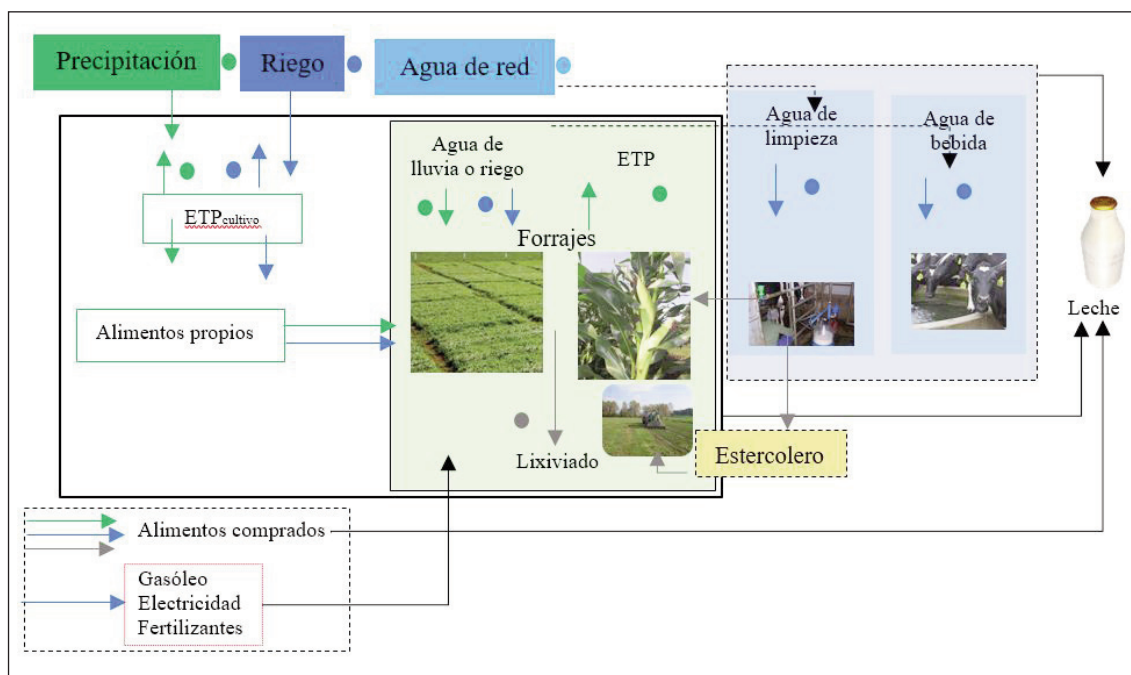


Figura 2. Límites del sistema y fuentes de consumo de agua para el método de huella hídrica de las granjas de la cornisa cántabrica. Las líneas coloreadas de verde, azul y gris, corresponden al tipo de agua (Hoekstra et al., 2011).

Figure 2. Limits of the system and sources of water consumption for the water footprint method of the farms of the Cantabrian coast. The lines colored green, blue and gray correspond to the type of water (Hoekstra et al., 2011).

La asignación del consumo de agua de los procesos multifunción puede evaluarse de varias formas (Guinée et al., 2004; Gerber et al., 2010; Thoma et al., 2013) y para esta investigación se utilizó la asignación biofísica. La ecuación del factor de asignación biofísica se expresa como: $AB = 1 - 6,04 \times (M_{\text{carne}}/M_{\text{leche}})$ siendo AB la asignación biofísica; M_{carne} es la suma de kilogramos de peso vivo por hectárea de las vacas lecheras y los terneros sacrificados después de los 6 días de edad; M_{leche} es la suma de la leche vendida por hectárea, corregida por grasa (ECM); 6,04 representa el uso de energía en el pienso y los requisitos fisiológicos de las vacas lecheras para producir leche y carne (IDF, 2010).

El agua relacionada con la producción de gasóleo, electricidad y fertilizantes fue la señalada por Wernet et al. (2016); mientras el agua utilizada por la maquinaria, compra de animales, pesticidas y servicios veterinarios no fue incluida debido a la insignificante contribución en la HH de la producción de leche (De Boer et al., 2013).

En este trabajo, el número de explotaciones que riegan son dos y situadas en Navarra pertenecientes a la tipología EHba-EMz.

Agua requerida por los cultivos

El agua verde y azul de los cultivos (agua_{verde/azul} en $\text{m}^3 \text{ t}^{-1}$ materia seca de forraje) fue calculada a partir de los componentes del agua utilizada por los cultivos (AUC) en $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$ dividido por la producción de cultivo (Y) en t MS ha^{-1} según la ecuación:

$$\text{agua}_{\text{verde/azul}} = \text{AUC}_{\text{azul/verde}} / Y$$

donde:

agua verde = ET_0 (Penman-Monteith) – Precipitaciones

agua azul = Agua azul evaporada + Agua azul de riego + Flujo de retorno

agua gris = $[(\text{kg ha}^{-1} \text{ N aplicado} \times \text{Factor de dilución, } 6,7 \%) / (\text{Concentración máxima}$

permitida, $100 \text{ mg NO}_3^- \text{ L}^{-1}$; EPA, (2005)] / Rendimiento en kg MS ha^{-1}

El factor de dilución adoptado fue el resultado de relacionar el N total lixiviado estimado por el DairyCant (Salcedo, 2020) respecto al aplicado. El factor de dilución fue ligeramente inferior al 10 % señalado por Chapagain et al. (2006), debido a la disponibilidad de esta información en este trabajo. El N orgánico aplicado fue estimado por el DairyCant (Salcedo, 2015) y el inorgánico, el reflejado en las encuestas (Tabla 3).

El modelo CROPWAT® (Allen et al., 1998; FAO, 2009) fue usado a computar la evaporación del cultivo ET_o (mm día^{-1}) de referencia (Allen et al., 1998). La evapotranspiración potencial (ET_p) sobre el período de crecimiento de los cultivos asumiendo la máxima disponibilidad de agua en el suelo (Allen et al., 1998) fue derivado del CROPWAT®. Los datos de temperaturas máximas y mínimas, humedad, velocidad del viento, insolación horaria y precipitaciones fueron proporcionadas por cada comunidad autónoma y un patrón específico de cultivo de acuerdo a cada zona.

La producción de materia seca de cada cultivo se estimó con el modelo DairyCant (Salcedo, 2020). Las variables incluidas en la ecuación del agua gris fueron los kilogramos de N aplicados por hectárea (orgánico e inorgánico), este último estimado por el DairyCant (Salcedo, 2015), quien asigna a cada cultivo la parte proporcional de la producción de purín a la superficie de cada cultivo (Salcedo, 2020); el factor de dilución del nitrógeno aplicado para calcular el volumen de agua fue el recomendado por EPA (2005) para nitratos en agua potable de 10 mg l^{-1} (medido como nitrógeno) y el rendimiento del cultivo en t MS ha^{-1} se obtuvo de las ecuaciones señaladas por Salcedo (2020).

Los coeficientes de desarrollo de los cultivos (kc) usados para el maíz, hierba de pradera y raigrás italiano vienen señalados en la Tabla 2.

Tabla 2. Etapas de desarrollo de los cultivos.
 Table 2. Stages of crop development.

Etapas de desarrollo		Raigrás italiano	Cereales de invierno	Hierba, pastoreo y conservada	Ensilado de maíz
Kc	Inicio	0,95	0,3	0,4	0,7
	Media	1,05	1,15	0,85	1,12
	Final	1	0,25	0,85	0,6
Etapa en días	Inicio	40	40	90	30
	Desarrollo	60	60	155	40
	Media	60	60	60	50
	Final	40	40	60	30
Profundidad Raíces	1	0,1	0,1	0,1	0,2
	2	0,4	0,4	0,4	0,8
Agotamiento Crítico	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Respuesta rendimiento	1	1,2	1,2	1,2	1,2
	2	1,25	1,25	1,25	1,25
	3	0,8	0,8	0,8	0,8
	4	0,9	0,9	0,9	0,9
	5	1	1	1	1
Altura cultivo		0,6	1	0,6	2

Kc: coeficiente de cultivo.

Las fechas de siembra para maíz y raigrás fueron el 5 de mayo y 1 de octubre, respectivamente; y el 25 septiembre y 27 de abril para el raigrás a lo largo de 2 o 3 aprovechamientos. El prado se le asume un período de aprovechamiento de 365 días. Dos explotaciones de Navarra utilizan el riego para el cultivo de maíz. El tipo de suelo de cada explotación fue proporcionado y utilizado como input del modelo CROPWAT® para calcular el agua usada por el cultivo.

Agua de los alimentos comprados

Los volúmenes de agua verde, azul y gris por kilogramo de materia seca de los forrajes com-

prados, principalmente henos de avena, alfalfa, paja, hierba y veza, fueron los indicados por Mekonnen y Hoekstra (2010). De igual forma, los del concentrado se estimaron a partir del porcentaje de cada alimento dentro de su tipología, con volúmenes de 1510 l kg⁻¹ MS en Eco, PasCon y PePa; 1405 l kg⁻¹ en EHba; 1116 l kg⁻¹ en EMz y 1314 l kg⁻¹ en EHba-EMz. La composición elemental del pienso de cada tipología fue muy variable, con máximos del 66,8 % los cereales (maíz, cebada y trigo) en EHba a mínimos de 30,4 % en EMz; los proteicos (soja, colza, girasol, guisantes) con máximos de 42,7 % en EMz a mínimos de 24 % en EHba; los subproductos (melazas de caña, pulpa remolacha, lino, glu-

ten feed, DDG maíz, cascarilla de soja y salvado de trigo) con máximos de 29,2 % en EHba-EMz a mínimos de 9,2 % en EHba y el grupo de aditivos (aceite de palma, grasa) con máximos de 7,2 % en EHba-EMz y mínimos de 0 % en EHba.

Agua de bebida y limpieza

La ecuación de Thomson *et al.* (2007) [litros cabeza y día = (2,15 kg materia seca ingerida) + (0,73 l leche cabeza y día) + 12,3] se usó para estimar el agua de bebida en las vacas de leche; mientras las vacas secas, novillas y terneros se asumieron volúmenes de 41 l, 25 l y 9 l cabeza y día respectivamente (Ward y McKague, 2015). El agua de limpieza se calculó por diferencia entre el gasto en euros m⁻³ de agua al año menos el agua de bebida (Thomson *et al.*, 2007), dividido entre el total de leche producida anualmente.

Análisis estadístico

Los resultados fueron procesados mediante análisis de varianza utilizando el procedimiento GLM del programa SPSS (2006), considerando como efecto principal la tipología de alimentación de la explotación. Cuando el efecto principal resultó estadísticamente significativo, se utilizó la prueba de Duncan para la comparación de medias.

El análisis de regresión incluyó el diagnóstico de colinealidad de las variables independientes utilizando el factor inflado de la varianza (FIV), utilizándose 10 como valor de corte. Este estadístico es un indicador que mide la independencia de una variable respecto a las otras variables independientes de la ecuación de regresión, calculándose con la siguiente ecuación:

$$FIV = \frac{1}{1 - R_i^2}$$

donde, R_i^2 es el coeficiente de determinación múltiple entre la variable cuya multicolinea-

lidad se está calculando y el resto de las variables independientes.

El acuerdo entre las huellas hídricas por litro de leche ECM (HH_{ECM} , HH_{ECM}^V , HH_{ECM}^A y HH_{ECM}^G) observadas y simuladas a partir de datos de campo, fue evaluado utilizando cinco índices estadísticos. El primero el coeficiente de determinación. El segundo, el índice de concordancia “d”, es una medida normalizada del grado de error de la predicción del modelo y varía de 0 a 1, por lo tanto, un índice estadístico adimensional; un valor de 1 indica un agrupamiento perfecto entre los valores observados y simulados, mientras que 0 indica que no existe agrupamiento (Willmott, 1982). El tercero, el error cuadrático medio (RMSE) que es una medida de las diferencias entre observaciones y predicciones (Willmott, 1982). El cuarto, el error de sesgo medio (MBE) muestra las desviaciones sistemáticas (Willmott, 1982); un MBE negativo es indicador de subestimación del modelo y positivo, sobreestimación. El quinto, la eficiencia del modelo (EF) según Nash y Sutcliffe (1970), que varía de -1 a 1; una eficiencia de 1 indica la coincidencia perfecta de los valores simulados con los observados, mientras que los inferiores a cero indican que la media de las observaciones es un mejor predictor que el valor simulado.

Resultados y discusión

Caracterización de las explotaciones

En general, la superficie media en el conjunto de explotaciones fue de $46,2 \pm 30$ ha, de las cuales el $70,2 \pm 36$ % corresponden a pradera y el $29,8 \pm 36$ % de cultivos forrajeros (maíz y raigrás, principalmente) y diferentes entre tipologías (Tabla 3). El número de vacas lecheras fue de 80 ± 68 , con máximos de 149 ± 96 en EMz y mínimos de

Tabla 3. Características técnicas, climáticas y altitud de las explotaciones.

Table 3. Technical, climatic and altitude characteristics of the farms.

	Eco	Pas-Con	Pepa	EHba	EMz	EHba-EMz	et
Superficie, ha	48,3ab	37,9ab	16,6a	37,3ab	68,6b	45,8ab	4,1
Pradera, %	100b	98,8b	94,8b	92,3b	28,1a	42,1a	4,9
CFA, %	–	1,1a	5,2a	7,6a	71,8b	57,9b	4,9
N inorgánico, kg ha ⁻¹	–	76ab	1a	59ab	126b	115b	12
N orgánico, kg ha ⁻¹	80a	86a	267b	251b	420c	487c	29
Vacas lecheras, n°	45a	39a	25a	49a	149b	111b	9
Leche ECM, t ha ⁻¹	6,5a	8,3a	19,5bc	12,8ab	29,7b	30,4b	1,8
MS producida, t ha ⁻¹	5,9a	6,6a	4,9a	5,4a	10,1b	9,1b	0,38
MS ingerida t ha ⁻¹	7,9a	9,5a	21,8bc	14,1ab	26,4c	27,5c	1,6
MS propia, %	68,5c	61,7bc	63,3c	43,6a	50,2ab	50,1ab	1,9
MS comprada, %	31,4a	38,2ab	36,6a	56,3c	49,8bc	49,9bc	1,9
Humedad dieta, %	55,6	60,0	46,6	47,1	51,1	55,2	1,7
Altitud, msnm	246	417	452	434	225	379	34
Precipitación año, l m ²	1185ab	1468b	877a	1263ab	1064a	1061a	49
Tª media, °C	13,7c	12,9bc	11,1a	12,1abc	13,0bc	11,6ab	0,2
Tª máxima, °C	17,7	18,4	15,9	16,4	17,1	16,1	0,3
Tª mínima, °C	9,0b	7,4ab	6,2a	7,9ab	9,0b	6,8a	0,2

Eco, Ecológico; PasCon, Pastoreo convencional; PePa, Pesebre-pastoreo; EHba, Ensilado de hierba; EMz, Ensilado de maíz; EHba-EMz, Ensilado de hierba y de maíz; CFA: cultivos forrajeros anuales; MS: materia seca; ECM: leche corregida por grasa (Sjanja et al., 1990); et: error típico; a, b, c, d dentro de la misma fila difieren $P < 0,05$.

25 ± 11 en PePa. Los alimentos de producción propia representaron el 54,8 ± 13,5 % reduciéndose conforme aumenta la intensificación de la explotación (Tabla 3); mientras, la compra de forrajes y concentrados simbolizan el 17,8 ± 16,5 % y el 82,1 ± 16 %, respectivamente de los comprados. Las explotaciones más intensivas de este trabajo fueron consideradas las de mayor producción anual de leche, volumen de leche por hectárea y número total de vacas lecheras.

La altitud no fue diferente entre tipologías, pero sí entre comunidades autónomas (CC.AA.), mayor en Navarra ($P < 0,05$) con 559 ± 158 m. s.n.m. y la menor en Cantabria de 153 ± 129 m. La precipitación media anual fue menor en Asturias con 848 ± 83 l m⁻², sin diferencias en las otras y la menor en la tipología PePa (Tabla 3). La temperatura media fue menor en Galicia y Asturias (Figura 2) y entre tipologías la mayor se localizó en las explotaciones de la tipología Eco (Tabla 3). La altitud de las ex-

plotaciones entre tipologías presenta un mayor coeficiente de variación (72,8 %), seguido de las precipitaciones (30,2 %); mientras, la temperatura media, máxima y mínima lo hicieron con el 13,3 %, 13,5 % y 22,2 %, respectivamente.

Análisis de la huella hídrica

Alimentos

El volumen de agua en el conjunto de forrajes producidos en la explotación fue de 895 ± 364 l kg⁻¹ materia seca, con máximos de 1130 ± 449 l kg⁻¹ materia seca en EHba-EMz y mínimos de 710 ± 140 l kg⁻¹ materia seca en Eco (Tabla 4); dentro del rango de 413 l kg⁻¹ materia seca a 1045 l kg⁻¹ materia seca señalados en Irlanda por Murphy et al. (2017). La hierba de pradera registró el mayor volumen, equivalente a 734 ± 199 l kg⁻¹ materia seca ($P < 0,05$), sin diferencias entre el maíz y el raigrás italiano con 301 ± 157 l kg⁻¹ materia seca y 267 ± 142 l kg⁻¹ materia seca, respectivamente. La menor huella del maíz fue atribuida a la superior producción de biomasa por unidad de tiempo de cultivo ($56,8 \pm 10,6$ kg MS ha⁻¹ día⁻¹), coincidiendo con los meses de menos pluviometría. Mientras, el raigrás con 210 días de cultivo fue $27,2 \pm 3,1$ kg MS ha⁻¹ día⁻¹, en los meses de mayor precipitación.

El porcentaje de agua verde, azul y gris en el conjunto de forrajes propios fue del $85,6 \pm 12,4$ %, $1,2 \pm 6,3$ % y $13,1 \pm 8,9$ %, respectivamente. La hierba de pradera registró el mayor porcentaje de agua verde ($90,6 \pm 6,0$ %), inferior al 99 % señalado por Murphy et al. (2017) en Irlanda, y los menores, en maíz y raigrás del $74,1 \pm 16,1$ % y $75,7 \pm 12,6$ %, respectivamente. Solamente dos explotaciones de Navarra utilizan agua azul en maíz, representando el $55,6 \pm 1,1$ % de la huella hídrica, el $33 \pm 0,5$ % del agua total para el conjunto de forrajes, equivalente a $60,5 \pm 17,5$ l de agua azul por litro de leche corregidos por grasa (ECM).

El menor porcentaje de agua gris se registró en la hierba de pradera ($9,3 \pm 6$ %) y el máximo del $24,2 \pm 12,6$ % en raigrás italiano. En general el volumen de agua gris por kilogramo de materia seca fue similar entre cultivos, equivalentes a $62,7 \pm 38$ l; $65,2 \pm 55$ l y $62,6 \pm 53$ l el maíz, la hierba de pradera y el raigrás respectivamente. Las tipologías, EHba-EMz y EMz registraron el mayor porcentaje de agua gris ($20,4 \pm 6,8$ % y $19,3 \pm 8,6$ %, respectivamente), imputable al mayor aporte de fertilizantes nitrogenados de origen orgánico (486 ± 206 kg ha⁻¹ y 420 ± 147 kg ha⁻¹) e inorgánico (115 ± 88 kg ha⁻¹ y 126 ± 124 kg ha⁻¹, respectivamente).

Agua de bebida, limpieza y elementos de producción

El porcentaje de agua azul por litro de leche viene señalado en la Figura 3. Las causas que afectan al consumo de agua en el ganado lechero entre otros, son el peso vivo, la producción de leche, consumo de materia seca, porcentaje de materia seca del alimento, consumo de concentrados (Khelil-Arfa et al., 2012), contenido de sodio del agua (Meyer et al., 2004), temperatura (Cardot et al., 2008) y accesibilidad al agua (King y Stockdale, 1981). Muchas explotaciones disponen de pozos para el suministro de agua y casi todas acceden al agua a través de la red municipal. Tanto el agua de bebida como la de limpieza catalogadas aquí como agua azul fueron consideradas en base a la factura anual del agua en m³. La primera fue 50 ± 13 l UGM⁻¹ día⁻¹, con máximos de 67 ± 16 l UGM⁻¹ día⁻¹ en EMz y mínimos de 39 ± 8 l UGM⁻¹ día⁻¹ en PasCon, en cualquier caso, inferiores a 70 l UGM⁻¹ día⁻¹ señalados por el DairyNZ (2012) y la segunda de 41 ± 15 l UGM⁻¹ día⁻¹. El consumo de agua incrementó hasta 101 ± 30 l UGM⁻¹ día⁻¹ en el conjunto de explotaciones ($P < 0,05$), cuando se suma a la de bebida y limpieza la contenida en los alimentos (mezcla de agua verde, azul y gris), registrándose valores máximos de 138 ± 37 l UGM⁻¹ día⁻¹ en EMz y mínimos de 78 ± 17 l UGM⁻¹ día⁻¹ en Ecológico.

Tabla 4. Huella hídrica de la leche.
Table 4. Water footprint of milk.

	Eco	Pas-Con	Pepa	EHba	EMz	EHba-EMz	et
Alimentos propios							
HH conjunto forrajes, L kg ⁻¹ MS	710	841	883	853	873	1130	49
HH maíz, L kg ⁻¹ MS ^A	–	340	52	135	261	371	30
HH pradera, L kg ⁻¹ MS ^A	710ab	761b	846b	818b	487a	734ab	35
HH raigrás, L kg ⁻¹ MS ^A	–	378	60	89	283	295	28
HH forrajes propios, L L ⁻¹ ECM ^B	617c	622c	421bc	375ab	174a	273ab	35
Eficiencia alimentos propios, % L ⁻¹ ECM ^B	47,7c	42,5bc	46,0bc	31,9ab	23,5a	25,6a	1,9
Alimentos comprados							
HH compra alimentos, L L ⁻¹ ECM ^B	680ab	807b	513a	694ab	536a	738ab	32
HH piensos, L L ⁻¹ ECM ^B	542abc	718c	366a	587bc	482ab	674bc	28
HH forrajes, L L ⁻¹ ECM ^B	138b	89ab	147b	107ab	53a	64ab	10
Otros							
Agua de bebida, L L ⁻¹ ECM ^B	2,9ab	2,9ab	3,0ab	3,1b	2,6a	2,6ab	0,07
Agua de limpieza, L L ⁻¹ ECM ^B	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	–
Gasóleo, L L ⁻¹ ECM ^B	0,16b	0,17b	0,09a	0,11a	0,08a	0,11a	0,006
Fertilizantes, L L ⁻¹ ECM ^B	0,23ab	1,05b	0,03a	0,50ab	0,65ab	0,41ab	0,09
Electricidad,	0,33ab	0,74b	0,64ab	0,36ab	0,23a	0,24a	0,05
HH total, L L ⁻¹ ECM	1304bc	1436c	940ab	1075abc	716a	1016ab	53
HH con asignación, L L ⁻¹ ECM	1044bc	1219c	728ab	926abc	638a	914abc	47
Reparto del tipo de agua							
Verde, L L ⁻¹ ECM ^B	1174bc	1280c	797a	952ab	639a	848a	48
Azul, L L ⁻¹ ECM ^B	44abc	53bc	34ab	26a	23a	58c	3,2
Gris, L L ⁻¹ ECM ^B	86ab	103b	108b	97b	55a	109b	5,6
Agua, m ³ kg GB	35bc	39b	25,6ab	28,7ab	19,4a	27,4ab	1,4
Agua, m ³ kg PB	42bc	45,5c	30,8ab	33,6ab	21,8a	31,1ab	1,7
Agua, m ³ kg ESU	19bc	20,9c	13,9ab	15,5ab	10,2a	14,5ab	0,8

Eco, Ecológico; PasCon, Pastoreo convencional; PePa, Pesebre-pastoreo; EHba, Ensilado de hierba; EMz, Ensilado de maíz; EHba-EMz, Ensilado de hierba y de maíz; ^A: HH correspondiente a la producción obtenida dentro del porcentaje de SAU que ocupa; ^B: % de la huella hídrica por litro de leche ECM de los alimentos propios; ECM: leche corregida por grasa et: error típico; a, b, c, d dentro de la misma fila difieren $P < 0,05$.

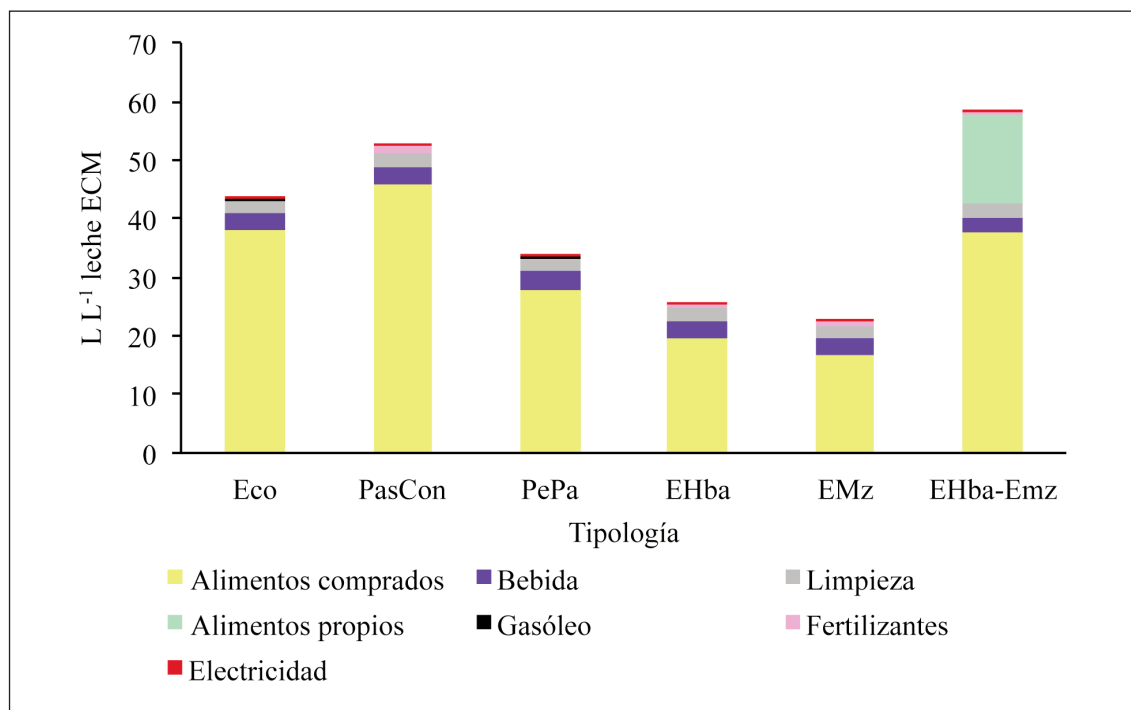


Figura 3. Distribución del agua azul por litro de leche de las tipologías Eco, Ecológico; PasCon, Pastoreo convencional; PePa, Pesebre-pastoreo; EHba, Ensilado de hierba; EMz, Ensilado de maíz; EHba-EMz, Ensilado de hierba y de maíz.

Figure 3. Distribution of blue water per liter of milk of the typologies Eco, Ecological; PasCon, Conventional grazing; PePa, Harvest-grazing; d) EHba, Grass silage; e) EMz, Corn silage and f) EHba-EMz, Grass and corn silage.

La humedad de las dietas en las vacas lecheras fue del $53,8 \pm 12$ %, sin diferencias significativas en el conjunto de tipologías (Tabla 1). Este porcentaje no justificó las diferencias en la ingesta de materia seca en las vacas lecheras, con mínimas de $16,6 \pm 3,0$ kg en Eco y máximas de $24,1 \pm 1,9$ kg en EMz, posiblemente debido al bajo coeficiente de variación del 23 %. Por su parte, Leonardi et al. (2005) no observaron diferencias en la ingesta de vacas lecheras alimentadas con dietas de diferente porcentaje de humedad.

El agua azul de bebida y limpieza fue de $5,0 \pm 0,5$ l l⁻¹ ECM, sin diferencias significativas entre tipologías (Tabla 4), y similar al in-

dicado por Murphy et al. (2017) en Irlanda de $5,3 \pm 1,9$ l l⁻¹ ECM y de $3,9 \pm 0,29$ l l⁻¹ ECM en Alemania (Drastig et al., 2010). Mientras, el agua atribuida a la electricidad, gasóleo y fertilizantes fue de $1,05 \pm 0,91$ l l⁻¹ ECM, con máximos de $1,96 \pm 1,73$ l l⁻¹ ECM en PasCon ($P < 0,05$) y la menor en las demás tipologías.

Leche

La huella hídrica por litro de leche ECM (HH_{ECM}) fue de 1080 ± 392 l y diferente entre tipologías (Tabla 4), con máximos de 1436 ± 323 l l⁻¹ ECM en Eco y mínimos de 716 ± 185 l l⁻¹ ECM en EMz (Tabla 4). La mayor huella en Eco es imputable a factores de producción como me-

nor producción de leche y forraje por hectárea (Tabla 3). Estos resultados fueron similares a $1096 \text{ l l}^{-1} \text{ ECM}$ y $1020 \text{ l l}^{-1} \text{ ECM}$ señalados por Mekonnen y Hoekstra (2010 y 2012); ligeramente superiores a $953 \pm 254 \text{ l l}^{-1} \text{ ECM}$ en Europa (Sultana et al., 2014) y superiores a $524 \pm 66 \text{ l l}^{-1} \text{ ECM}$ en Italia (Cosentino et al., 2015) y $690 \pm 135 \text{ l l}^{-1} \text{ ECM}$ en Irlanda (Murphy et al., 2017). No obstante, la distribución porcentual de la HH_{ECM} [(agua verde (HH_{ECMv}), azul (HH_{ECMa}) y gris (HH_{ECMg})] fue diferente entre tipologías (Tabla 4), con porcentajes medios del $87,7 \pm 3,4 \%$ ($948 \pm 354 \text{ l}$); $3,8 \pm 1,8 \%$ ($40 \pm 23 \text{ l}$) y $8,4 \pm 2,4 \%$ ($91 \pm 41 \text{ l}$) respectivamente. Factores como la producción de forraje, producción de leche, consumo de pienso por hectárea, tipo de forraje producido, producción y aporte de purín entre otros, pudieran estar detrás de aquellas diferencias. No obstante, y para las explotaciones del presente trabajo, la gran dispersión observada para HH_{ECMv} tiene su origen a la diferencia de precipitación entre las explotaciones de Navarra (1354 l m^{-2}) y las de Asturias (848 l m^{-2}) (Figura 1). El mayor porcentaje de HH_{ECMv} se registró en Eco ($89,9 \pm 1,6 \%$) y el menor en EHba-EMz y EMz ($83,5 \pm 3,4 \%$); HH_{ECMa} fue superior en EHba-EMz ($5,7 \pm 2,9 \%$) y la menor en EHba ($2,6 \pm 0,73 \%$) y en HH_{ECMg} fue superior en PePa ($11,3 \pm 3,9 \%$) y la menor de ($6,7 \pm 1,1 \%$) en ecológico.

El mayor porcentaje de superficie dedicada a cultivos forrajeros principalmente maíz en rotación con raigrás italiano en las tipologías EMz y EHba-EMz (valor medio $64,8 \%$), respecto al $4,67 \%$ de PasCon, PePa y EHba, redujo un $21,2 \%$ (252 l) la HH_{ECMv} ; $21,7 \%$ (225 l) la HH_{ECMv} ; $18,0 \%$ ($7,8 \text{ l}$) la HH_{ECMa} y $17,5 \%$ ($18,5 \text{ l}$) la HH_{ECMg} . Zonderland-Thomassen y Ledgard (2012) compararon la huella hídrica de la producción lechera de dos regiones diferentes en Nueva Zelanda, Waikato (Isla Norte, sin riego, con lluvias moderadas) y Canterbury (Isla Sur, con riego, con escasas lluvias), los resultados fueron de 945 l de agua por litro de leche corregida por grasa y

proteína en las primeras y 1084 l las segundas. El agua verde de Waikato fue del 72% y del 46% en Canterbury, indicando la utilización del riego en aquellos cultivos de alto rendimiento en materia seca.

La suma porcentual de HH_{ECMa} y HH_{ECMg} fue del $12,3 \pm 3,4 \%$ ($131 \pm 56 \text{ l}$), similar al $14,1 \%$ (Mekonnen y Hoekstra, 2010) y al $14,5 \%$ (Sultana et al., 2014) indicado en estudios previos. Coincidente con Mekonnen y Hoekstra (2010), el agua de los alimentos (propios y comprados) representa el mayor porcentaje de HH_{ECM} con un valor medio del $99,3 \pm 0,24 \%$, mayor en Eco $99,5 \pm 0,14 \%$ ($P < 0,05$) y menor del $99,1 \pm 0,22 \%$ en EMz. La HH_{ECM} de los alimentos propios difiere a los comprados ($P < 0,05$), con volúmenes medios de $396 \pm 255 \text{ l}$ y $678 \pm 218 \text{ l}$, respectivamente (Tabla 4). La variabilidad observada en los primeros es atribuida a las diferencias de precipitaciones (agua verde), producción tanto de forrajes como de leche por hectárea. La mayor HH_{ECM} de los alimentos comprados (forrajes y piensos) se registró en PasCon de $622 \pm 247 \text{ l l}^{-1} \text{ ECM}$ ($P < 0,05$) y, la menor de $174 \pm 97 \text{ l l}^{-1} \text{ ECM}$ en EMz. Mientras, el superior volumen agua de los alimentos comprados se registró en la tipología PasCon ($807 \pm 196 \text{ l}$) y la menor ($P < 0,05$) en PePa con $513 \pm 293 \text{ l}$ (Tabla 4). En cualquier caso, el $84,9 \pm 13,7 \%$ del volumen de agua de los alimentos comprados procede de los concentrados y el $15,1 \pm 13,7 \%$ de los forrajes.

La Figura 3 representa el porcentaje de agua azul por litro de leche ECM, con un valor medio de $40 \pm 23 \text{ l}$ y diferente entre tipologías (Tabla 4); de los cuales, $31,1 \pm 14,6 \text{ l}$ proceden de alimentos comprados, similares a $30,6 \pm 10,2 \text{ l}$ señalados en Irlanda por Murphy et al. (2017). Por su parte, Rotz et al. (2020) en Pensilvania (USA), señalan consumos de $13,5 \text{ l}$ de agua azul (riego, limpieza, consumo y enfriamiento del ganado). Las diferencias respecto a las de Rotz et al. (2020) pueden ser atribuidas a la metodología de cálculo. En el presente trabajo se usó el modelo CROP-

WAT® (FAO, 2009), mientras que aquellos utilizaron el Integrated Farm System Model (Rotz et al., 2018), incluyendo además de la producción y compra de alimentos, el agua usada en el transporte. El agua gris fue de $91 \pm 41 \text{ l l}^{-1}$ leche ECM y diferente entre tipologías (Tabla 4).

El agua asignada a un litro de leche fue de $922 \pm 343 \text{ l}$ y diferente entre tipologías (Tabla 4), al igual que el porcentaje ($P < 0,05$) respecto a la huella hídrica total de $1080 \pm 392 \text{ l}$. Porcentualmente fue superior en EHba-EMz ($89,8 \pm 2,1 \%$) y la menor en Eco ($77,9 \pm 10,5 \%$). En cualquier caso y para el conjunto de explotaciones, el porcentaje medio fue del $85,4 \pm 7,8 \%$, similar al $85,6 \%$ indicado por defecto por el IDF (2010). En general, la producción de leche vaca y año reduce la HH_{ECM} , HH_{ECM}^v , HH_{ECM}^a y HH_{ECM}^g ($r = -0,73$; $-0,73$; $-0,38$ y $-0,44$, respectivamente; $P < 0,01$); mientras, el aumento de concentrado por kilo de leche suministrado a las vacas las incrementa ($r = 0,54$; $0,51$; $0,40$ y $0,56$, respectivamente; $P < 0,01$). La relación entre la producción de leche vaca y año y la HH_{ECM} fue del tipo: $1832 - (0,093 \text{ Leche})$, $r^2 = 0,53$; similar a la observada por Lu et al. (2018) de $1685 - (0,106 \text{ Leche})$, $r^2 = 0,51$.

El agua verde no compite con el humano, lo que cabe pensar en estrategias que reduzcan la suma del agua azul y gris (HH_{ECM}^{a+g}). Así, aumentos de un litro de leche vaca y año la HH_{ECM}^{a+g} puede disminuir $0,009 \pm 0,002 \text{ l}$ ($r^2 = 0,323$; $P < 0,001$) y aumentar $289 \pm 57 \text{ l}$ al incrementar el aporte de concentrado por litro de leche producido ($r^2 = 0,33$; $P < 0,001$).

Modelos de huella hídrica

En general los modelos presentaron un alto coeficiente de determinación para la huella hídrica total de un litro de leche (HH_{ECM}) y la verde (HH_{ECM}^v). Por el contrario, la azul (HH_{ECM}^a) y la gris (HH_{ECM}^g) presentaron un coeficiente de determinación moderado (Tabla 5).

Tabla 5. Evaluación estadística de los modelos para la estimación de la huella hídrica total, verde, azul y gris de la leche. Table 5. Statistical evaluation of the models for estimating the total, green, blue and grey water footprint of milk.

Huella Hídrica ¹	Modelo	et	R ²	D-W	Obs.	Simu.	d	R ²	RMSE, %	MBE	EF
HH_{ECM}	$862,6 - (0,06 \text{ Leche ECM vaca año}) - (453,3 \text{ SAU cultivos forrajeros UGM}^{-1}) + (1467 \text{ kg pienso L}^{-1} \text{ ECM}) + (3,18 \%$ SAU pradera)	179	0,80	0,87	1082	955	0,80	0,61	3,44	127	0,50
HH_{ECM}^v	$745,8 - (0,052 \text{ Leche ECM vaca año}) - (3,56 \%$ EMz dieta vacas) + (1239 kg pienso L ⁻¹ ECM) + (3,43 % SAU pradera)	157	0,82	0,75	944	945	0,84	0,81	2,13	-0,5	0,84
HH_{ECM}^a	$-5,61 - (0,25 \text{ kg K ha}^{-1}) + (0,092 \text{ Litros gasoil ha}^{-1}) + (67,6 \text{ kg pienso L}^{-1} \text{ ECM}) + (63,2 \text{ hectáreas pradera UGM}^{-1}) - (0,3 \%$ SAU pradera)	17	0,49	2,15	41	37	0,98	0,45	6,05	3,5	0,99
HH_{ECM}^g	$116,3 - (156 \text{ kg pienso L}^{-1} \text{ ECM}) - (158,7 \text{ SAU cultivos forrajeros UGM}^{-1}) - (0,5 \%$ SAU pradera verde) - (0,006 Leche ECM vaca año)	27	0,59	2,03	80	87	0,98	0,42	3,99	-6,8	0,99

¹: litros de agua por litro de leche ECM; et: error de la estima; D-W: Durbin-Watson; Obs.: Valores observados; Sim.: Valores simulados; d: Índice de agrupamiento; RMSE %: Raíz del error cuadrático medio; MBE: Error de sesgo medio; EF: Eficiencia del modelo; ECM: leche corregida por grasa; SAU: superficie agrícola útil; UGM: unidad ganado mayor; EMz: ensilado maíz.

La Tabla 5 señala las variables de campo que conforman los modelos de huella hídrica por litro de leche corregido por grasa (HH_{ECM}), verde (HH_{ECMv}), azul (HH_{ECMa}) y gris (HH_{ECMg}) utilizadas en la simulación; y la Figura 4, la relación entre los valores observados y simulados. En general la simulación fue aceptable tal y como se desprende de los valores positivos de la eficiencia del modelo (EF) y mayores de cero, un índice de agrupamiento d elevado en todas las simulaciones así lo indican. El signo negativo de MBE en HH_{ECMg} in-

dicó subestimación y sobreestimación en HH_{ECM} , HH_{ECMv} y HH_{ECMa} (Tabla 5). Las variables que pueden incrementar el consumo de agua por litro de leche fueron los kilos de pienso por litro de leche producido; el porcentaje de la superficie dedicado a pradera; el consumo de gasóleo por hectárea y las hectáreas de pradera por UGM. Mientras las que contribuyen a minimizarla fueron la producción de leche por vaca y año; la superficie agrícola dedicada a cultivos forrajeros; el consumo de maíz en las vacas lecheras y los

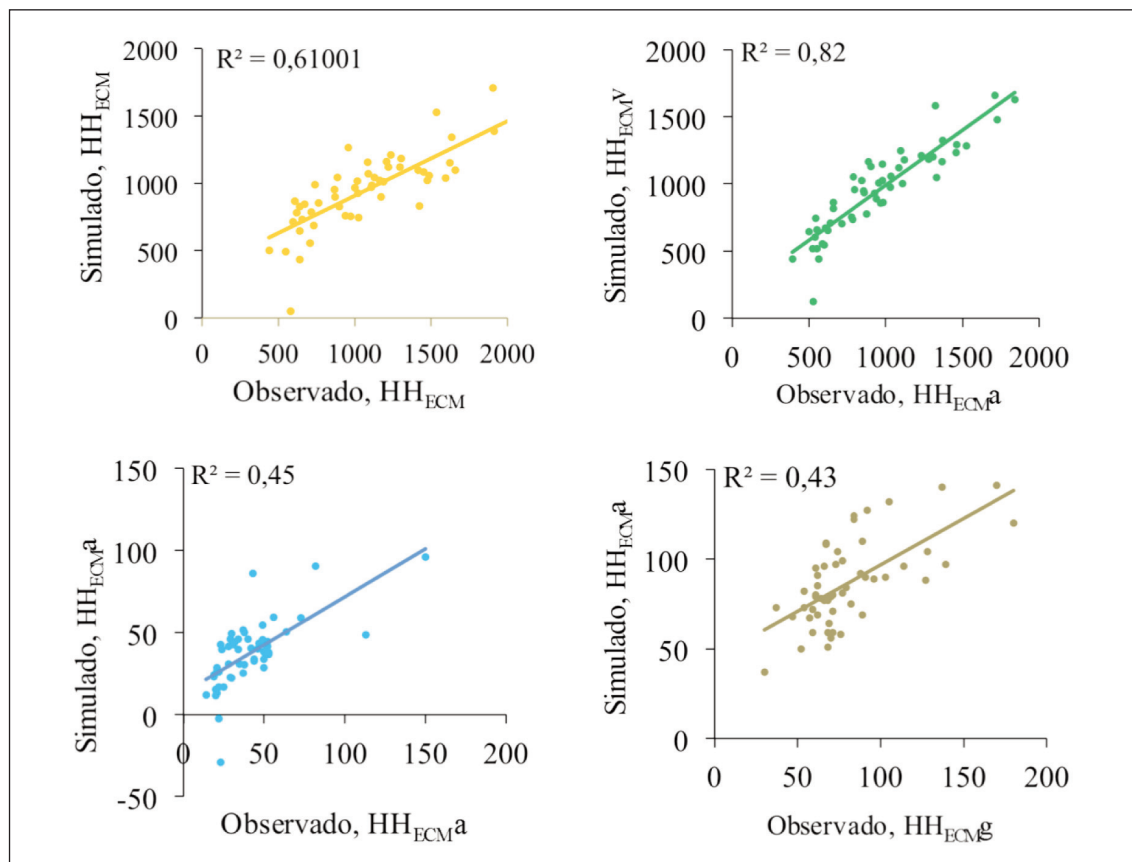


Figura 4. Valores observados y simulados de la huella hídrica total (HH_{ECM}); verde (HH_{ECMv}); azul (HH_{ECMa}) y gris (HH_{ECMg}) en litros de agua por litro de leche ECM.

Figure 4. Observed and simulated values of the total water footprint (HH_{ECM}); green (HH_{ECMv}); blue (HH_{ECMa}) and gray (HH_{ECMg}) in liters of water per liter of milk ECM.

kilos de potasa aplicado por hectárea. Las variables relacionadas con la pradera y el consumo de concentrado tienden a incrementar la huella hídrica; mientras, las concernientes a la producción y dedicación de la superficie a cultivos forrajeros la reducen. La producción de hierba es inferior en el prado respecto a la que se obtiene con maíz y rai-grás italiano en zonas de clima atlántico (Salcedo, 2020). La Figura 5 muestra otras variables relacionadas con el aumento o reducción de la huella hídrica de un litro de leche (HH_{ECM}). Las primeras están relacionadas con el consumo de hierba verde y la superficie dedicada a pradera. Así, aumentos de una hectárea de pradera por UGM puede aumentar la HH_{ECM} en 804 ± 234 l ($r^2 = 0,18$); $21,3 \pm 3,4$ l ($r^2 = 0,42$); litros por

unidad porcentual en el porcentaje de hierba verde en la dieta de las vacas lecheras, y $6,7 \pm 1,8$ l ($r^2 = 0,20$); litros por unidad porcentual de la superficie agrícola útil de la explotación. Por el contrario, las variables que la reducen de mayor a menor correlación fueron la leche ECM vaca y año ($r^2 = 0,48$); la eficiencia de utilización del nitrógeno ($NUE_{rebaño}$) para el conjunto del rebaño ($r^2 = 0,44$); la eficiencia de conversión (litros leche ECM kg^{-1} materia seca ingerida) ($r^2 = 0,31$); el porcentaje de ensilado de maíz incluido en la dieta de las vacas lecheras ($r^2 = 0,23$) y el porcentaje de cultivos forrajeros anuales ($r^2 = 0,20$). Las pendientes para cada una de aquellas variables fueron de $-0,12 \pm 0,017$ l; $-54,8 \pm 8,6$ l; -1208 ± 250 l; $-16,4 \pm 4,1$ l y $-6,7 \pm 1,8$ l, respectivamente.

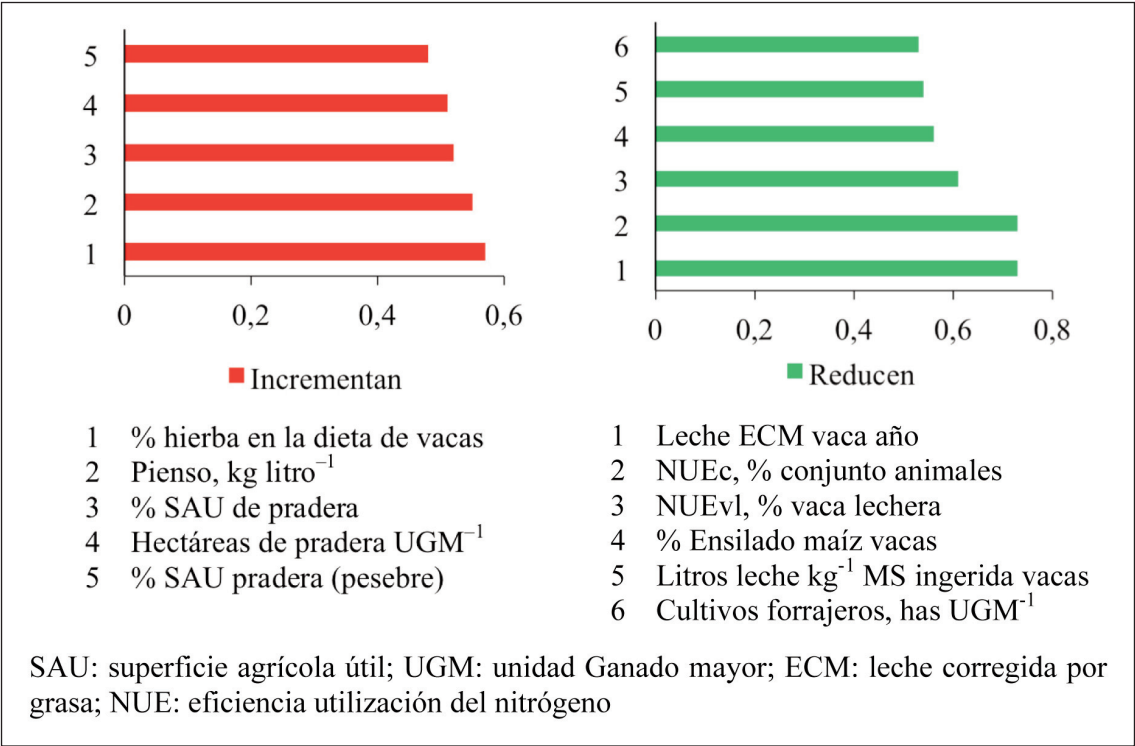


Figura 5. Relaciones de la huella hídrica por litro de leche ECM con variables de campo.
Figure 5. Relationships of the water footprint per liter of milk ECM with field variables.

Conclusiones

El agua verde representó el mayor porcentaje de la huella hídrica por litro de leche; mientras, el agua azul procede principalmente de los concentrados. La eficiencia de conversión de alimento en leche, la producción de leche y la reserva de superficie agrícola para forrajes anuales más productivos que la pradera por unidad de tiempo, son herramientas que contribuyen a reducir la huella de un litro de leche.

Agradecimientos

Los autores agradecen la financiación obtenida por el INIA y Ministerio de Economía, Industria y Competitividad (subproyectos: INIA RTA2015-00058-C06-01 y 02), cofinanciado con fondos FEDER. Un agradecimiento especial a las ganaderías participantes del proyecto.

Referencias bibliográficas

- Allen RG, Pereira LS, Raes D, Smith M (1998). Crop Evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56. FAO, Roma, Italia. 300 pp.
- Beede DK (2005). The Most Essential Nutrient: Water. Proceedings of the Western Dairy Management Conference, 9-11 marzo, Reno, Nevada, pp 13-31.
- Cardot V, Le Roux Y, Jurjanz S (2008). Drinking behavior of lactating dairy cows and prediction of their water intake. *Journal Dairy Science* 91(6): 2257-2264. <https://doi.org/10.3168/jds.2007-0204>.
- Chapagain AK, Hoekstra AY, Savenije HHG, Gautam R (2006). The water footprint of cotton consumption: an assessment of the impact of worldwide consumption of cotton products on the water resources in the cotton producing countries. *Ecological Economics* 60(1): 186-203. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2005.11.027>.
- Cosentino C, Adduci F, Musto M, Paolino R, Freschi P, Pecora G, D'Adamo C, Valentini V (2015). Low vs high "water footprint assessment" diet in milk production: A comparison between triticale and corn silage based diets. *Emirates Journal Food Agriculture* 27(3): 312-317. <https://doi.org/10.9755/ejfa.v27i3.19226>.
- DairyNZ (2012). Farm water quantity and quality. En: Farmfacts. http://www.dairynz.co.nz/page/pageid/2145876845/Farm_water_quantity_and_quality_5-15_.
- De Boer LJM, Hoving LE, Vellinga TV, Van de Ven GWJ, Leffelaar PA, Gerber PJ (2013). Assessing environmental impacts associated with freshwater consumption along the life cycle of animal products: the case of Dutch milk production in Noord-Brabant. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 18: 193-203. <https://doi.org/10.1007/s11367-012-0446-3>.
- Drastig K, Prochnow A, Kraatz S, Klauss H, Plöchl M (2010). Water footprint analysis for the assessment of milk production in Brandenburg (Germany). *Advances in Geosciences* 27: 65-70. <https://doi.org/10.5194/adgeo-27-65-2010>.
- EPA (2005). List of drinking water contaminants: ground water and drinking water. US Environmental Protection Agency.
- FAO (2009) CROPWAT 8,0 Model. Food and Agriculture Organization. Rome. Italy.
- Gerber P, Vellinga T, Opio C, Henderson B, Steinfeld H (2010). Greenhouse gas emissions from the dairy sector: a life cycle assessment. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Animal Production and Health Division, Rome, Italy.
- Guinée J, Heijungs R, Huppes G (2004). Economic allocation: examples and derived decision tree. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 9(1): 23-33. <https://doi.org/10.1007/BF02978533>.
- Gutiérrez JM, Herrera S, San-Martín D, Sordo C, Rodríguez JJ, Frochoso M, Ancell R, Fernández J, Coñiño AS, Pons MR, Rodríguez MA (2010). escenarios regionales probabilísticos de cambio climático en Cantabria: Termopluiometría. 169 pp.

- Hoekstra AY, Chapagain AK, Aldaya MM, Mekonnen MM (2011). The water footprint assessment manual. Setting the global standard. Earthscan, London, UK.
- Hoekstra AY, Mekonnen MM (2012). Reply to Ridoutt and Huang: From water footprint assessment to policy. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 109(22): E1425. <https://doi.org/10.1073/pnas.1205186109>.
- Haupt TR (1970). Water, Electrolytes, and Acid-Base Balance. In *Dukes' Physiology of Domestic Animals: Eighth Edition* (Ed. M.J. Swenson), pp 443-462. Cornell University Press, New York.
- IDF (2010). A common carbon footprint approach for the dairy sector. The IDF guide to standard life cycle assessment methodology for the dairy sector. *Bulletin of the International Dairy Federation* 445/2010. 40 pp.
- Johnston JL, Fanzo JC, Cogill B (2014). Understanding sustainable diets: a descriptive analysis of the determinants and processes that influence diets and their impact on health, food security, and environmental sustainability. *Advances in Nutrition and International Review Journal* 5(4): 418-429. <https://doi.org/10.3945/an.113.005553>.
- Khelil-Arfa H, Boudon A, Maxin G, Faverdin P (2012). Prediction of water intake and excretion flows in Holstein dairy cows under thermoneutral conditions. *Animal* 6(10): 1662-1676. <https://doi.org/10.1017/S175173111200047X>.
- King KR, Stockdale CR (1981). Milk yield of dairy cows given restricted access to water in a Mediterranean-type climate. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry* 21(109): 167-171. <https://doi.org/10.1071/EA9810167>.
- Leonardi C, Giannico F, Armentano LE (2005). Effect of water addition on selective consumption (sorting) of dry diets by dairy cattle. *Journal Dairy Science* 88: 1043-1049. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(05\)72772-7](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(05)72772-7).
- Lu Y, Payen S, Ledgard S, Luo J, Ma L, Zhang X (2018). Components of feed affecting water footprint of feedlot dairy farm systems in the 2 Northern China. *Cleaner Production* 183: 208-219. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.165>.
- Mekonnen M, Hoekstra AY (2010). The green, blue and grey water footprint of farm animals and animal products, Volume 1: Main report. UNESCO-IHE Institute for Water Education, Delft, The Netherlands.
- Mekonnen M, Hoekstra AY (2012). A global assessment of the water footprint of farm animal products. *Ecosystems* 15: 401-415. <https://doi.org/10.1007/s10021-011-9517-8>.
- Meyer U, Everinghoff M, Gädeken D, Flachowsky G (2004). Investigations on the water intake of lactating dairy cows. *Livestock Production Science* 90(2-3): 117-121. <https://doi.org/10.1016/j.livprodsci.2004.03.005>.
- Murphy E, de Boer IJM, Van Middelaar CE; Holden NM, Shalloo L, Curran TP, Upton J (2017). Water footprinting of dairy farming in Ireland. *Journal of Cleaner Production* 140(2): 547-555. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.07.199>.
- Nash JE, Sutcliffe JV (1970). River flow forecasting through conceptual models part I – A discussion of principles. *Journal of Hydrology* 10(3): 282-290. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(70\)90255-6](https://doi.org/10.1016/0022-1694(70)90255-6).
- National Research Council (2001). Water. En: *Nutrient Requirements of Dairy Cattle: Seventh Revised Edition*, pp 178-183. National Academy Press, Washington DC.
- Piñeiro J, Díaz N (2005). La producción forrajera en la España húmeda. En: *Producciones agro-ganaderas: Gestión eficiente y conservación del medio natural* (Vol. II) (Ed. de la Roza B, Martínez A, Carballal A), pp. 425-463. Sociedad Española de Pastos, Gijón, España.
- Rotz C, Corson M, Chianese D, Montes F, Hafner S, Bonifacio H, Coirer C (2018). *Integrated Farm System Model: Reference Manual*, USDA Agricultural Research Service. University Park. PA.
- Rotz C, Stout R, Holly M, Kleinman P (2020). Regional environmental assessment of dairy farms. *Journal of Dairy Science* 103(4): 3275-3288. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17388>.
- Salcedo G (2015). DairyCant: a model for the reduction of dairy farm greenhouse gas emissions. *Advances in Animal Biosciences* 6: 26-28. <https://doi.org/10.1017/S2040470014000466>.

- Salcedo G (2020). Emisiones en la producción de forrajes de las explotaciones lecheras. *ITEA-Formación Técnico Económica Agraria* 116(4): 311-337. <https://doi.org/10.12706/itea.2020.008>.
- Salcedo G, Salcedo-Rodríguez D (2022). Valoración holística de la sostenibilidad en los sistemas lecheros de la España húmeda. *ITEA-Formación Técnico Económica Agraria* 118(3): 396-426. <https://doi.org/10.12706/itea.2021.032>.
- Sjaunja LO, Baevre L, Junkkarinen L, Pedersen J, Setälä J (1990). A Nordic proposal for an energy-corrected milk (ECM) formula. 27th session of the International Commission for Breeding and Productivity of Milk Animals, 2-6 julio, Paris, France.
- SPSS (2006). Statistical Package for the Social Sciences. Guía breve de SPSS 15.0, SPSS Inc., Chicago.
- Sultana M, Uddin M, Ridoutt B, Peters K (2014). Comparison of water use in global milk production for different typical farms. *Agricultural Systems* 129: 9-21. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2014.05.002>.
- Thoma G, Jolliet O, Wang Y (2013). A biophysical approach to allocation of life cycle environmental burdens for fluid milk supply chain analysis. *International Dairy Journal* 31: S41-S49. <https://dx.doi.org/10.1016/j.idairyj.2012.08.012>.
- Thomson AJ, King JA, Smith KA, Tiffin DH (2007). Opportunities for Reducing Water use in Agriculture. Defra Research Project Final Report for WU0101.
- UNEP (2007). Global Environment Outlook – Geo 4: Environment for Development. United Nations Environment Programme, Valletta, Malta.
- Ward D, McKague K (2015). Water Requirements of Livestock. Agdex 716/400, Ontario Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs: Guelph, ON, Canada, 2015.
- Wernet G, Bauer C, Steubing B, Reinhard J, Moreno-Ruiz E, Weidema B (2016). The ecoinvent database version 3 (part I): overview and methodology. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 21(9): 1-13. <https://doi.org/10.1007/s11367-016-1087-8>.
- Willmott CJ (1982). Some comments on the evaluation of model performance. *Bulletin American Meteorological Society* 63: 1309-1313. [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1982\)063<1309:SCOTEO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1982)063<1309:SCOTEO>2.0.CO;2).
- Wirsenius S, Azar C, Berndes G (2010). How much land is need for global food production under scenarios of dietary changes and livestock productivity increases in 2030?. *Agricultural Systems* 103: 621-638. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2010.07.005>.
- Zonderland-Thomassen MA, Ledgard SF (2012). Water footprinting – A comparison of methods using New Zealand dairy farming as a case study. *Agricultural Systems* 110: 30-40. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2012.03.006>.
- (Aceptado para publicación el 22 de diciembre de 2021)

Espectroscopía en el infrarrojo cercano por transmitancia y reflectancia para la predicción de la composición química de cereales en grano y molidos

Alba Vigo^{1,2,*}, María Ángeles Latorre¹ y Guillermo Ripoll²

¹ Universidad de Zaragoza. Facultad de Veterinaria-IA2. C/ Miguel Servet, 177. 50013 Zaragoza, España

² Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón-IA2. Avda. Montañana, 930. 50059 Zaragoza, España

Resumen

Para una correcta formulación de piensos compuestos, es esencial un adecuado análisis del valor nutritivo de las materias primas empleadas. Dicho análisis debe ser lo más exacto posible, pero a la vez rápido, económico y sostenible. El objetivo de este trabajo fue estudiar la aptitud de la espectroscopía del infrarrojo cercano, comparando dos modos de medida, transmitancia y reflectancia, para estimar la composición química de trigo, maíz y cebada, bajo dos formas de presentación (molida o en grano). Para ello, se utilizaron un total de 45 muestras (15 de cada materia prima) procedentes de distintas fábricas de pienso compuesto de la zona noreste de España. En primer lugar, se determinó por vía húmeda la composición química de dichos cereales. Una vez obtenidos los espectros NIR de las muestras, se aplicaron diversos pretratamientos matemáticos: derivadas, suavizado espectral, variable normal estándar y corrección del efecto multiplicativo de la dispersión. Con los espectros y los datos de referencia, y con el fin de elegir el mejor modelo de predicción, se realizó un análisis de regresión de mínimos cuadrados parciales utilizando el programa informático The Unscrambler X. En general, el uso de reflectancia con grano entero se muestra preferible a la de grano molido por el ahorro de trabajo y la rapidez debida a no tener que moler la muestra, y está más indicada para la estimación del contenido de fibras. La reflectancia usando el grano molido destacó por la predicción de la proteína bruta, teniendo calibraciones de calidad no muy inferiores a las otras combinaciones en materia seca, cenizas y materia orgánica. Tanto la reflectancia como la transmitancia usando grano entero dan buenos modelos para la materia seca, pero la reflectancia con grano entero lo hizo en la estimación de fibras y almidón, mientras que la transmitancia destacó en la estimación del extracto etéreo y la materia orgánica. Estos resultados se pueden considerar preliminares por usar un reducido número de muestras, aunque son indicativos de las posibilidades y limitaciones del uso de reflectancia y transmitancia en función del parámetro químico a estimar y el estado de molienda de la muestra.

Palabras clave: Trigo, cebada, maíz, espectrofotometría, NIR, NIT, vía húmeda.

Transmission and reflectance near-infrared spectroscopy for predicting the chemical composition of ground and grain cereals

Abstract

Analyzing the nutritional value of the raw materials is essential for a correct feedstuff formulation. This analysis has to be as accurate as possible, but at the same time, it has to be fast, inexpensive and sus-

* Autor para correspondencia: 718439@unizar.es

Cita del artículo: Vigo A, Latorre MA, Ripoll G (2022). Espectroscopía en el infrarrojo cercano por transmitancia y reflectancia para la predicción de la composición química de cereales en grano y molidos. ITEA-Información Técnica Económica Agraria 118(4): 565-579. <https://doi.org/10.12706/itea.2022.001>

tainable. The aim of this trial was to study the aptitude of near infrared spectroscopy, by comparing transmittance with reflectance mode, to estimate the chemical composition of wheat, maize and barley in two forms of presentation (ground and whole grain samples). For this, a total of 45 samples (15 of each raw material) from different feed factories in the northeast of Spain were used. Firstly, wet processing analysis was carried out in the laboratory to determine the chemical composition of the cereals. Once the NIR spectra were collected, they were modified with several mathematical pretreatments: derivatives, smooths, standard normal variate and multiplicative scatter correction. A partial least square regression with The Unscrambler X was made with spectra and reference data, choosing the best prediction model. In general terms, the use of reflectance together the whole grain is preferable to grinded grain avoiding work and being faster and it was more indicated to prediction of fibers. Reflectance with grinded grain provided good calibrations for crude protein, and adequate calibrations for dry matter, ashes and organic matter. Both grinded and whole grain with reflectance provided accurate predictions for dry matter but reflectance with whole grain provided best calibrations for fibers and starch while transmittance was better to predict fat and organic matter. These were preliminary results but provide an insight to the possibilities and limitations of NIRS.

Keywords: Wheat, barley, maize, spectrophotometry, NIR, NIT, wet processing.

Introducción

Para la formulación de dietas, en alimentación animal, es imprescindible el análisis de la composición química de las materias primas, así como de los piensos compuestos, antes de que sean consumidos. Son varios los motivos; por un lado, se deben cubrir las necesidades nutricionales del animal al que va dirigido de la forma más ajustada posible. Por otro, el alimento supone el mayor coste de producción de una explotación ganadera y no son nada desdeñables tampoco estos gastos en el caso de las mascotas. Por ello, en las fábricas de pienso compuesto se realiza un control rutinario de las partidas de ingredientes procedentes de las explotaciones agrícolas. Los métodos convencionales utilizados para determinar el valor nutritivo de los ingredientes se basan en procedimientos complejos, que precisan mucho tiempo, mano de obra y generan gran cantidad de residuos químicos, que requieren una adecuada gestión con el fin de no contaminar el medio ambiente. Esta serie de premisas hacen que se trate de un proceso laborioso y costoso. Surge, por tanto, la necesidad de encontrar alternativas a los métodos de vía húmeda que mejoren estas deficiencias.

Desde el descubrimiento de la región espectral en el infrarrojo cercano, por William Herschel (Herschel, 1800) y la aportación de Ben-Gera y Norris (Ben Gera y Norris, 1968) sobre la evaluación de la calidad de los alimentos, la tecnología NIRS (espectroscopía en el infrarrojo cercano), basada en la absorción de radiación electromagnética en longitudes de onda comprendidas en el rango 780-2500 nm (Osborne, 2000), se ha convertido en una herramienta práctica y ampliamente utilizada en la industria agroalimentaria. Así lo demuestran estudios como los de Samadi *et al.* (2018 y 2020) y Dantes (2020), para la determinación de parámetros nutritivos del pienso compuesto. Por su parte, Phil Williams desarrolló un análisis a gran escala del trigo molido y la soja para la humedad, proteína y aceite a principios de los años 60 (Williams, 1975). En lo que respecta a la cebada, varios autores han profundizado en el uso de la tecnología NIRS, tanto en reflectancia como en transmitancia, en lo referido al uso de la materia prima en la industria cervecera (Meurens y Yan, 2006). La tecnología NIR también ha sido considerablemente utilizada para la determinación del contenido de humedad, proteína, almidón y fibra en maíz en-

tero y en productos obtenidos del maíz (Paulsen et al., 2003).

Se trata de un método no destructivo y no invasivo, además de rápido, que ofrece numerosas ventajas frente a otros métodos de análisis tradicionales, como la versatilidad y adaptabilidad para analizar muestras de distinta naturaleza, la ausencia de un pretratamiento de la muestra para el registro del espectro y el bajo coste de mantenimiento y medición (Peguero, 2010). Sin embargo, también hay que tener en cuenta algunas limitaciones, no suele ser un método preciso en la determinación de componentes presentes en menos de un 0,1 % (Pasquini, 2003; Cen y He, 2007), aunque Meng et al. (2015), Ripoll et al. (2018) o Zeng et al. (2019) obtuvieron resultados satisfactorios en la detección de analitos en concentraciones de ppm en el primer caso, y en la determinación del contenido de polifenoles en avena y maíz en el segundo y tercer caso, respectivamente. Por otro lado, el coste inicial del equipo es considerable y además requiere desarrollar modelos de calibración fiables, lo que hace que sea necesaria la incorporación de un amplio set de datos con una variabilidad considerable. También es necesario un análisis químico de referencia preciso para la calibración. Existen tres tipos de registros de espectros de infrarrojo cercano: Transmitancia (NIT), Reflectancia (NIR) y Transflectancia (NIRT) (Peguero, 2010). En los equipos NIR, el haz de luz se difunde por la muestra irradiada, la radiación penetra en ella (normalmente unos mm), interactuando con las partículas y siendo absorbida selectivamente. La energía que no se absorbe es reflejada y puede ser cuantificada por detectores. Este sistema es capaz de analizar muestras en formato gaseoso, líquido, semilíquido y sólido; sin embargo, es el más común para muestras sólidas y semisólidas, que forman una barrera difícil de atravesar en transmitancia (Flores, 2009). En los NIT se pueden registrar gases, líquidos, semilíquidos y sólidos. En este modo, el haz de luz

atraviesa la muestra hasta el detector. Por último, en los equipos NIRT, generalmente utilizados para muestras líquidas y semilíquidas, el haz de luz atraviesa la muestra, se refleja en un reflector en contacto con la misma y, finalmente, llega al detector (Peguero, 2010).

El objetivo general de este trabajo fue estudiar la aptitud de la espectroscopía del infrarrojo cercano, comparando transmitancia y reflectancia, para estimar la composición química de cereales comunes en alimentación animal (trigo, maíz y cebada) con dos formas de presentación (grano molido y en grano entero).

Material y métodos

Materias primas y análisis químicos

Con el fin de obtener una amplia variabilidad en los resultados, se utilizaron un total de 45 muestras de trigo, cebada y maíz (15 de cada cereal), procedentes de 14 fábricas de pienso compuesto ubicadas en Aragón, Cataluña y Navarra y de distintos orígenes. La toma de muestras la realizó el responsable del Departamento de control de calidad de cada fábrica, siguiendo los protocolos que recomienda CESFAC (2007). De cada muestra (1 kg), aproximadamente 0,5 kg se destinaron al estudio en grano y 0,5 kg en forma molida. La molienda se realizó en un molino con un tamiz de 1 mm de diámetro, salvo para la determinación del contenido de almidón, que fue de 0,5 mm. Todas las muestras se conservaron a temperatura ambiente hasta su análisis.

En primer lugar, se llevó a cabo el análisis de composición química por la vía clásica siguiendo, en general, los procedimientos de la AOAC (2000). La materia seca (MS) se determinó por el método de secado en estufa a 105 °C (método 934.01), las cenizas por calcinación en mufla a 550 °C (método 934.01), la materia orgánica (MO) por diferencia de

pesadas entre la MS y las cenizas, la proteína bruta (PB) mediante el método Kjeldahl (método 2001.11) y el extracto etéreo (EE) por Ankom Am-5-04 (AOCS, 2005). El análisis de fibra bruta (FB), fibra neutro detergente (FND), fibra ácido detergente (FAD) y lignina ácido detergente (LAD) se llevó a cabo, de acuerdo con Van Soest et al. (1991), a través de un analizador Ankom 220/220, utilizando el método de bolsa de filtrado (Ankom Corp. 57). Por último, el contenido de almidón se determinó mediante un kit comercial K-TSTA 07/11 de Megazyme®, adoptado por la AOAC (2000) (método 996.11). Los resultados obtenidos se expresan en base a materia fresca y todas las muestras se analizaron por duplicado, repitiendo el proceso para aquellas cuyas réplicas tuvieron una diferencia mayor al 10 %.

Adquisición de espectros y análisis quimiométricos

La recogida de espectros se realizó utilizando dos equipos de infrarrojo cercano de laboratorio; por un lado, el NIRSystems 6500 (FOSS Iberia SA, España), que trabaja en reflectancia en la región espectral entre 408 nm y 2.492 nm, con una resolución de 2 nm, y es ejecutado por el software WinISI NIRS II v.1.04 (FOSS Iberia SA, España). En este equipo las mediciones se realizaron con 32 escaneos, analizando las muestras por duplicado y obteniendo un espectro medio por muestra. Se utilizó una cápsula rectangular de mayor capacidad para las muestras en grano (4,7 cm de anchura y de profundidad y 20 cm de longitud), y unas cápsulas circulares de menor tamaño (35 mm de diámetro y 10 mm de profundidad) para las muestras molidas.

Por otro lado, el espectrofotómetro FoodScan 2 (FOSS Iberia SA, España) trabaja en transmitancia en la región espectral situada entre 850 nm y 1.100 nm, su resolución es de 0,5 nm y es ejecutado por el software ISIScan Nova (FOSS Iberia SA, España). Las medicio-

nes en este caso se realizaron con 28 escaneos por muestra, obteniéndose un espectro medio de cada una de ellas. Con este equipo no se realizaron mediciones en el formato de muestra molida por distintas razones. En primer lugar, para evitar la pérdida de muestra en forma de polvo durante el análisis, ya que la cápsula utilizada no se cierra herméticamente y, en segundo lugar, debido a la necesidad de disminuir el grosor de la muestra atravesada por la radiación infrarroja para poder maximizar la señal transmitida, tal y como indican Williams y Sobering (1993) en su estudio. De esta forma, se analizaron las muestras en grano depositándolas en una cápsula cilíndrica de 1,4 cm de profundidad.

Para realizar el tratamiento quimiométrico de los datos, se utilizó el programa de análisis The Unscrambler X 10.1 (Camo Software AS, Noruega). Los modelos de predicción se obtuvieron mediante un análisis de regresión de mínimos cuadrados parciales (PLSR), que reduce los datos espectrales a unas pocas combinaciones de absorciones que explican gran parte de la información espectral y también se relacionan con el valor de referencia de las muestras (Montes et al., 2006). Este programa utiliza el estadístico T^2 de Hotelling para considerar muestras con valores del estadístico mayores de 10 como aberrantes y eliminarlas del modelo. Con el objetivo de optimizar la señal espectral, se probaron los siguientes tratamientos: primera y segunda derivada de Savitzky-Golay, suavizado, *detrend*, variable normal estándar (SNV), corrección del efecto multiplicativo de dispersión (MSC), normalización, corrección de la línea base y, por último, transformaciones espectroscópicas.

Para comprobar la calidad de las calibraciones obtenidas se utilizó el método de validación cruzada total, que consiste en dividir el conjunto de datos de calibración en varios grupos, de manera que se realiza la calibración con todos los grupos excepto uno que

queda excluido para la validación. Se procede de este modo hasta que cada muestra se predice una vez (Sinnaeve et al., 1994).

La mayor o menor precisión de los modelos de calibración y validación cruzada fue interpretada con el coeficiente de determinación para calibración (R_c^2) y validación cruzada (R_{cv}^2), SEC (error estándar de calibración), SECV (error estándar de validación cruzada) y RPD (valor predictivo residual). Se calcularon los valores de RPD como el cociente entre la desviación estándar (DE) del método de referencia y el SECV. Se buscaron modelos que minimizaran el error y maximizaran el coeficiente de determinación y la RPD con un número menor de factores.

Resultados y discusión

Composición química y espectros

En la Tabla 1 se muestran expresados en porcentaje de materia fresca, los valores mínimos, los máximos y la media, así como la desviación estándar de los distintos parámetros de composición química, analizados por vía húmeda, de la mezcla de los tres cereales. Los datos obtenidos son los esperables para una mezcla de este tipo (FEDNA, 1999). El parámetro menos variable fue la materia seca con un coeficiente de variación de 1,83 % seguido de la materia orgánica con un coeficiente de variación del 14,22 %. La mayor variabilidad la tuvo la fibra bruta con un 63,64 %

Tabla 1. Valores máximos y mínimos, media, desviación estándar (DE) y coeficiente de variación (CV) de la composición química de la mezcla de cereales expresados porcentaje sobre materia fresca.
Table 1. Maximum and minimum values, mean, standard deviation (DE) and coefficient of variation (CV) of chemical composition parameters of cereal mixture expressed on percentage of wet basis.

Parámetros químicos	Máximo	Mínimo	Media	DE	CV
Materia seca	91,20	84,00	88,70	1,62	1,83
Cenizas	2,64	0,86	1,48	0,51	19,34
Materia orgánica	89,60	83,00	87,10	1,29	14,22
Proteína bruta	13,07	6,31	9,07	1,79	19,74
Fibra bruta	5,27	1,30	1,98	1,26	63,64
Fibra neutro detergente	18,23	6,81	10,31	3,82	20,95
Fibra ácido detergente	6,59	1,57	2,69	1,52	56,51
Lignina ácido detergente	2,47	0,18	0,82	0,47	57,32
Extracto etéreo	4,06	1,00	1,84	0,88	47,83
Almidón	69,80	48,60	60,30	6,56	9,37

En la Figura 1 se muestran los espectros medios de reflectancia y transmitancia típicos de la mezcla de cereales en las dos formas de presentación estudiadas (grano entero y grano molido). Los espectros de reflectancia fueron similares y casi paralelos, pero con

mayores valores de absorbancia cuando se usó el grano entero. Esto es esperable por las diferencias en el efecto de la dispersión de la luz en los dos formatos de la matriz. El espectro de transmitancia fue similar al de reflectancia, aunque el espectrofotómetro solo

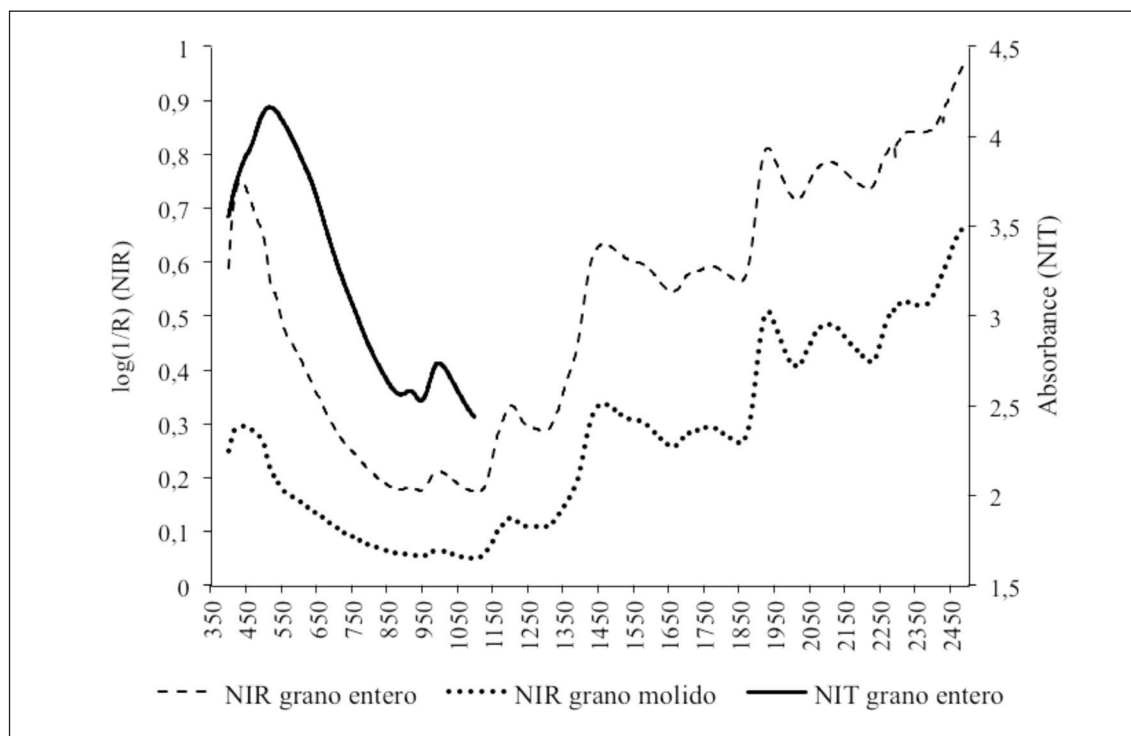


Figura 1. Espectros de NIR (reflectancia) de mezcla de cereales molidos, NIR (reflectancia) de mezcla de cereales enteros y NIT (transmitancia de mezcla de cereales enteros).

Los espectros NIR de las muestras de grano entero y de la mezcla de cereales molidos se recogieron con un espectrofotómetro NIRSystem 6500 en el rango espectral de 408 nm a 2.492 nm.

Los espectros NIR de las muestras de grano entero se recogieron con un espectrofotómetro FoodScan II en el rango espectral de 800 nm a 1.100 nm.

Figure 1. Spectra of NIR (reflectance) for ground mixed cereals, NIR (reflectance) for whole mixed cereals and NIT (transmittance) in whole mixed cereals.

recoge espectros hasta los 1.100 nm. El espectro de transmitancia tuvo su valor máximo alrededor de los 550 nm mientras que los espectros de reflectancia tuvieron el pico máximo en los 450 nm.

Modelos de calibración y validación cruzada

En términos generales, todas las calibraciones desarrolladas con reflectancia y transmitancia, y con grano entero y molido, fueron ade-

cuadas superando en todos los casos 0,8 y 0,78 para el coeficiente de determinación de la calibración y la validación cruzada, respectivamente (Tablas 2, 3 y 4). De acuerdo con Saeys et al. (2005), valores de R_c^2 y R_{cv}^2 entre 0,66 y 0,81 indican predicciones aproximadas, entre 0,82 y 0,90 son una buena predicción y superiores a 0,91 son considerados excelentes.

La Figura 2 muestra la RPD de todos los modelos desarrollados. Concretamente, los modelos desarrollados para la predicción de MS

Tabla 2. Tratamientos y estadísticos de calibración y predicción en reflectancia (NIR) para muestras en grano molido.

Table 2. Treatments and statistical calibration and prediction data in reflectance (NIR) for grinded samples.

Parámetros químicos	F	N	Calibración		Validación cruzada		Tratamiento
			Rc ²	SEC	Rcv ²	SECV	
Materia seca	4	0	0,98	0,215	0,98	0,252	Ninguno
Cenizas	5	0	0,93	0,136	0,91	0,174	SNV
Materia orgánica	4	0	0,98	0,185	0,97	0,241	D: 1-2-3; S: 0-0-3
Proteína bruta	9	0	0,98	0,247	0,95	0,412	S: 0-1-3
Fibra bruta	5	0	0,94	0,303	0,92	0,378	S: 0-1-3; MSC
Fibra neutro detergente	7	0	0,93	0,994	0,89	1,292	Ninguno
Fibra ácido detergente	5	0	0,95	0,349	0,89	0,511	D: 1-2-3; S: 0-0-3
Lignina ácido detergente	6	6	0,89	0,100	0,78	0,151	MSC; Normalización
Extracto etéreo	4	0	0,91	0,256	0,89	0,287	Ninguno
Almidón	6	0	0,92	1,804	0,88	2,368	Normalización

F: número de factores utilizados en el modelo; N: número de muestras omitidas; Rc²: coeficiente de determinación de calibración; SEC: error estándar de calibración; Rcv²: coeficiente de determinación de validación cruzada; SECV: error estándar de validación cruzada; Tratamientos: SNV: variable normal estándar; MSC: corrección del efecto multiplicativo de dispersión; D (a-b-c): Derivada, a: orden de la derivada, b: orden del polinomio, C: puntos de suavizado; S (a-b-c): Suavizado, a: orden de derivada, b: orden del polinomio, c: puntos de suavizado.

tuvieron RPD mayores de 5 y los modelos para la predicción de MO tuvieron RPD entre 4,5 y 6. En términos generales, los modelos desarrollados para la predicción de fibra bruta, FAD, LAD y EE tuvieron valores cercanos a 3, al igual que los modelos de predicción de las cenizas con reflectancia. El resto de los modelos tuvieron RPD superiores a 2. Valores de RPD mayores que 2,5 indican predicciones NIRS aceptables, mientras que los mayores de 3 ofrecen resultados óptimos (Saeys et al., 2005). Algunos autores determinaron que modelos con RPD superiores a 2,5 son adecuados para la estimación de la composición química de forrajes (Sinnaeve et al., 1994) y otros autores consideran que las calibraciones con RPD de 2 son adecuadas

para carne y la mayoría de productos agrícolas (Williams y Sobering, 1993; Mouazen et al., 2005; Prieto et al., 2009).

Los modelos de predicción de mayor calidad se desarrollaron para la materia seca y la materia orgánica (Tablas 2, 3 y 4, y Figura 2), ya que en los tres casos estudiados se obtuvieron R_{CV}² superiores a 0,97. El modelo más sencillo fue el de NIT con grano entero, ya que el número de factores incluido fue 4 y 5 para la materia seca y la orgánica respectivamente, sin necesidad de tratamientos espectrales y sin excluir ninguna muestra de la población. Los modelos de predicción de las cenizas desarrollados con NIR, tanto en grano molido como entero, fueron muy similares con 5 factores, ninguna muestra excluida y R_{CV}² supe-

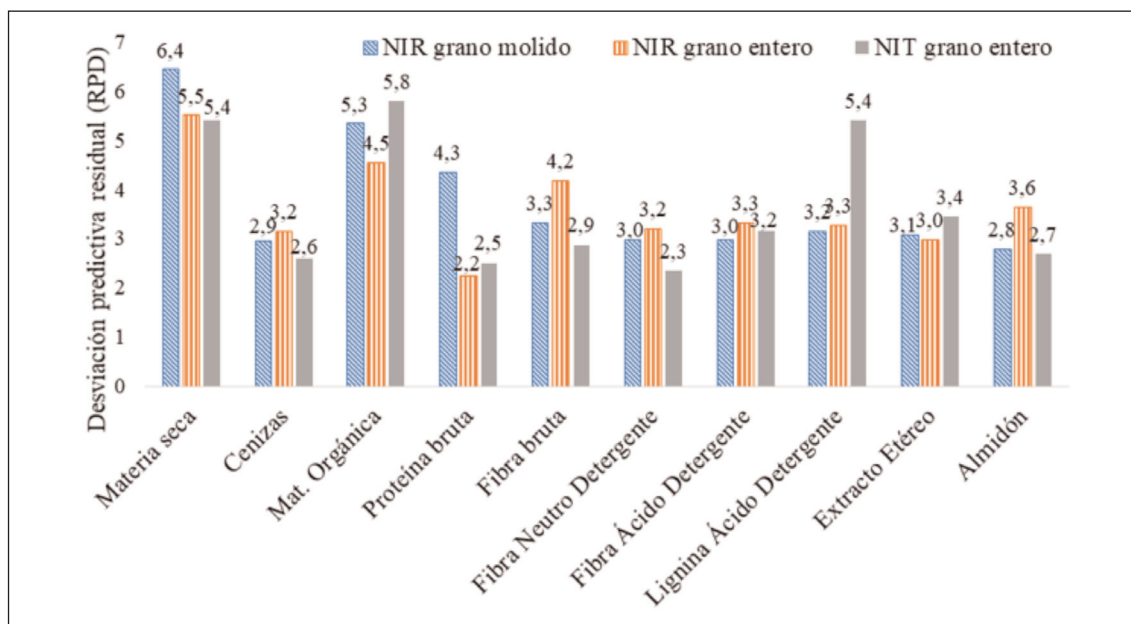


Figura 2. Desviación predictiva residual (RPD) de los modelos de predicción usando NIR (reflectancia) en mezcla de cereales molidos, NIR (reflectancia) en mezcla de cereales enteros y NIT (transmitancia) en mezcla de cereales enteros.

Los espectros NIR de las muestras de grano entero y de la mezcla de cereales molidos se recogieron con un espectrofotómetro NIRSystem 6500 en el rango espectral de 408 nm a 2.492 nm.

Los espectros NIR de las muestras de grano entero se recogieron con un espectrofotómetro FoodScan II en el rango espectral de 800 nm a 1.100 nm.

Figure 2. Values of residual prediction (RPD) of prediction models of NIR (reflectance) for ground mixed cereals, NIR (reflectance) for whole mixed cereals and NIT (transmittance) in whole mixed cereals.

riores a 90. El modelo desarrollado con NIT tuvo un R_{cv}^2 menor y un SECV algo superior. Es remarcable el menor RPD y R_{cv}^2 de los modelos de predicción de las cenizas, siendo que el valor de referencia se calcula por diferencia entre MS y MO, que obtuvieron mejores resultados. Se podría optar a no usar los modelos de predicción para cenizas y calcular este parámetro de manera indirecta con los modelos de predicción de MS y MO. La proteína bruta fue predicha mejor por el NIR con grano molido (Tabla 2) con un R_{cv}^2 de 0,95 y el menor SECV, mientras que el NIR con grano entero (Tabla 3) y el NIT (Tabla 4) tuvieron R_{cv}^2 menores y un SECV casi el doble.

Respecto a las fibras, el NIR con grano entero (Tabla 3) tuvo los mayores R_{cv}^2 excepto para la lignina, que se predijo mejor por el NIT teniendo el mayor R_{cv}^2 , sin ningún pretratamiento espectral, y además solo descartó una muestra mientras que el NIR detectaba 6 muestras por tener un T^2 mayor de 10 (Tabla 4). El mejor modelo para estimar el extracto etéreo fue el de NIT, con R_{cv}^2 de 0,92 aunque el número de factores necesarios fue 8, mientras que el NIR solo necesitó de 4. En cuanto al almidón, el mejor modelo se desarrolló con NIR con el grano entero, usando 6 factores con un R_{cv}^2 de 0,93 y un SECV mucho menor que los otros dos modelos propuestos.

Tabla 3. Tratamientos y estadísticos de calibración y predicción en reflectancia (NIR) para muestras en grano entero.

Table 3. Treatments and statistical calibration and prediction data in reflectance (NIR) for whole grain samples.

Parámetros químicos	F	N	Calibración		Validación cruzada		Tratamiento
			Rc ²	SEC	Rcv ²	SECV	
Materia seca	6	0	0,98	0,219	0,97	0,294	S: 0-1-3
Cenizas	5	0	0,93	0,134	0,90	0,162	Ninguno
Materia orgánica	7	0	0,97	0,217	0,95	0,284	Ninguno
Proteína bruta	7	0	0,91	0,551	0,81	0,803	MSC; Normalización
Fibra bruta	6	0	0,96	0,244	0,94	0,302	Normalización
Fibra neutro detergente	5	0	0,94	0,953	0,91	1,197	S: 0-1-3; Normalización
Fibra ácido detergente	6	0	0,95	0,330	0,92	0,459	S: 0-1-3; MSC
Lignina ácido detergente	2	6	0,80	0,135	0,79	0,146	S: 0-1-3
Extracto etéreo	4	0	0,92	0,254	0,89	0,297	Ninguno
Almidón	6	0	0,95	1,508	0,93	1,814	S: 0-1-3; MSC

F: número de factores utilizados en el modelo; N: número de muestras omitidas; Rc²: coeficiente de determinación de calibración; SEC: error estándar de calibración; Rcv²: coeficiente de determinación de validación cruzada; SECV: error estándar de validación cruzada; Tratamientos: SNV: variable normal estándar; MSC: corrección del efecto multiplicativo de dispersión; S (a-b-c): Suavizado, a: orden de derivada, b: orden del polinomio, c: puntos de suavizado.

Cozzolino (1998) encontró que los modelos para la predicción de la humedad en cebada y trigo desarrollados con los espectros de reflectancia tuvieron R² de 0,97 a 0,99 tanto en grano molido como entero, obteniendo el R² más bajo el modelo con grano de cebada entero. Por otro lado, Garnsworthy *et al.* (2000) obtuvieron R² de 0,88 en la estimación mediante reflectancia de la materia seca de trigo molido. Sohn *et al.* (2007) realizaron una comparación entre modelos de estimación para cebada molida con un espectrofotómetro de reflectancia de transformada de Fourier (NIR-FT) y un espectrofotómetro de reflectancia similar al del presente estudio. En general, estos autores obtuvieron modelos ligeramente mejores con NIR-FT y sin necesidad, en general, de correcciones como la MSC.

En el caso concreto de la humedad, para NIR-FT tuvieron un coeficiente de determinación del modelo propuesto (R²) de 0,89 inferior a los de nuestro estudio. Los tratamientos aplicados en este trabajo son similares a los utilizados por Díaz-Campos (2016), quien utilizó los tratamientos SNV y MSC para obtener los mejores valores de predicción. Cozzolino (1998) encontró que la estimación de la humedad en piensos compuestos tuvo R² menores. Cozzolino (2002), usando una mezcla de alimentos animales encontró una R² de 0,82. Samadi *et al.* (2018) obtuvieron modelos de predicción con R² = 0,86 para una mezcla de alimentos.

Garnsworthy *et al.* (2000) obtuvieron R² de 0,93 en la estimación mediante reflectancia de las cenizas de trigo molido. Sohn *et al.* (2007) utilizando NIR-FT en cebada molida tuvieron

Tabla 4. Tratamientos y estadísticos de calibración y predicción en transmitancia (NIT) para muestras en grano entero.

Table 4. Treatments and statistical calibration and prediction data in transmittance (NIT) for whole grain-samples.

Parámetros químicos	F	N	Calibración		Validación cruzada		Tratamiento
			Rc ²	SEC	Rcv ²	SECV	
Materia seca	4	0	0,99	0,300	0,99	0,303	Ninguno
Cenizas	5	0	0,88	0,179	0,86	0,198	S: 0-0-3
Materia orgánica	5	0	0,98	0,192	0,97	0,222	Ninguno
Proteína bruta	9	0	0,94	0,447	0,85	0,717	S: 0-0-3; MSC
Fibra bruta	10	0	0,97	0,205	0,88	0,439	S: 0-0-3; <i>Detrend</i>
Fibra neutro detergente	8	0	0,92	1,067	0,84	1,634	S: 0-0-3; Línea base
Fibra ácido detergente	7	0	0,94	0,347	0,89	0,483	<i>Detrend</i>
Lignina ácido detergente	7	1	0,97	0,067	0,96	0,088	Ninguno
Extracto etéreo	8	0	0,95	0,205	0,92	0,256	Ninguno
Almidón	9	0	0,94	1,67	0,87	2,44	Ninguno

F: número de factores utilizados en el modelo; N: número de muestras omitidas; Rc²: coeficiente de determinación de calibración; SEC: error estándar de calibración; Rcv²: coeficiente de determinación de validación cruzada; SECV: error estándar de validación cruzada; Tratamientos: SNV: variable normal estándar; MSC: corrección del efecto multiplicativo de dispersión; S (a-b-c): Suavizado, a: orden de derivada, b: orden del polinomio, c: puntos de suavizado.

un R² de 0,84 inferior a los del presente trabajo. En el estudio llevado a cabo por Manley et al. (2013) se hizo una comparativa entre el análisis en grano entero y molido, ocurriendo en el primer caso lo mismo que aquí, generando un modelo de predicción poco fiable con valores de R_{cv}² mayores de 0,60 y RPD menores de 2. Por su parte, Sohn et al. (2008), un año después de haber analizado la cebada molida, compararon tres equipos NIR para cebada en grano entero donde, en el caso del NIRSystem 6500, obtuvieron resultados aceptables para la determinación de este parámetro, con valor R² de calibración de 0,81 y RPD igual a 2,33. En cuanto al maíz, Yang et al. (2011) mostraron valores de RPD mayores de 3 en la determinación de este parámetro, debido a la amplia variabilidad de datos de re-

ferencia. Los resultados deficientes en trigo molido para este parámetro, son similares a los encontrados por Manley et al. (2013) que, en un estudio con triticale los estadísticos R_c² y R_{cv}² fueron de 0,72 y 0,65, respectivamente, con un valor de RPD de 1,70. En contraposición, resultados satisfactorios para este parámetro en trigo fueron los mostrados por Garnsworthy et al. (2000), con un R_c² de 0,97 y un valor RPD de 4,06. Por su parte, Sohn et al. (2007) encontraron valores aceptables de predicción para cenizas en cebada molida en un trabajo donde se analizó dicho componente con dos equipos NIR distintos. En el caso del maíz, los estadísticos desarrollados en el presente estudio guardan similitud en la calibración con los reportados obtenidos por Vásquez et al. (2004). Sin embargo, Cozzo-

lino (1998) encontró valores de R^2 de 0,70 para la estimación de cenizas en piensos compuestos usando reflectancia, valores muy inferiores a los encontrados en nuestro trabajo para cualquiera de los modelos. Cozzolino (2002), usando una mezcla de alimentos animales, encontró una R^2 de 0,92. Estos resultados deficientes de algunos autores pueden deberse a que los minerales no absorben radiación en el infrarrojo cercano si se encuentran en forma iónica o sales; sin embargo, sí se podría llegar a modelos de predicción fiables si dichos minerales estuviesen en las muestras en forma de quelatos o de complejos orgánicos (Shenk y Westhaus, 1995).

Garnsworthy et al. (2000) obtuvieron un R^2 de 0,88 en la estimación mediante reflectancia de la proteína bruta del trigo molido con el mismo equipo que se empleó en este trabajo. Sohn et al. (2007), usando cebada molida, obtuvieron un R^2 de 0,96. Owens et al. (2009) y Vásquez et al. (2004) encontraron coeficientes de determinación en la estimación del nitrógeno en trigo y maíz, respectivamente, superiores a 0,90 usando un espectrofotómetro de reflectancia FOSS Nirsystem 6500. La determinación del contenido proteico ha sido ampliamente estudiada en transmitancia para granos enteros de trigo por otros autores (Delwiche, 1995; Pedersen et al., 2002; Nielsen, 2003), en cuyos trabajos lograron obtener modelos de predicción fiables para este cereal. Dantes (2020) usó el infrarrojo en imágenes hiperespectrales para predecir la proteína de la soja con un R^2 de 0,89. Analizando el contenido en proteína bruta de pienso compuesto con reflectancia, Cozzolino (1998) encontró un R^2 de 0,95, y Cozzolino (2002), usando una mezcla de alimentos animales encontró un R^2 de 0,92 a 0,98.

Los resultados desarrollados por Owens et al. (2009) para la estimación de fibra bruta en el caso del trigo fueron similares, encontrando una R_c^2 de 0,67 y R_{cv}^2 menores o iguales de 0,50. En cuanto al maíz, Vásquez et al. (2004) detectaron valores óptimos de calibración

en el análisis del valor nutricional de los granos de maíz molidos, pero en el mismo trabajo se mostró una R_{cv}^2 de 0,33 para la FND. Por último, valores aceptables con un coeficiente de determinación en torno a 0,60 se han encontrado en la bibliografía para la FND de la cebada, en un estudio llevado a cabo por Harasymow y Tarr (2019). Yang et al. (2011) obtuvieron mejores resultados, tanto de calibración como de validación cruzada, a los obtenidos en el presente trabajo. Cozzolino (1998) encontró valores de R^2 de 0,98 para la estimación de fibra bruta en piensos compuestos usando reflectancia. Cozzolino (2002), usando una mezcla de alimentos animales, encontró una R^2 de 0,93 para la estimación de fibra ácido detergente y de 0,80 para la de fibra neutro detergente. Samadi et al. (2018) consiguieron modelos de predicción de fibra neutro detergente y fibra ácido detergente con R^2 de 0,80 y 0,85, respectivamente.

En cuanto al extracto etéreo, Garnsworthy et al. (2000) obtuvieron R^2 de 0,65 en la estimación de trigo molido. Sin embargo, Vásquez et al. (2004) encontraron valores de 0,97 para la estimación del porcentaje de extracto etéreo en maíz. Sohn et al. (2007) encontraron mayores coeficientes de determinación usando NIR-FT que usando un NIR dispersivo en cebada. Valores similares de predicción de EE para cereales sin moler también han sido desarrollados por diversos autores como Owens et al. (2009) en trigo, Sohn et al. (2008) en cebada, con valor RPD de 2,92, y Yang et al. (2011) en maíz. Resultados poco satisfactorios en la determinación de grasa en maíz con un NIR de transmitancia fueron obtenidos por Cogdill et al. (2004), en contraposición a los proporcionados por Orman y Schumann (1992). Dantes (2020) usó el infrarrojo en imágenes hiperespectrales para predecir la grasa de la soja con un R^2 de 0,89. Cozzolino (1998) encontró valores de R^2 de 0,95 para su estimación en piensos compuestos usando reflectancia, superiores al rango de R^2 de 0,89 a 0,92 encontrado en nuestro estudio.

El contenido en almidón del trigo molido fue estimado por Garnsworthy *et al.* (2000) con R^2 de 0,74 mediante la técnica de reflectancia. Asimismo, en el caso del estudio de Owens *et al.* (2009), donde también se obtuvo un valor aceptable de calibración, el valor RPD de 2,66 mostró un modelo de predicción consistente para este parámetro. Por otro lado, en investigaciones como la de Sohn *et al.* (2007), se observaron resultados aceptables en la predicción de almidón en cebada. Por último, a pesar de que no se logró un modelo de predicción fiable para este parámetro en maíz molido, sí hay artículos en la literatura, como los de Paulsen *et al.* (2003) y Vásquez *et al.* (2004), donde se obtuvieron predicciones aceptables para dicha materia prima, debido a la presencia de un gran número de datos de referencia y por tanto una mayor variabilidad. Hasta donde conocemos, no existen trabajos que hablen de desarrollo de modelos de predicción en transmitancia para parámetros como las fracciones la fibra o almidón. En este caso, no se realizó de forma análoga un análisis con el mismo equipo para muestras molidas. Según algunos autores (Williams y Sobering, 1993), no es conveniente el uso del modo de transmitancia para muestras molidas, harinas, etc.

A pesar de que los espectrofotómetros son muy diferentes (reflectancia vs. transmitancia) y utilizan regiones espectrales muy distintas, cuando se utilizó el grano entero tuvieron resultados similares en el caso de la mezcla de cereales. Sin embargo, y a pesar de que el espectrofotómetro de reflectancia utiliza el espectro visible y espectro del infrarrojo cercano, probablemente debido a su menor resolución (recoge valores cada 2 nm) obtuvo peores resultados, en general, que el espectrofotómetro de transmitancia cuando se utilizan los cereales por separado, usando este último una región reducida del infrarrojo cercano, pero con una resolución mayor (recoge valores cada 0,5 nm).

Conclusiones

Las tres combinaciones de sistemas de infrarrojo con la presentación de la muestra presentaron modelos de predicción útiles y relativamente similares, aunque cada una de ellas destacó en distintas variables, debido a que los dos distintos espectrofotómetros testados utilizan distintas regiones espectrales, con distintas resoluciones.

Teniendo en cuenta el valor de RPD, la combinación de reflectancia y grano molido fue la que desarrolló dos de los mejores modelos (materia seca con RPD = 6,4 y proteína bruta con RPD = 4,3), mientras el uso de reflectancia con grano entero desarrolló cinco de los mejores modelos (cenizas con RPD = 3,2; fibra bruta con RPD = 4,2; fibra neutro detergente con RPD = 3,2; fibra ácido detergente con RPD = 3,3 y almidón con RPD = 3,6) y la transmitancia con grano entero desarrolló tres de los mejores modelos (materia orgánica con RPD = 5,8; lignina ácido detergente = 5,4 y extracto etéreo = 3,4). La transmitancia con grano entero, en general, usó modelos con más factores, pero requirió de menos pretratamiento espectral. La opción de reflectancia con grano entero se muestra preferible a la de grano molido por el ahorro de trabajo y la rapidez debida a no tener que moler la muestra. También es el más indicado para la estimación del contenido de fibras. La reflectancia usando el grano molido destacó por la predicción de la proteína bruta ($R_{cv}^2 = 0,95$), teniendo calibraciones de calidad no muy inferiores a las otras combinaciones en materia seca ($R_{cv}^2 = 0,98$), cenizas ($R_{cv}^2 = 0,91$) y materia orgánica ($R_{cv}^2 = 0,97$). Tanto la reflectancia como la transmitancia usando grano entero dan buenos modelos para la materia seca ($R_{cv}^2 = 0,97-0,99$), pero la reflectancia con grano entero lo hizo en la estimación de fibras ($R_{cv}^2 = 0,91-0,94$) y almidón ($R_{cv}^2 = 0,93$), mientras que la transmitancia destacó en la estimación del extracto etéreo ($R_{cv}^2 = 0,92$) y la materia orgánica ($R_{cv}^2 = 0,99$).

No obstante, estos resultados se pueden considerar preliminares por usar un reducido número de muestras, aunque son indicativos de las posibilidades y limitaciones del uso de reflectancia y transmitancia en función del parámetro químico a estimar y el estado de molienda de la muestra. El aumento del número de muestras utilizado daría lugar a modelos de predicción más robustos y fiables, de manera que con un único espectrofotómetro se pudiera estimar de manera precisa todas las variables estudiadas.

Agradecimientos

Nuestro especial agradecimiento a todas las empresas que nos han cedido desinteresadamente las muestras de cereales, germen de este trabajo (Agropienso, Agroveco, Agrovilanova, Alendi, Arpisa, ASN, Bynsa, Cargill, Cooperativa Monegros, COPIISO, Inga Food, Premier pigs, Uvesa y Vall Companys), así como al personal del laboratorio, tanto de la Unidad de Nutrición Animal de la Facultad de Veterinaria de Zaragoza (Jesús Artajona y Belén Hernando), como del Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (Ángeles Legua), por todo el apoyo prestado.

Referencias bibliográficas

- AOAC (2000). Official methods of analysis of Association of Official Analytical Chemist, 17th ed., W. Horwitz, G. Latimer, Arlington, VA, USA.
- AOCS (2005). Approved procedure Am 5-04, Rapid determination of oil/fat utilizing high temperature solvent extraction. AOCS Press. Urbana, EEUU.
- Ben Gera I, Norris KH (1968). Direct spectrophotometric determination of fat and moisture in meat products. *Journal of Food Science* 33(1): 64-67. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1968.tb00885.x>.
- Cen H, He Y (2007). Theory and application of near infrared reflectance spectroscopy in determination of food quality. *Trends in Food Science & Technology* 18(2): 72-83. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2006.09.003>.
- CESFAC (2007). Guía para el desarrollo de normas de higienización de los piensos. Fundación CESFAC, Madrid, España, 140 pp.
- Cogdill RP, Hurburgh C, Rippke GR, Bajic SJ, Jones RW, McClelland JF, Jensen TC, Liu J (2004). Single-kernel maize analysis by near-infrared hyperspectral imaging. *Transactions of the ASAE* 47(1): 311-320. <https://doi.org/10.13031/2013.15856>.
- Cozzolino D (1998). Aplicación de la tecnología del NIRS para el análisis de calidad de los productos agrícolas. *Serie Técnica INIA* 97: 16.
- Cozzolino D (2002). Uso de la espectroscopía de reflectancia en el infrarrojo cercano (NIRS) en el análisis de alimentos para animales. *Agrociencia* 6(2): 25-32.
- Dantes PTG (2020). NIR hyperspectral imaging for animal feed ingredient applications. Tesis doctoral. Iowa State University, Ames, Iowa.
- Delwiche SR (1995). Single wheat kernel analysis by near-infrared transmittance: Protein content. *Cereal Chemistry* 72(1): 11-16.
- Díaz-Campos FJ (2016). Utilización de la técnica NIRS para evaluar la composición química de subproductos vegetales destinados en alimentación animal. Trabajo Fin de Grado, Universidad Miguel Hernández de Elche, Elche, España.
- FEDNA (1999). Normas FEDNA para la formulación de piensos compuestos. FEDNA, Madrid, España.
- Flores KU (2009). Determinación no destructiva de parámetros de calidad de frutas y hortalizas mediante espectroscopía de reflectancia en el infrarrojo cercano. Tesis Doctoral, Universidad de Córdoba, Servicio de Publicaciones, Córdoba, España.
- Garnsworthy PC, Wiseman J, Fegeros K (2000). Prediction of chemical, nutritive and agronomic characteristics of wheat by near infrared spectroscopy. *The Journal of Agricultural Science* 135(4): 409-417. <https://doi.org/10.1017/S0021859699008382>.

- Harasymow S, Tarr A (2019). Predicting barley neutral detergent fibre (NDF) by near infrared spectroscopy and its application in malting barley quality selection. 9th Australian Barley Technical Symposium. 10-12 septiembre, Melbourne, Australia.
- Herschel W (1800). XIII. Investigation of the powers of the prismatic colours to heat and illuminate objects; with remarks, that prove the different refrangibility of radiant heat. To which is added, an inquiry into the method of viewing the sun advantageously, with telescopes of large apertures and high magnifying powers. *Philosophical Transactions* (90): 255-283. <https://doi.org/10.1098/rstl.1800.0014>.
- Manley M, McGoverin CM, Snyders F, Muller N, Botes WC, Fox GP (2013). Prediction of triticale grain quality properties, based on both chemical and indirectly measured reference methods, using near infrared spectroscopy. *Cereal Chemistry* 90(6): 540-545. <https://doi.org/10.1094/CCEM-02-13-0021-R>.
- Meng Q, Murray SC, Mahan A, Collison A, Yang L, Awika J (2015). Rapid estimation of phenolic content in colored maize by near infrared reflectance spectroscopy and its use in breeding. *Crop Science* 55(5): 2234-2243. <https://doi.org/10.2135/cropsci2014.11.0767>.
- Meurens M, Yan SH (2006). Applications of vibrational spectroscopy in brewing. En: *Handbook of Vibrational Spectroscopy* (Ed. Chalmers JM y Griffiths PR), pp. Eds., John Wiley & Sons. Chichester, UK. <https://doi.org/10.1002/0470027320.s6502>.
- Montes J, Paul C, Kusterer B, Melchinger A (2006). Near infrared spectroscopy to measure maize grain composition on plot combine harvesters: evaluation of calibration techniques, mathematical transformations and scatter corrections. *Journal of Near Infrared Spectroscopy* 14(6): 387-394.
- Mouazen AM, Saeys W, Xing J, De Baerdemaeker J, Ramon H (2005). Near infrared spectroscopy for agricultural materials: an instrument comparison. *Journal of Near Infrared Spectroscopy* 13(2): 87.
- Nielsen BK (2003). Organic beef production with emphasis on welfare, health and product quality. 54th Annual Meeting EAAP, 31 agosto a 3 de septiembre, Roma, Italia.
- Orman BA, Schumann RA (1992). Nondestructive single-kernel oil determination of maize by near-infrared transmission spectroscopy. *Journal of the American Oil Chemists' Society* 69(10): 1036-1038. <https://doi.org/10.1007/BF02541073>.
- Osborne BG (2000). Near-infrared spectroscopy in food analysis. En: *Encyclopedia of Analytical Chemistry* (Ed. R.A. Meyers), pp. 1-14. John Wiley & Sons Ltd. Chichester, UK.
- Owens B, McCann M, McCracken KJ, Park R (2009). Prediction of wheat chemical and physical characteristics and nutritive value by near-infrared reflectance spectroscopy. *British Poultry Science* 50(1): 103-122. <https://doi.org/10.1080/00071660802635347>.
- Pasquini C (2003). Near Infrared Spectroscopy: fundamentals, practical aspects and analytical applications. *Journal of the Brazilian Chemical Society* 14: 198-219. <https://doi.org/10.1590/S0103-50532003000200006>.
- Paulsen MR, Pordesimo LO, Singh M, Mbuvi SW, Ye B (2003). Maize starch yield calibrations with near infrared reflectance. *Biosystems engineering* 85(4): 455-460. [https://doi.org/10.1016/S1537-5110\(03\)00082-5](https://doi.org/10.1016/S1537-5110(03)00082-5).
- Pedersen DK, Martens H, Nielsen JP, Engelsen SB (2002). Near-infrared absorption and scattering separated by extended inverted signal correction (EISC): analysis of near-infrared transmittance spectra of single wheat seeds. *Applied Spectroscopy* 56(9): 1206-1214.
- Peguero A (2010). La espectroscopia NIR en la determinación de propiedades físicas y composición química de intermedios de producción y productos acabados. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias, Universitat Autònoma de Barcelona. Barcelona, España.
- Prieto N, Roehe R, Lavín P, Batten G, Andrés S (2009). Application of near infrared reflectance spectroscopy to predict meat and meat products quality: A review. *Meat Science* 83(2): 175-186. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2009.04.016>.

- Ripoll G, Lobón S, Joy M (2018). Use of visible and near infrared reflectance spectra to predict lipid peroxidation of light lamb meat and discriminate dam's feeding systems. *Meat Science* 143: 24-29. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.04.006>.
- Saeyens W, Mouazen AM, Ramon H, 2005. Potential for onsite and online analysis of pig manure using visible and near infrared reflectance spectroscopy. *Biosystems engineering* 91(4): 393-402. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2005.05.001>.
- Samadi S, Wajizah S, Munawar AA (2018). Rapid and simultaneous determination of feed nutritive values by means of near infrared spectroscopy. *Tropical Animal Science Journal* 41(2): 121-127. <https://doi.org/10.5398/tasj.2018.41.2.121>.
- Samadi, Wajizah S, Munawar AA (2020). Near infrared spectroscopy (NIRS) data analysis for a rapid and simultaneous prediction of feed nutritive parameters. *Data in Brief* 29: 105211. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2020.105211>.
- Shenk J, Westhaus M (1995). Analysis of agriculture and food products by near infrared reflectance spectroscopy. Monograph NIR systems. Infra-soft International, NIR Systems. Inc., Silver Spring, USA. 116 pp.
- Sinnaeve G, Dardenne P, Agneessens R, Biston R (1994). The use of near infrared spectroscopy for the analysis of fresh grass silage. *Journal of Near Infrared Spectroscopy* 2: 79-84.
- Sohn M, Himmelsbach DS, Barton FE, Griffey CA, Brooks W, Hicks KB (2007). Near-infrared analysis of ground barley for use as a feedstock for fuel ethanol production. *Applied Spectroscopy* 61(11): 1178-1183. <https://doi.org/10.1366%2F000370207782597148>.
- Sohn M, Himmelsbach DS, Barton FE, Griffey CA, Brooks W, Hicks KB (2008). Near-infrared analysis of whole kernel barley: Comparison of three spectrometers. *Applied Spectroscopy* 62(4): 427-432. <https://doi.org/10.1366%2F000370208784046768>.
- Van Soest PJ, Robertson JB, Lewis BA (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science* 74: 3583-3597. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78551-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2).
- Vásquez DR, Abadía B, Arreaza LC (2004). Aplicación de la Espectroscopía de Reflectancia en el Infrarrojo Cercano (NIRS) para la caracterización nutricional del pasto Guinea y del grano de maíz. *Ciencia & Tecnología Agropecuaria* 5(1): 49-55.
- Williams PC (1975). Application of near infrared reflectance spectroscopy to analysis of cereal grains and oilseeds. *Cereal Chemistry* 52: 561-576.
- Williams PC, Sobering D (1993). Comparison of commercial near infrared transmittance and reflectance instruments for analysis of whole grains and seeds. *Journal of Near Infrared Spectroscopy* 1(1): 25-32. <https://doi.org/10.1255%2Fjnirs.3>.
- Yang F, Xie C, He D (2011). Analysis and estimate of corn quality by near infrared reflectance (NIR) spectroscopy. 2011 Symposium on Photonics and Optoelectronics (SOPO), 16-18 mayo, Wuhan, China. pp. 1-4. <https://doi.org/10.1109/SOPO.2011.5780611>.
- Zeng X-Y, Zhao W-Q, Hu X-Z, Li X-P, Qiao Y-Y, Ma Z, Zhang Q-A (2019). Determination of polyphenols in oats by near-infrared spectroscopy (NIRS) and two-dimensional correlation spectroscopy. *Analytical Letters* 52(6): 962-971.

(Aceptado para publicación el 13 de enero de 2022)

Influencia del donante de semen en la recongelación de espermatozoides bovinos de raza Murciano Levantina

Laura Almela-Veracruz^{1,*}, Begoña Peinado-Ramón¹, Salvador Ruiz-López² y Ángel Poto-Remacha¹

¹ Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Medioambiental (IMIDA). C/ Mayor s/n. 30150 La Alberca, Murcia, España

² Departamento de Fisiología. Facultad de Veterinaria. Universidad de Murcia. Campus de Espinardo, Murcia, España

Resumen

El Banco de Germoplasma de la raza bovina Murciano Levantina (ML) consta de 7775 dosis seminales, donde ninguna de éstas ha sufrido tratamiento de sexado espermático. El objetivo de este trabajo es conocer la influencia del semental ML sobre el proceso de recongelación seminal. Para este estudio se emplearon como donantes de semen, seis toros ML, raza declarada amenazada, donde las dosis seminales obtenidas fueron congeladas y descongeladas por una metodología convencional; y seguidamente recongeladas y valoradas mediante estudios de fertilidad *in vitro* e *in vivo* (inseminación artificial-IA). Los resultados obtenidos nos permiten estudiar la fertilidad *in vitro* con unos resultados de parámetros seminales considerados suficientes. Los resultados obtenidos tras la IA de siete vacas con semen recongelado del toro que mejores resultados de fertilidad *in vitro* presentó fue del 71,43 % cuando se realizó el diagnóstico de gestación a los 45 días, y del 57,14 % cuando se realizó el diagnóstico de gestación a los 60 días. La variabilidad de los valores promedio de los parámetros seminales estudiados *in vitro* indica diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los seis toros del estudio. El estudio de la calidad seminal tras la recongelación, así como la utilización de la IA con semen recongelado podría ser utilizado para conocer la fertilidad del semental, por tanto, la recongelación espermática podría utilizarse eficazmente para la conservación y recuperación de razas amenazadas como la ML.

Palabras clave: Toro Murciano Levantino, doble congelación, fertilidad *in vitro*, raza amenazada, banco de germoplasma.

Influence of the semen donor on the refreezing of Murciano levantino bovine sperm

Abstract

The Germplasm Bank of the Murciano Levantina (ML) bovine breed contains seven thousand, seven hundred and seventy-five seminal doses, none of which have undergone sperm sexing treatment. The objective of this work is to know the influence of the ML bull on the seminal refreezing process. For this study, six ML bulls, declared threatened breed, were used as semen donors, where the seminal doses obtained were frozen and thawed using a conventional method; then refrozen and assessed by *in vitro* and *in vivo* fertility studies (artificial insemination-AI). The results obtained allow us to study fertility *in vitro*

* Autor para correspondencia: laura.almela@carm.es

with results of seminal parameters considered sufficient. The results obtained after the AI of seven cows with refrozen semen from the bull that presented better fertility results *in vitro* was 71.43 % with pregnancy diagnosis at 45 days, and 57.14 % when the diagnosis was made at 60 days. The variability of the average values of the seminal parameters studied *in vitro* indicates significant differences ($p < 0.05$) among the six bulls in the study. The study of semen quality after refreezing, as well as the use of AI with refrozen semen could be used to determine the fertility of the bull, therefore, the seminal refreezing process could be used effectively for the conservation and recovery of threatened breeds such as ML.

Keywords: Murciano Levantino bull, double freeze, *in vitro* fertility, threatened breed, germplasm bank.

Introducción

La conservación de las razas animales es necesaria por múltiples razones, entre ellas, para frenar la pérdida de material genético utilizado habitualmente en tiempos pasados (Almela, 2006).

La raza bovina Murciano Levantina (ML), también denominada "Levantina" o "Huertana", es una raza originaria de la Región de Murcia cuya aptitud principal fue la de animal de tracción, y por tanto, destinada a la realización de trabajo tanto en el ámbito rural como en el urbano. La decadencia de esta raza comenzó a mediados del siglo XX, debido, principalmente, a la merma de utilidad como consecuencia de la introducción de la maquinaria agrícola y de tracción, lo que condujo a una acusada disminución del número de ejemplares que la componían (Almela, 2006). Actualmente, la vaca ML está declarada "raza amenazada" según el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA, 1985), encontrándose el censo actual en 22 animales totales.

En el año 1984 se creó, como medida de mantenimiento, conservación y recuperación de la raza, un Banco de Germoplasma para el almacenamiento de dosis seminales en el antiguo Centro de Selección y Reproducción Animal de Guadalupe-Murcia (CENSURA). En la actualidad, éste se encuentra en el Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Alimentario (IMIDA), manteniéndose mediante proyectos de investigación dedica-

dos a la conservación de recursos zoogenéticos, donde se tiene criopreservado el semen de quince toros de la raza y embriones para su futura recuperación en caso de ser necesario (Almela, 2014).

Estos proyectos permiten una conservación *in situ* (con la participación de los criadores asociados- GANACULTURA) y *ex situ* (criopreservación espermática y puesta a punto de diversas técnicas, entre ellas, la fecundación *in vitro*) (Almela, 2006).

Dentro de la conservación *ex situ*, la recongelación espermática podría mejorar las probabilidades de fertilización cuando el semen esté criopreservado en grandes cantidades, en suministros limitados, se trate de un semen muy valioso o haya sido descongelado por equivocación (Owiny *et al.*, 2010). Así, uno de los objetivos de la recongelación sería el de sexar los espermatozoides entre ciclos de congelación-descongelación (Vázquez *et al.*, 2009). Además, la recongelación espermática también podría solucionar los problemas derivados del transporte a grandes distancias, tales como el tiempo de manejo de las muestras o la temperatura de almacenamiento (Álvarez-Rodríguez, 2012).

Con todo esto, el objetivo del presente trabajo sería el de conocer si existe algún tipo de influencia de los sementales utilizados en este estudio sobre la recongelación espermática, lo que permitiría aplicar esta técnica a esta raza declarada amenazada en un futuro, así como a otras en su misma situación.

Material y métodos

Animales utilizados

Para la realización de este trabajo se utilizaron seis toros de la raza bovina Murciano Levantina en diferentes estados de pureza racial (Figura 1), e inscritos dentro del Libro Ge-

nealógico de la raza. Los toros ML2, ML8, ML9 y ML11 se encontraban entre los 2 y 4 años de edad, mientras que los toros ML3 y ML5 superaban los 4 años. El número de ejemplares elegido para el estudio es representativo y suficiente para la realización del mismo, dado el escaso número total de animales existente de esta raza amenazada.



Figura 1. Toro de la raza Murciano Levantina.
Figure 1. Murciano Levantina breed bull.

Recolección y procesamiento del semen

Para la extracción seminal se utilizó un electroeyaculador (*ElectroJac 5*, Ideal® Instruments). Los eyaculados se recogieron con un colector de semen. A continuación, el semen se depositó en un tubo de recogida atemperado para evitar cambios bruscos de temperatura que pudieran mermar la calidad del eyaculado. Para una primera selección de los eyaculados, se midieron el color y el olor de forma subjetiva descartando aquellos eyaculados no acordes con lo esperado, así como la evaluación de la motilidad masal de forma subjetiva bajo microscopio óptico (Leica, DM-2000) con platina térmica y a 100X para determinar el movimiento en masa de los espermatozoides según Vera Muñoz (2003). Se

midieron los parámetros: volumen del eyaculado y concentración espermática; también se analizaron: motilidad individual y porcentaje de espermatozoides vivos, utilizándose para el estudio sólo aquellos eyaculados que presentaron como mínimo un 50 % de espermatozoides, con movimiento rectilíneo progresivo por encima de 3. El volumen fue medido en tubo aforado y la concentración con fotómetro *Spermacue®* (*Minitübe*, Alemania), a partir de los cuales se calculó el número de dosis seminales a preparar, así como la cantidad de diluyente (diluyentes I y II) a añadir siguiendo el protocolo de congelación descrito por Watson (1976) y el MAPA (1985) y ajustando la concentración de cada dosis seminal de 0,5 ml a 40×10^6 de espermatozoides totales.

Una vez evaluado el semen, las pajuelas de 0,5 ml (utilizadas para envasar el material seminal) se identificaron según Real Decreto 841/2011 (BOE, 2011). El semen junto al diluyente fue envasado mediante sistema semi-automático y sellado con bolas de acero (*Minitübe*, Alemania). La criopreservación se realizó siguiendo el protocolo de congelación descrito por Watson (1976) y el MAPA (1985), utilizando un biocongelador programable "*Computer Controlled Rate Freezer 14S SY-LAB. Icecube*" (*Minitübe*, Alemania), siguiendo la curva de temperaturas que se describe a continuación: temperatura de inicio a 4 °C; primera rampa de la temperatura de refrigeración de 4 °C hasta -6 °C a una velocidad de enfriamiento de -1 °C/min, en 10 min; mantenimiento de las dosis seminales a -6 °C durante 1 min; de -6 °C hasta -196 °C a una velocidad de -47,50 °C/min, en 4 min. Finalmente, las pajuelas se sumergieron y almacenaron en contenedores de nitrógeno líquido, y se mantuvieron criopreservadas durante más de 10 años.

Para realizar el estudio espermático de las dosis seminales congeladas, éstas se introdujeron en baño termostático a 56 °C durante 12 s (Thilmant, 1997) para la descongelación seminal, y a continuación se mantuvieron en baño termostático a 37 °C en una dilución 1:2 de semen en medio Tyrode (Rigby et al., 2001).

La recongelación espermática se realizó como sigue: se descongelaron 20 pajuelas por semental de 0,5 ml (5 pajuelas para cada uno de los 4 replicados). Las pajuelas se mantuvieron, una vez descongeladas y sin proceder a la apertura de las mismas, a 20 °C durante 30 min seguido de otros 30 min a 4 °C. A continuación, fueron recongeladas en un biocongelador programable siguiendo la misma curva de temperatura utilizada para la primera congelación. Finalmente, todas las pajuelas se sumergieron y almacenaron en contenedores de nitrógeno líquido a -196 °C.

Evaluación del semen congelado y recongelado

Para evaluar la calidad seminal de las pajuelas congeladas y recongeladas, se midieron y compararon parámetros como la motilidad individual, porcentaje de espermatozoides vivos, porcentaje de espermatozoides con membrana íntegra [eosina-nigrosina (Tartaglione y Ritta, 2004)] y porcentaje de espermatozoides con acrosoma íntegro [lectina PNA (*Peanut Agglutinin*)].

La motilidad individual se analizó mediante escala subjetiva (0-5) según movimiento espermático y velocidad (Bonadonna, 1962); el porcentaje de espermatozoides vivos también de forma subjetiva (0-100 %), ambos bajo microscopio óptico de campo claro (Leica, DM-200) y platina térmica a 100X. Para ello, se realizó una dilución 1:2 de semen en medio Tyrode.

Aquellos espermatozoides que mostraron una tinción color rojo o rosado en sus membranas por la acción de la eosina-nigrosina, presentaron membrana dañada. Por el contrario, aquellos espermatozoides que no presentaron ninguna alteración en su membrana, no mostraron color diferente al original. Para realizar esta tinción, se realizaron frotis observados bajo microscopio óptico de campo claro (Leica, DM-2000) a 40X, contando un total de 300 espermatozoides por preparado.

La integridad del acrosoma se estudió utilizando un microscopio de epifluorescencia (*Optika B-600 TiFL*) con filtro azul (450-480 nm de longitud de onda de excitación) y filtro verde (510-550 nm de longitud de onda de excitación), contando 200 espermatozoides/muestra y realizando una clasificación (Gardón et al., 2001) según la cual: los espermatozoides que no presentaron coloración estaban intactos y los acrosomas que presentaron coloración verde, dañados.

Análisis estadístico

Para averiguar si existían diferencias significativas entre los machos utilizados en el estudio con respecto a las variables analizadas se realizó un análisis estadístico utilizando el programa STATGRAPHICS Centurión XVI.II® para comparar cada macho con las variables seleccionadas, tanto para semen congelado como recongelado. Se utilizó la prueba-F en la tabla ANOVA para determinar si había diferencias significativas entre las medias, el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher (Prueba de Múltiples Rangos) para determinar qué medias eran significativamente diferentes de otras y para aquellas variables que indicaron algo de no normalidad significativa se utilizó la prueba de Kruskal-Wallis para comparar las medias seguida de la prueba de Shapiro-Wilk.

Estudio de la fertilidad del semen recongelado mediante IA

Para conocer la capacidad fecundante de cada uno de los toros utilizados en este estudio, se inseminaron 7 novillas de 15 meses de edad de la raza Frisona ubicadas en una explotación de Murcia (España). Como paso previo, se realizó la sincronización e inducción a la ovulación de las hembras del estudio mediante dispositivo intravaginal impregnado en progesterona (CIDR®, Zoetis, Francia). Una semana después, se les aplicó una dosis de PGF2 α (*Dinoprost; Dinolytic*®, Zoetis, Francia), y un día más tarde, retirada de los dispositivos vaginales. Tras 48 h, las novillas se inseminaron dos veces, con intervalo de 12 h mediante catéter de IA para bovino (*QuickLock Classic, Minitübe*, Alemania). Se utilizó el semen recongelado del toro ML3, ya que fue el toro que mejor calidad seminal presentó respecto al resto según los resultados de calidad seminal.

Las dosis seminales utilizadas para la IA fueron transportadas a la explotación en conte-

nedor de nitrógeno líquido. La descongelación se realizó a 37 °C durante 1 min. Cada novilla fue inseminada con 40 x 10⁶ espermatozoides/pajuela de 0'5 ml.

Para comprobar la efectividad de la IA, se realizó el diagnóstico de gestación a los 45 días y 60 días mediante ultrasonografía transrectal con ecógrafo IMAGO (ECM, Francia) dotado de sonda lineal de 5 Mhz a 7'5 Mhz. Aquellas hembras a las que se les detectó vesícula embrionaria y presencia del embrión fueron calificadas como gestantes.

Resultados

Motilidad individual

Los resultados de los parámetros estudiados muestran para la motilidad individual (Figura 2), y comparando el semen congelado con el recongelado, una disminución de este parámetro tras la segunda congelación para todos los sementales estudiados, excepto para ML8 que mantuvo constante el valor, siendo los mejores datos obtenidos los de los sementales ML3, ML5, ML8 y ML9.

Los valores promedio, máximo, mínimo y estadísticos en semen congelado y recongelado se muestran en la Tabla 1. Las diferencias significativas entre semen congelado y recongelado para esta variable en cada uno de los sementales se muestran en la Figura 2, donde excepto los sementales ML3 y ML8, el resto presenta diferencias estadísticamente significativas.

Porcentaje de espermatozoides vivos

La supervivencia espermática (Figura 3) fue más elevada en el caso de los espermatozoides que fueron sometidos a una sola congelación, destacando también las pocas diferencias existentes en los valores obtenidos para la congelación entre los diferentes sementales, al con-

Tabla 1. Valores promedio, máximo, mínimo y estadísticos en semen congelado y recongelado.
Table 1. Average, maximum, minimum and statistical values in frozen and refrozen semen.

	Motilidad individual		Espermatozoides vivos (%)		Integridad membrana (%)		Acrosomas íntegros	
	R	C	R	C	R	C	R	C
Promedio (%)	3,58	4,08	39,29	60	34,86	53,26	50,88	61,43
Max (%)	4,12	4,5	56,25	65	56,2	69,7	78	77
Min (%)	2,75	3	15,75	50	21,9	41,4	23,4	56
S.D.	0,65	0,58	14,58	5,48	10,60	13,45	20,36	8,68
C.V. (%)	18,12	14,30	37,11	9,12	38,4	19,9	40,01	14,29

R: semen recongelado; C: semen congelado; Max: valor máximo; Min: valor mínimo; S.D.: Desviación típica; C.V.: coeficiente de variación.

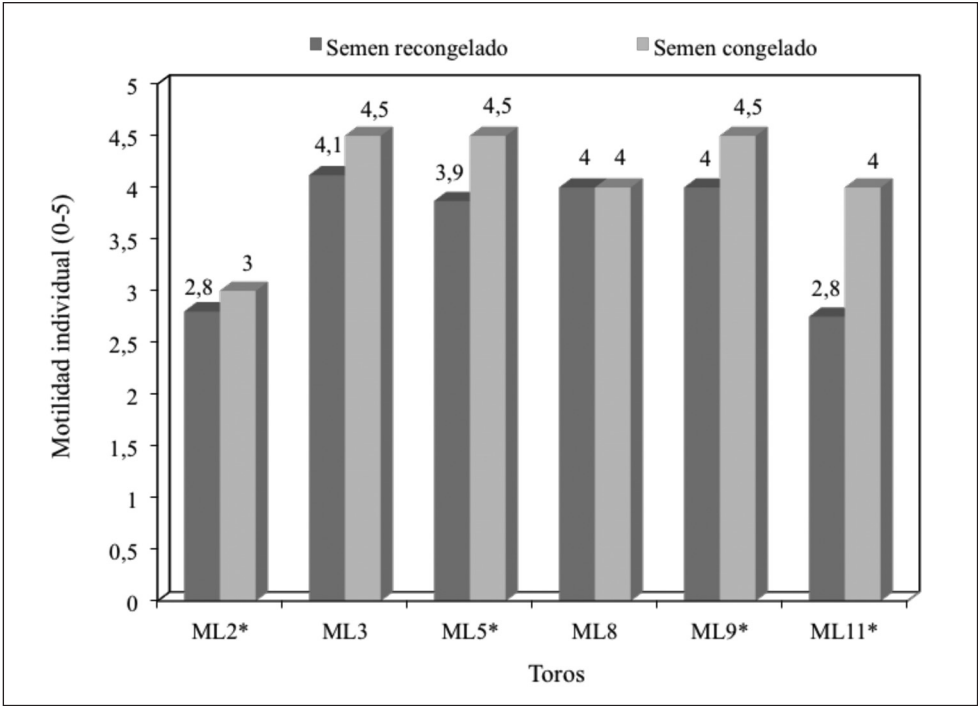


Figura 2. Motilidad individual en semen congelado y recongelado (valores promedio).
* Indica diferencias significativas.

Figure 2. Individual motility in frozen and refrozen semen (mean values).

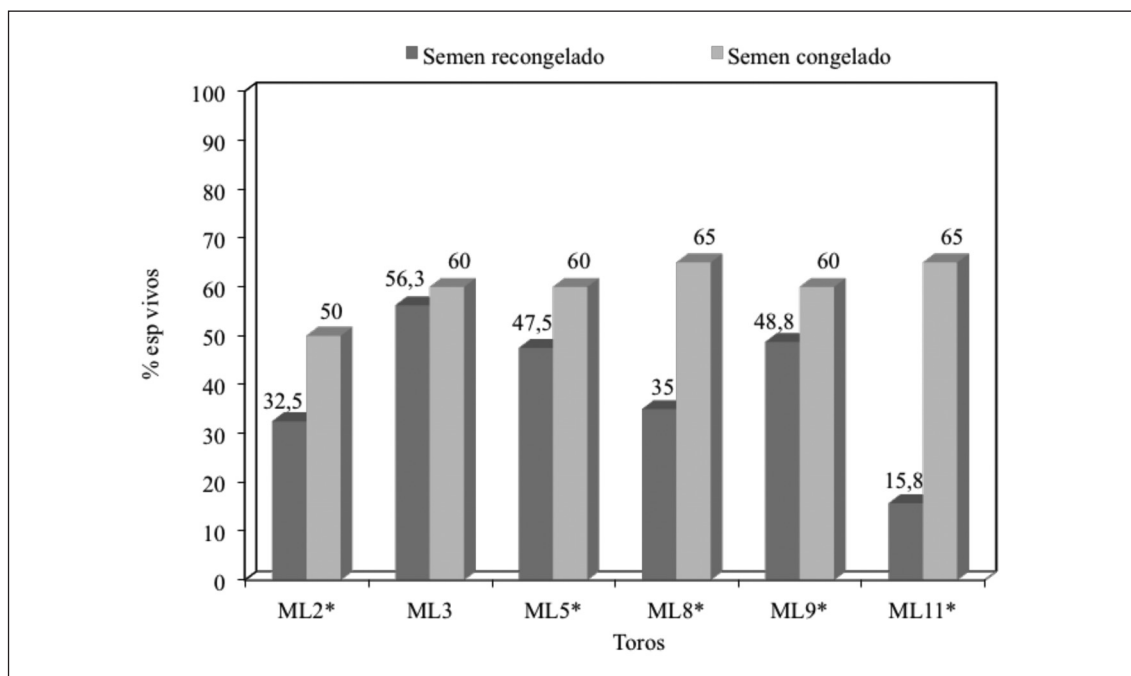


Figura 3. Porcentaje de espermatozoides vivos en semen congelado y recongelado (valores promedio).

* Indica diferencias significativas.

Figure 3. Percentage of live sperm in frozen and re-frozen semen (average values).

trario de lo que sucede en la recongelación, cuyos valores fueron más dispares. De los sementales analizados, ML3 mostró el mejor valor para semen recongelado (56,3 %). Los toros ML8 y ML11 mostraron los valores más elevados en cuanto a semen congelado (65 %).

En la Figura 3 se representan las diferencias estadísticamente significativas entre semen congelado y descongelado para cada uno de los sementales, siendo el toro ML3 el único que no presenta diferencias significativas para este parámetro. Los valores promedio, máximos, mínimos y estadísticos se muestran en la Tabla 1.

Integridad de la membrana espermática

En general, la integridad de la membrana plasmática (Figura 4) mostró mejores valores en

semen congelado. En concreto, el toro ML9 (69,7 %), seguido de ML3 (61,4 %). Los peores resultados se observaron en el semental ML8, con un 41,4 %.

Por otra parte, en semen recongelado se obtuvieron resultados superiores para los ejemplares ML3 (56,2 %) y ML9 (46,03 %), estando el resto de sementales por debajo de éstos y con valores muy similares.

Los valores promedio, máximos, mínimos y estadísticos en semen congelado y recongelado se muestran en la Tabla 1. Las diferencias estadísticamente significativas de cada uno de los toros para esta variable en semen congelado y recongelado se representan en la Figura 4, siendo el semental ML3 el único que no las muestra.

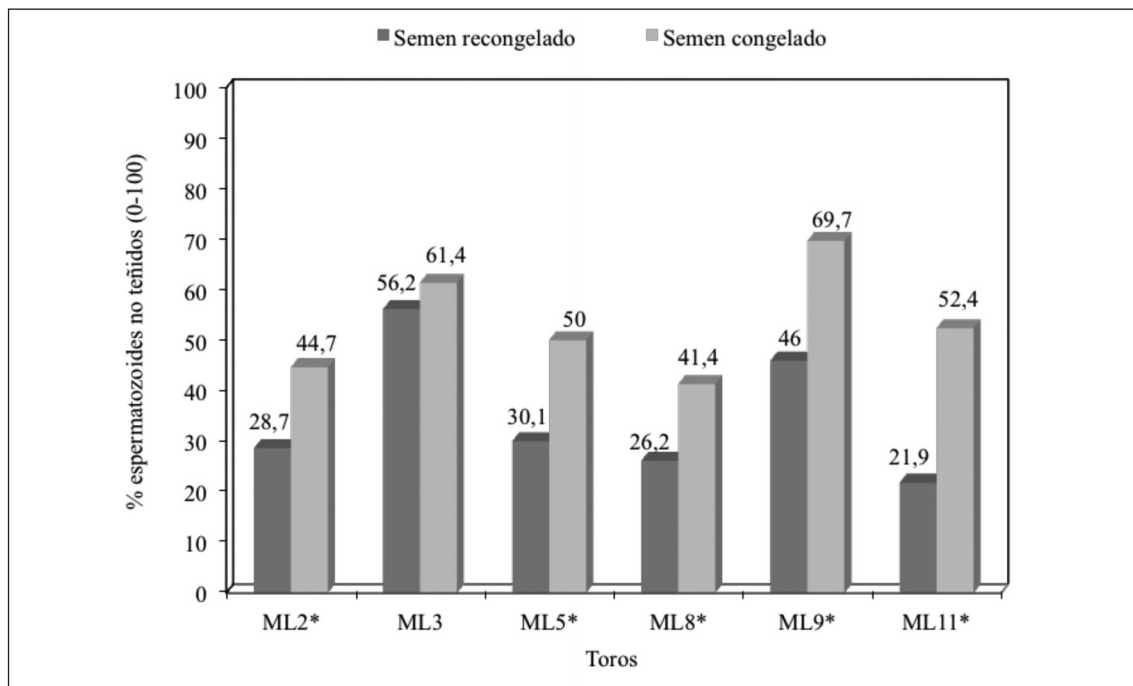


Figura 4. Integridad de la membrana espermática en semen congelado y recongelado mediante la tinción de eosina-nigrosina (valores promedio).

* Indica diferencias significativas.

Figure 4. Percentage of plasma membrane integrity in frozen and refrozen semen (average values).

Estudio del acrosoma

El estudio de los acrosomas espermáticos del semen de los toros ML se representa en la Figura 5. En ella se muestra en general una mayor concentración de espermatozoides con el acrosoma intacto en semen congelado que en recongelado, a excepción de los toros ML3 y ML9 cuya cantidad de acrosomas íntegros es superior en semen recongelado. En ML9 el porcentaje en semen recongelado (71,1 %) fue superior al de semen congelado (56 %). Siendo en el caso de ML3 los valores de semen congelado (77 %) y recongelado (78 %) muy similares. Los datos más elevados y por tanto mejores, fueron los del semental ML3 y los más bajos los del ejemplar ML8 (23,4 % semen recongelado y 56 % semen congelado).

Los valores promedio, máximos, mínimos y estadísticos en semen congelado y recongelado se presentan en la Tabla 1. La comparación de semen congelado y recongelado para cada uno de los toros para esta variable indica que todos excepto ML3 muestran diferencias significativas (Figura 5).

Estudio estadístico comparativo entre machos

Aquellas variables que indicaron algo de no normalidad significativa en los datos fueron "porcentaje de espermatozoides vivos en semen recongelado" y "motilidad individual en semen recongelado".

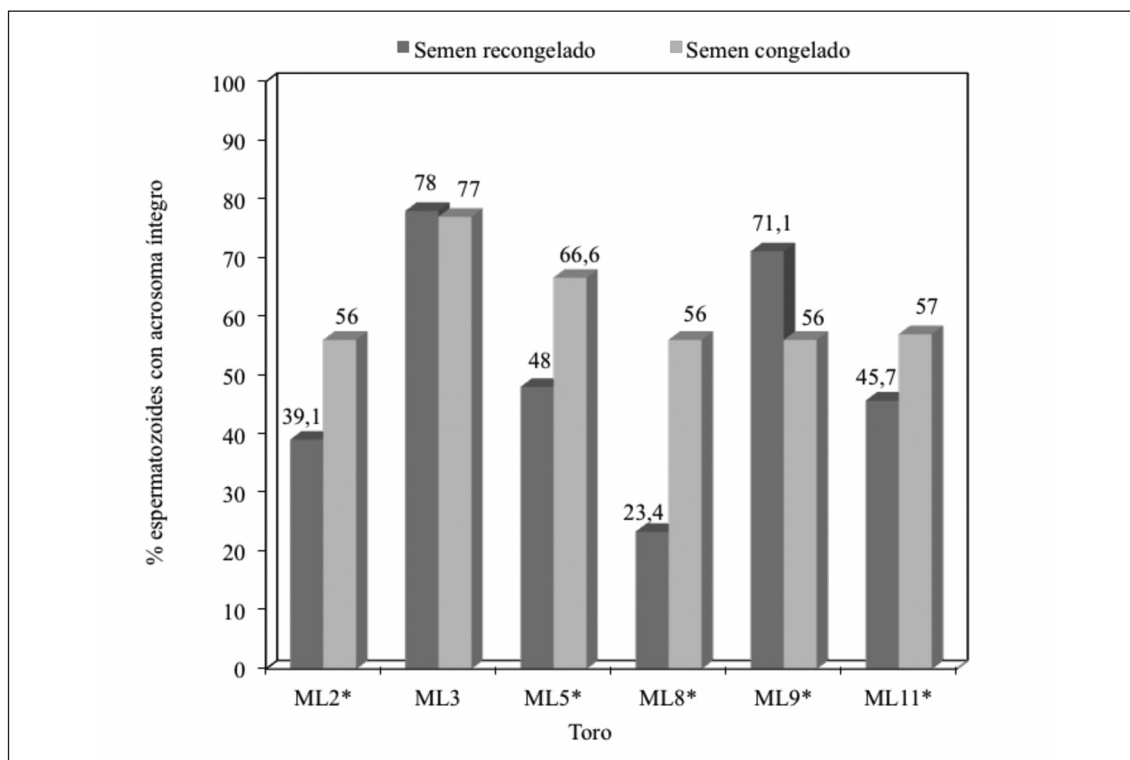


Figura 5. Estudio de los acrosomas espermáticos en semen congelado y recongelado mediante lectina PNA.

* Indica diferencias significativas.

Figure 5. Study of sperm acrosomes in frozen and re-frozen semen using PNA lectin.

Las diferencias significativas entre sementales para cada una de las variables objeto del estudio se muestran en la Tabla 3.

Inseminación artificial

En la Tabla 2 se muestran los resultados de la inseminación artificial de las 7 novillas Frisonas utilizadas en este ensayo.

Dada la presencia de síntomas de celo en todas las hembras tras la sincronización, se realizaron dos inseminaciones artificiales (IA), con intervalo de 12 h. De las 7 novillas inseminadas, dos (28,57 %) volvieron a presentar síntomas de celo 21 días más tarde, lo que

nos indica que esas dos novillas con seguridad no quedaron gestantes tras la IA.

Dada la ausencia de síntomas de celo en las cinco novillas IA tras 45 días, se les realizó una ecografía, resultando gestación positiva en un 71,43 %.

Se efectuó una segunda ecografía para confirmar la primera tras 60 días post-IA. Como resultado 1 de las 5 novillas diagnosticadas gestantes en la primera ecografía se diagnosticó como no preñada, por lo que 4 hembras de las 7 totales continuaron estando gestantes tras 60 días, por lo que el porcentaje de fertilidad del semen recongelado fue del 57,14 %.

Tabla 2. Sincronización e inseminación artificial (IA) con semen re congelado en novillas Frisonas.

Table 2. Synchronization and artificial insemination (IA) with frozen semen in Friesian heifers.

Novillas sincronizadas (CIDR)	n°	7
Novillas en celo	n°	7
	%	100
Novillas IA (2ª IA, 12h)	n°	7
	%	100
Novillas retorno celo	n°	2
	%	28,57
Novillas gestantes (45 días)	n°	5
	%	71,43
Novillas gestantes (60 días)	n°	4
	%	57,14

Tabla 3. Diferencias significativas entre sementales para cada variable.

Table 3. Significant differences between bulls for each variable.

Sementales	% esp. Vivos		Mot. Ind.		Int. Memb.		Acros.	
	C	R	C	R	C	R	C	R
ML2-ML3	*	*	*	*	*	*	*	*
ML2-ML5	*	*	*	*	*		*	*
ML2-ML8	*		*	*	*			*
ML2-ML9	*	*	*	*	*	*		*
ML2-ML11	*	*	*	*	*	*		*
ML3-ML5		*			*	*	*	*
ML3-ML8		*	*		*	*	*	*
ML3-ML9		*			*	*	*	*
ML3-ML11		*		*	*	*	*	*
ML5-ML8		*	*		*		*	*
ML5-ML9					*	*	*	*
ML5-ML11		*		*	*	*	*	
ML8-ML9		*	*		*	*		*
ML8-ML11		*		*	*			*
ML9-ML11		*		*	*	*		*

* Indica una diferencia significativa; C: semen congelado; R: semen re congelado; esp.: espermatozoides; Mot. ind.: Motilidad individual; Int. Memb.: Integridad de Membrana; Acros.: Acrosomas.

Discusión

Lömker y Simon (1994), Danchi-Burge *et al.* (2001) y Gandini *et al.* (2007) recomendaron tener el semen de al menos veinticinco machos no emparentados almacenados en el Banco de Germoplasma para mantener el 98 % de heterocigosidad de la población. Sin embargo, Hiemstra *et al.* (2005) creen que este valor es innecesariamente alto y difícil de alcanzar en el caso de razas en peligro de extinción, ya que el número de animales disponibles es pequeño; como es el caso de la raza ML.

Los programas de conservación llevados a cabo por Crespo García (2003) y Tamargo *et al.* (2009) recomiendan mantener un total de quinientas dosis seminales/toro. De todos los toros criopreservados en el Banco de Germoplasma utilizados en este estudio, los toros ML2, ML3 y ML5 son los únicos que superan este valor. El resto de animales dentro del programa de recuperación de la raza fueron sacrificados antes de poder realizar extracciones seminales suficientes para poder completar el mínimo recomendado.

Anzar *et al.* (2002) obtuvieron resultados para el porcentaje de espermatozoides vivos en especies bovinas del 80-90 %. En el presente trabajo, los valores obtenidos para este parámetro fueron menores para todos los animales estudiados y para las dos congelaciones realizadas, con valores máximos y mínimos para el semen congelado del 65 % y 50 %, y para el semen recongelado del 58,75 % y 21,25 %. Estas diferencias podrían deberse a la calidad seminal inicial en fresco, a una cuestión racial e incluso a la consanguinidad existente entre los toros en estudio.

Saragusty *et al.* (2009) realizaron la congelación y recongelación de semen de toro Holstein. Para el parámetro de motilidad espermática en doble congelación, los resultados obtenidos fueron considerablemente inferiores a los obtenidos para una sola congelación. Además, cuando se evaluó el pará-

tro de motilidad después de la congelación de los espermatozoides, se encontraron diferencias significativas entre toros (50-80 %) y también en la recongelación de semen (20-40 %); datos que coinciden con los encontrados en nuestro estudio.

Según Lozano (2009) las diferencias significativas encontradas entre sementales respecto a la congelabilidad seminal en el presente estudio se podrían explicar por factores tales como la edad (que en nuestro caso oscilaron entre los 2 y los 4 años, incluso más), la estación del año en que se realizó la extracción seminal, el estado nutricional del semental en el momento de la extracción e incluso debido a las características propias del individuo, entre otros.

Dentro del experimento realizado por McCue *et al.* (2004b), en el que se volvió a congelar semen equino, se encontraron resultados de motilidad espermática del 64,2 % en congelación y del 45,7 % con la doble congelación, produciendo así una disminución de la motilidad espermática tras la segunda congelación, como es el caso de nuestro estudio. Estos mismos autores observaron después de congelar y volver a congelar semen bovino, que la motilidad era mucho mayor en el semen congelado que en el semen congelado por segunda vez, resultados que también coinciden con los obtenidos en nuestro trabajo para algunos toros ML utilizados en este estudio (McCue *et al.*, 2005).

Verza y Estevez (2004) llevaron a cabo un experimento en el que se recongelaron espermatozoides humanos, resultando en una disminución significativa de la motilidad y porcentaje de espermatozoides vivos entre la primera y la segunda descongelación, lo que reafirma nuestros resultados a pesar de no ser de la misma especie o el mismo proceso de congelación seminal.

En otras especies como equino, como resultado del estudio de la viabilidad de la membrana espermática (por tinción con yoduro de

propidio) en semen recongelado, se observó una disminución de este parámetro (McCue et al., 2004a), resultados que coinciden con los encontrados en el presente estudio.

En los estudios realizados por Hollinshead et al. (2004a,b), en el que se realizó sexado y recongelación en espermatozoides de carnero y toro y en el que se estudió el estado de los acrosomas, se encontró una menor proporción de acrosomas intactos en ambas especies tras estos procesos, lo que se explica por el daño que estas técnicas pueden producir en el espermatozoide. En nuestro estudio, la proporción de espermatozoides con acrosomas intactos también fue mayor en el semen congelado que en el semen recongelado, con la excepción de los toros ML9 y ML3.

Por lo tanto, la pérdida de vitalidad y motilidad de los espermatozoides, el aumento de las morfoanomalías, los acrosomas dañados y la disminución de la fertilidad son resultados considerados normales después de descongelar las dosis seminales (Chauhan et al., 1994; Correa et al., 1996). Los procesos de refrigeración, congelación y descongelación pueden provocar graves alteraciones en el acrosoma, que suelen conducir a una baja fertilidad (Peña y Linde-Forsberg, 2000).

El porcentaje de fertilidad obtenido después de utilizar el semen recongelado fue del 57,14 %. Underwood et al. (2010) afirman que la baja fertilidad del semen recongelado podría deberse a la disminución de la motilidad del esperma y su velocidad, lo que reduciría el número de espermatozoides viables presentes en el oviducto en el momento de la ovulación. Sin embargo, Arav et al. (2002) realizaron la IA a un grupo de vacas con semen congelado y a otro grupo con semen recongelado, resultando en un 45,5 % y 44 % de fertilidad, respectivamente, superando nuestros datos a los de estos autores, lo que se explicaría por el mayor número de hembras utilizadas en este ensayo.

Conclusiones

De acuerdo con los resultados de nuestro estudio, la integridad de la membrana espermática del semen congelado resultó menos dañada que la del semen recongelado en todos los ejemplares estudiados.

Se ha visto que existen diferencias sustanciales respecto al espermiograma entre los distintos toros estudiados. Por lo tanto, el estudio de la calidad seminal tras la recongelación espermática se podría utilizar para predecir la fertilidad; es decir, cuanto mejores sean los resultados del semen recongelado *in vitro*, mejores serían los resultados de fertilidad *in vivo* del semen congelado para cada uno de los sementales.

Además, se podría concluir que la inseminación artificial con semen recongelado podría ser una herramienta eficaz para el conocimiento de la fertilidad del semental.

Por tanto, según los datos obtenidos, la recongelación espermática podría utilizarse como instrumento útil y eficaz para la conservación y recuperación de la raza bovina ML.

Agradecimientos

Al Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Medioambiental (IMIDA, Murcia, España).

Al proyecto RZ2010-00003-C02-02 del Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA, España).

Al Proyecto FEDER 1420-11. Las Razas Autóctonas de la Región de Murcia. Estudio de derivados alimenticios alternativos.

Al Departamento de Fisiología de la Universidad de Murcia, Campus de Espinardo. España.

Referencias bibliográficas

- Almela L (2006). Estudio sobre la situación actual de cuatro razas en peligro de extinción en la Región de Murcia: cerdo Chato Murciano, vaca Murciana, gallina Murciana y cabra Blanca Celtibérica. Trabajo Fin de Carrera. Escuela Politécnica Superior de Orihuela. Universidad Miguel Hernández. Orihuela, Alicante, España.
- Almela L (2014). Aportaciones a la crioconservación de gametos masculinos en la raza bovina Murciano Levantina: recongelación de espermatozoides. Tesis Doctoral. Facultad de Veterinaria. Universidad de Murcia. Murcia, España.
- Álvarez-Rodríguez M (2012). Mejora y evolución de los protocolos de congelación de eyaculados de oso pardo (*Ursus arctos*). Tesis Doctoral. Universidad de León (España).
- Anzar M, He L, Buhr MM, Kroetsch TG, Pauls KP (2002). Sperm apoptosis in fresh and cryopreserved bull semen detected by flow cytometry and its relationship with fertility. *Biology of Reproduction* 66: 354-360. <https://doi.org/10.1095/biolreprod66.2.354>.
- Arav A, Zeron Y, Shturman H, Gacitua H (2002). Successful pregnancies in cows following double freezing of a large volume of semen. *Reproduction Nutrition Development* 42: 583-586. <https://doi.org/10.1051/rnd:2002044>.
- BOE (2011). Real Decreto 841/2011, de 17 de junio, por el que se establecen las condiciones básicas de recogida, almacenamiento, distribución y comercialización de material genético de las especies bovina, ovina, caprina y porcina, y de los équidos. Boletín Oficial del Estado, núm. 168, de 14 de julio de 2011.
- Bonadonna T (1962). Fisiopatología de la reproducción y fecundación artificial ganadera. Salvat. Barcelona, España. 769 pp.
- Chauhan MS, Kapilar R, Gandhi KK, Anand SR (1994). Acrosome damage and enzyme leakage of goat spermatozoa during dilution, cooling and freezing. *Andrologia* 26: 21-26. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0272.1994.tb00748.x>.
- Correa JR, Rodríguez MC, Patterson DJ, Zavos PM (1996). Thawing and processing of cryopreserved bovine spermatozoa at various temperatures and their effects on sperm viability, osmotic shock and sperm membrane functional integrity. *Theriogenology* 46: 413-420. [https://doi.org/10.1016/0093-691x\(96\)00163-x](https://doi.org/10.1016/0093-691x(96)00163-x).
- Crespo García MJ (2003). Conservación "Ex Situ" mediante la utilización de técnicas de reproducción animal asistida, y tipificación genética de las razas bovinas Tudanca y Monchina en Cantabria. Disponible en: <https://cifacantabria.org/Documentos/CONSERVACION.pdf> (consultado: 21 abril 2021).
- Danchi-Burge C, Bibé B, Planchenault D (2001). La cryobanque nationale: mise en place d'une cryocollection patrimoniale des races d'animaux d'élevage. *Proc 4ème Coll BRG, La Châtre, Francia*, pp. 111-113.
- Gandini GC, Pizzi F, Stella A, Boettcher PJ (2007). The costs of breed reconstruction from cryopreserved material in mammalian livestock species. *Genetics Selection Evolution* volumen 39: 465. <https://doi.org/10.1186/1297-9686-39-4465>.
- Gardón JC, Matás C, Gadea J (2001). Efecto del protocolo de preparación de los espermatozoides bovinos sobre el patrón de reacción acrosómica. *Anales de Veterinaria de Murcia* 17: 19-26.
- Hiemstra SJ, Van Der Lende T, Woelders H (2005). The potential of cryopreservation and reproductive technologies for animal genetic resources conservation strategies. En: *The role of biotechnology in exploring and protecting agricultural genetic resources*. FAO. Rome (Italy), pp. 25-35.
- Hollinshead FK, Evans G, Evans KM, Catt SL, Maxwell WMC, O'Brien JK (2004a). Birth of lambs of a pre-determined sex after *in vitro* production of embryos using frozen-thawed sex-sorted and refrozen-thawed ram spermatozoa. *Reproduction* 127: 557-568. <http://dx.doi.org/10.1530/rep.1.00049>.
- Hollinshead FK, O'Brien JK, Maxwell WMC, Evans KM (2004b). Assessment of *in vitro* sperm characteristics after flow cytometric sorting of frozen-thawed bull spermatozoa. *Theriogenology* 62: 958-968. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2003.12.030>.

- Lömker R, Simon DL (1994). Costs of and inbreeding in conservation strategies for endangered breeds of cattle. *Proceedings 5th World Congress on Genetics Applied to Livestock Productions*. 7-12 agosto, Nebraska (USA) 21: 393-396.
- Lozano H (2009). Factores que afectan la calidad seminal en toros. *Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia* 56: 258-272.
- McCue PM, Kelly JM, Moore AI, Bruemmer JE, Walker SK (2004a). Refrozen semen: sperm characteristics in horses and *in vitro* embryo production in ruminants. *Proceeding of the 6th International Symposium on Equine Embryo Transfer*, 4-6 agosto, Río de Janeiro, Brazil.
- McCue PM, Moore AI, Bruemmer JE (2004b.) Refreezing stallion spermatozoa for assisted reproduction. *Reproduction, Fertility and Development* 16: 176-177. <http://dx.doi.org/10.1071/RDv16n1Ab109>.
- McCue PM, Kelly J, Ashworth S, Kleemann D, Walker S (2005). Effect of refreezing bull semen on IVF success rate. *Reproduction, Fertility and Development* 17: 275-275. <https://doi.org/10.1071/RDv17n2Ab249>.
- MAPA (1985). Manual de normas técnicas para la congelación de semen en la especie bovina. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Dirección General de la Producción Agraria. Subdirección General de la Producción Animal.
- Owiny OD, Barry DM, Godke RA (2010). Effects of repeated freeze-thawing of bovine epididymal sperm on *in vitro* embryo development. *African Journal of Animal and Biomedical Sciences* 5: 56-64.
- Peña A, Linde-Forsberg C (2000). Effects of spermatozoal concentration and post-thaw dilution rate on survival after thawing of dog spermatozoa. *Theriogenology* 54:703-718. [https://doi.org/10.1016/S0093-691X\(00\)00384-8](https://doi.org/10.1016/S0093-691X(00)00384-8).
- Rigby SL, Brinsko SP, Cochran M, Blanchard TL, Love CC, Varner DD (2001). Advances in cooled semen technologies: seminal plasma and semen extender. *Animal Reproduction Science* 68: 171-180. [https://doi.org/10.1016/S0378-4320\(01\)00154-3](https://doi.org/10.1016/S0378-4320(01)00154-3).
- Saragusty J, Gacitua H, Zeron Y, Rozenboim I, Arav A (2009). Double freezing of bovine semen. *Animal Reproduction Science* 115: 10-17. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2008.11.005>.
- Tamargo C, De La Fuente J, Rodríguez A, Pérez-Garnelo SS, Fernández A, Benito JM, Hidalgo CO (2009). Creación en Asturias de un banco de germoplasma de razas autóctonas. *Archivos de Zootecnia* 1: 529-532.
- Tartaglione CM, Ritta MN (2004). Prognostic value of spermatological parameters as predictors of *in vitro* fertility of frozen-thawed bull semen. *Theriogenology* 62: 1245-1252. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2004.01.012>.
- Thilmant P (1997). Congélation du Sperme de Verat en Paillette de 0.5 ml. Résultats sur le Terrain. *Annales de Médecine Vétérinaire* 141: 457-462.
- Underwood SL, Bathgate R, Maxwell WMC, Evans G (2010). Birth of offspring after artificial insemination of heifers with frozen-thawed, sex-sorted, refrozen- thawed bull sperm. *Animal Reproduction Science* 118:171-175. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2009.08.007>.
- Vázquez JM, Parrilla I, Roca J, Gil MA, Cuello C, Vázquez JL, Martínez EA (2009). Sexorting sperm by flow cytometry in pigs: issues and perspectives. *Theriogenology* 71: 80-88. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2008.09.044>.
- Vera Muñoz O (2003). Evaluación seminal comparativa pre y pos congelación en machos bovinos. En: *Reproducción Bovina*. (Ed. González-Stagnaro C.), pp. 251-262. Astro-Data. Maracaibo (Venezuela).
- Verza S, Esteves SC (2004). Feasibility of refreezing human spermatozoa through the technique of liquid nitrogen vapour. *International Brazilian Journal of Urology* 30: 487-493. <http://dx.doi.org/10.1590/S1677-55382004000600006>.
- Watson PF (1976). The protection of ram and bull spermatozoa by the low density lipoprotein factor of egg yolk during storage at 5 °C and deep-freezing. *Journal of Thermal Biology* 1: 137-141. [https://doi.org/10.1016/0306-4565\(76\)90003-6](https://doi.org/10.1016/0306-4565(76)90003-6).

(Aceptado para publicación el 17 de enero de 2022)

Evaluación integral de la sostenibilidad de la producción ovina de carne en Aragón

Luis Pardos^{1,*}, Belén Lahoz², Alberto Bernués², José Luis Alabart²
y Enrique Fantova³

¹ Escuela Politécnica Superior de la Universidad de Zaragoza, Ctra. Cuarte s/n, 22071 Huesca. España

² Unidad de Producción y Sanidad animal, CITA-IA2, Av. Montañana 930, 50059 Zaragoza. España

³ UPRA-Grupo Pastores, Ctra. Cogullada, 65, 50014 Zaragoza. España

Resumen

El objetivo de este trabajo es profundizar en el conocimiento de la sostenibilidad de la producción ovina de carne en Aragón. Para ello se ha analizado una muestra de 37 explotaciones diferenciadas en 3 sistemas productivos en función de las características agronómicas de su finca agrícola y de la disponibilidad de recursos pastorales (Secano, Mixto Secano/Regadío y Montaña). Se han analizado indicadores económicos, sociales y ambientales, y la información obtenida a través de la realización de procesos participativos (*focus groups*) con diferentes agentes implicados en esta actividad: ganaderos, técnicos y representantes de la población rural (alcaldes y concejales). Los resultados han demostrado que las ganaderías analizadas son sostenibles ambientalmente, pero se encuentran al límite de su sostenibilidad económica y social. El sistema Mixto Secano/Regadío presenta la mayor sostenibilidad económica y el sistema Montaña la mayor sostenibilidad ambiental. Estos resultados contribuyen a mejorar el conocimiento de los diferentes retos a los que se enfrenta el sector ovino, a predecir su evolución en el futuro y pueden contribuir al diseño de políticas que aseguren la continuidad de los sistemas más sostenibles.

Palabras clave: Sistemas ovinos, *focus group*, indicadores de sostenibilidad.

Integrated sustainability assessment of sheep meat production in Aragon

Abstract

The aim of this work was to perform a comprehensive assessment of sustainability of sheep meat production in Aragon. For this purpose, a sample of 37 farms differentiated into 3 production systems based on their agronomic characteristics and the availability of pastoral resources (Rainfed, Mixed Rainfed/Irrigated, and Mountain) was analyzed. Economic, social and environmental indicators, as well as the information obtained through a participatory process (*focus groups*) with different actors involved in this production: farmers, technicians and representatives of the rural population (mayors and councilors) were used. The results showed that the studied farms are environmentally sustainable, but they are at the limit of their economic and social sustainability. The Mixed Rainfed/Irrigation system presents the greatest economic sustainability and the Mountain system the greatest environmental sustainability. These results contribute to improve knowledge of challenges faced by sheep meat systems, to predict its evolution in future, and can contribute to the design of policies that ensure the continuity of the most sustainable ones.

Keywords: Sheep production systems, focus group, sustainability indicators.

* Autor para correspondencia: lpardos@unizar.es

Cita del artículo: Pardos L, Lahoz B, Bernués A, Alabart JL, Fantova E (2022). Evaluación integral de la sostenibilidad de la producción ovina de carne en Aragón. ITEA-Información Técnica Económica Agraria 118(4): 594-612.
<https://doi.org/10.12706/itea.2022.003>

Introducción

En las regiones euromediterráneas los sistemas ovinos se encuentran principalmente en zonas desfavorecidas y suelen estar asociados a los cultivos de cereales (Olaizola et al., 2015), de forma que la complementariedad de los recursos y la diversificación de las producciones forman la base de la mayoría de ellos (Ripoll-Bosch et al., 2014). En el caso del ovino ligado al territorio, se ha señalado en numerosas ocasiones su papel como proveedor de servicios ambientales, mantenedor del patrimonio cultural y de la actividad económica y tejido social de amplias zonas rurales (Bernués et al., 2018) y esto es especialmente importante en aquellas áreas rurales más vulnerables a la falta de inversión y a la despoblación.

Por estas razones, el sector ovino de carne es importante en el Valle Medio del Ebro desde el punto de vista económico, social y ambiental. Aragón contaba en el año 2018 con 3.268 explotaciones y 1,74 millones de cabezas de ganado ovino, que representaban el 4,1 % y 10,4 % del total nacional respectivamente (MAPAMA, 2018). El 99 % del censo correspondía a ganado de carne, lo que da muestra de su especialización productiva. En Aragón, debido a sus heterogéneas características medioambientales, existe una amplia variedad de sistemas ovinos, orientados a la producción comercial de carne y cereales (principalmente cereales de invierno en secano y maíz en regadío), pero también forrajes (alfalfa de regadío), olivo y viñedo. Las ovejas de razas autóctonas, mayoritariamente de raza Rasa Aragonesa, utilizan recursos pastables como barbechos, restos de cultivos, pastizales, arbustos y bosques, así como la suplementación de pienso de la finca y fuera de la finca, predominantemente a base de maíz y/o cebada con alfalfa y paja (Barrantes et al., 2009).

En los tres últimos decenios la producción ovina de carne ha sufrido cambios importan-

tes, tanto en los mercados de sus productos como en las estructuras y los sistemas de producción tradicionales de sus explotaciones. Los factores que los han determinado han sido múltiples, pero las diferentes reformas de la PAC han jugado un papel determinante (Matthews et al., 2006), junto con la evolución de los mercados y de la demografía (Veyssset et al., 2014). Estos cambios han supuesto en Aragón una reestructuración del sector, en términos de especialización e intensificación productiva, valorización del producto, y aumento del tamaño de los rebaños, de la finca agrícola y del número de animales manejados por unidad de trabajo (Pardos et al., 2016).

Sin embargo, la continuidad de los sistemas ovinos se está viendo amenazada por factores económicos, ambientales y sociales (Rodríguez-Ortega et al., 2017), y en las últimas décadas han experimentado una fuerte reducción en la mayoría de las regiones euromediterráneas, tanto en número de explotaciones como en número de animales, y hacerlos más viables es un desafío importante (Bernués et al., 2011). Esta reducción se ha visto acentuada a partir del desacoplamiento de las ayudas de la Política Agraria Comunitaria (PAC) iniciado en el año 2005. Así en Aragón, en el decenio 2005-2015, el número de explotaciones ha disminuido en un 38 % (de 5.789 a 3.609), y el de cabezas en un 44 % (de 3.144.790 a 1.753.693), mientras que en el decenio anterior (1995-2005) estos descensos fueron del 32 % y 8 %, respectivamente (Gobierno de Aragón, 2016).

El objetivo de este trabajo es analizar la sostenibilidad de una muestra de explotaciones ovinas de carne aragonesas, diferenciadas en varios sistemas productivos, utilizando indicadores económicos, sociales y ambientales, y la información obtenida a través de diferentes agentes implicados en esta producción: ganaderos, técnicos y representantes de la población rural.

Material y métodos

Se han analizado 37 explotaciones ovinas de carne que participaron en el año 2016 en el Programa de Gestión Técnico-Económica de la Cooperativa Oviaragón-Grupo Pastores: 13 de Huesca, 14 de Zaragoza y 10 de Teruel. Al tratarse de un Programa en el que participan las ganaderías de forma voluntaria (no es un muestreo probabilístico), presenta el inconveniente de que la información técnica y económica obtenida suele presentar un sesgo al tratarse de explotaciones con un nivel de mejora y tecnificación más elevado e interesadas en optimizar sus resultados técnicos y económicos, y cuenta con la ventaja de la calidad de los datos que proporciona. El Programa de Gestión analiza únicamente la actividad ovina, separándola de cualquier otra actividad, agraria o no, que puedan tener las explotaciones. Como en el trabajo de Bertolozzi-Caredio et al. (2021), en el cálculo de los ingresos no se tienen en cuenta las ayudas desacopladas de la producción por estar ligadas a la superficie y no a la actividad ganadera. En cuanto a los costes, se consideran todos los costes objetivos, incluidos los reemplazos procedentes de la finca agrícola propia, valorados a precio de mercado o a coste de producción cuando no existe esa referencia, y no se contabilizan los costes estimados (costes de oportunidad de la tierra, capital y mano de obra familiar, y coste de depreciación de construcciones y utillaje). Posteriormente, las explotaciones se clasificaron en función de las características agronómicas de su finca agrícola (% de regadío y de cultivos forrajeros) y del tipo de recursos pastorales disponibles. Estos criterios se corresponden con los utilizados para agrupar las ganaderías aragonesas que participan en la Red Nacional de Granjas Típicas (RENGRATI) (MAPAMA, 2020).

La información ambiental y social corresponde también al año 2016 y ha sido obtenida a través de encuestas realizadas a los ganaderos y a los veterinarios responsables de las mismas explotaciones.

Para completar la recogida de información, se realizaron 7 *Focus Groups* (FG) en 2017 y 2018 (duración media de 128 min): 2 con ganaderos incluidos en los tres sistemas diferenciados (19 participantes en total); 2 con técnicos veterinarios del sector (17 participantes); y 3 con representantes políticos (alcaldes y concejales) de municipios de las tres provincias aragonesas (23 participantes). En todos los casos se les plantearon las dos mismas preguntas al iniciar el debate: ¿Cuáles son los aspectos de sostenibilidad más importantes de la ganadería ovina de carne a nivel de explotación y territorial?; ¿Qué aspectos cree que son más relevantes y por qué, el económico, el social, el medioambiental? Siguiendo la metodología de Bernués et al. (2016), las sesiones fueron grabadas en vídeo y se examinaron mediante análisis de contenido identificando los elementos clave (unidades de registro, como palabras, frases o conceptos) que se agruparon en distintas categorías (ítems económicos (a nivel de explotación); ítems sociales (a nivel de explotación); ítems ambientales; ítems sobre el contexto socio-económico e ítems sobre el contexto político/legal), y se cuantificó el tiempo dedicado a cada una de ellas (Tabla 4).

Resultados

Con los criterios descritos en el apartado material y métodos, se han clasificado las explotaciones en tres sistemas:

a) El sistema Secano está formado por 17 ganaderías cuya finca agrícola carece prácticamente de superficie de regadío, con cultivos destinados en algunos casos a la venta y no a la producción ovina. Las ganaderías aprovechan fundamentalmente los recursos pastorales de los secanos áridos o semiáridos (rastros, barbechos, pastos bajo olivos y almendros, monte bajo, etc.), por lo que están afectados por la estacionalidad de los mismos y los periodos de sequía.

b) El sistema Mixto Secano/Regadío (Mixto S/R) lo componen 13 explotaciones que disponen de un elevado porcentaje de regadío (40,4 %) dentro de su Superficie Agrícola Útil (SAU), por lo que la finca está orientada generalmente a la actividad ganadera con importantes aprovechamientos a diente. Además de los mismos pastos que el sistema de secano, aprovecha rastrojos y restos de cultivos de regadío (maíz, alfalfa, guisantes, etc.). La existencia de regadío hace menos estacional la disponibilidad de alimentos y que sean también menos dependientes de las condiciones climáticas adversas.

c) El sistema de Montaña incluye 7 ganaderías localizadas en las comarcas del Pirineo, con un elevado porcentaje de cultivos forrajeros en su finca agrícola (72,5 %), donde predominan las praderas (naturales y artificiales) destinadas a la alimentación del rebaño. Algunas de ellas aprovechan los pastos de puerto en verano, y todas utilizan los pastos intermedios próximos a la zona de invernada. Debido a la climatología de la zona, el periodo de estabulación de los animales, sobre todo en invierno, es mayor que en los dos sistemas anteriores.

Las características estructurales y técnicas de las ganaderías analizadas se resumen en la Tabla 1. El tamaño medio de las explotaciones de la muestra (909,4 ovejas) nos da una idea de su elevada especialización ovina. Las razas explotadas son: Rasa Aragonesa (35 ganaderías), Ojinegra de Teruel (1) y Maellana (1). Además de su finca agrícola, la explotación media arrienda algo más de 1.000 ha de pastos, de las que el 52 % corresponden a superficie de montes y comunales, el 35 % a rastrojos (cereales de invierno y primavera, girasol, etc.), y el resto a pastos en cultivos arbóreos, comunales, barbechos y puertos de montaña. La totalidad de las explotaciones realiza pastoreo conducido (o móvil).

En cuanto a los indicadores técnicos, destaca el elevado nivel productivo de las explota-

ciones analizadas, con una buena fertilidad anual (33 ganaderías utilizan el sistema de tres partos en dos años), y una alta prolificidad debida al programa de selección genética por prolificidad, en el que participan 29 ganaderías, y a la difusión del alelo ROA (*FecX^R*, variante génica natural en Rasa Aragonesa del gen *Bone Morphogenetic Protein 15*; Lahoz et al., 2011), en la que participan 26 ganaderías (en la muestra, el 15,6 % de las ovejas son portadoras de este alelo). Por tipologías, destaca la menor prolificidad de las explotaciones del sistema de Montaña, que podría explicarse en parte por su menor porcentaje de hembras portadoras del alelo ROA (7,9 %), por lo que presenta el menor número de corderos vendidos por oveja.

La mayoría de las ganaderías (35) comercializa sus corderos a través de la cooperativa Oviaragón-Grupo Pastores y bajo la Indicación Geográfica Protegida "Ternasco de Aragón".

Indicadores de sostenibilidad económica

Para analizar la sostenibilidad económica, en este trabajo se han tenido en cuenta diversos indicadores de costes, de rentabilidad y de autonomía de las explotaciones (Tabla 2).

Si nos referimos a los indicadores de costes, vemos como el margen comercial es prácticamente nulo, ya que el coste medio por cordero vendido es similar al precio de venta. Por tipologías, el sistema Montaña es el que presenta los peores valores en estos indicadores debido a sus mayores costes de alimentación (Tabla 1).

En cuanto a los indicadores de rentabilidad, el margen ovino medio con ayudas acopladas asciende a 22,16 € por oveja y 14.375 € por UTA familiar, aunque este valor no correspondería a la retribución estricta del factor trabajo, ya que deberíamos descontar los otros costes estimados que no se han considerado en el estudio. El sistema Mixto S/R presenta los ma-

Tabla 1. Datos estructurales, técnicos y económicos de las ganaderías de la muestra.

Table 1. Structural, technical and economic data of studied farms.

	Media	DT	Secano	Mixto S/R	Montaña
Nº explotaciones	37		17	13	7
Capital vivo					
Nº medio ovejas (>12 meses)	909,4	595,1	953,3	849,7	913,5
Factor trabajo explotación					
Nº UTA	2,28	1,33	2,51	1,99	2,25
% UTA familiar	77,6	22,8	80,5	72,9	77,8
Factor trabajo actividad ovina					
Nº UTA	1,70	1,0	1,88	1,56	1,55
% UTA familiar	82,3	28,7	87,1	75,4	83,3
Nº medio ovejas/UTA	534,9	129,4	507,2	545,5	589,4
Factor tierra					
SAU (ha)	143,1	144,2	155,6	144,5	110,5
% SAU arrendada	46,0	35,7	52,0	45,7	32,6
% SAU regadío	17,6	26,3	1,7	40,4	11,3
% SAU cultivos forrajeros	41,2	34,3	30,8	34,7	72,5
Pastos arrendados (ha)	1.027	1.638	1.292	882	655
Indicadores técnicos					
Nº partos por oveja presente	1,22	0,13	1,22	1,22	1,20
Prolificidad	1,52	0,15	1,53	1,55	1,43
Nº corderos vendidos por oveja	1,43	0,28	1,44	1,47	1,34
Peso Vivo (PV) por cordero vendido (kg)	24,4	1,5	24,7	23,9	24,8
Precio medio por cordero (€)	68,73	4,24	68,93	68,04	69,52
% Corderos IGP "Ternasco Aragón"	74,1	29,0	79,7	67,6	72,7
Ingresos por oveja (€) (1)					
Venta de corderos	97,87	19,28	98,60	101,45	89,84
Ayudas acopladas	18,71	5,19	18,79	17,93	19,83
Ingresos totales por oveja	120,45	22,30	121,36	122,79	114,14
Ingresos por UTA familiar	78.139	91.149	70.670	88.875	80.724
Ingresos por ha de SAU	765	1.028	743	722	944
Costes por oveja (€) (2)					
Alimentación comprada pesebre	45,37	18,29	49,16	34,71	54,18
Arrendamiento de pastos	5,52	4,47	4,02	7,88	5,25
Reempleos	17,89	13,26	15,16	21,36	18,80
Alimentación total	68,78	17,68	68,35	63,95	78,23
Costes totales por oveja	98,30	23,17	99,62	93,43	103,34
Costes por UTA familiar	63.764	71.159	58.011	67.630	73.087
Costes por ha de SAU	624	788	610	549	855

DT: Desviación Típica; (1) Venta de corderos; Ayudas acopladas: pago asociado del primer pilar de la PAC y ayudas agroambientales y a zonas con limitaciones naturales del segundo pilar que exigen la presencia del ganado; Diferencia de inventario y animales para vida; Animales de desecho; Lana; Estiércol; Indemnizaciones de seguros ganaderos. (2) Alimentación; Mano de obra asalariada; Seguridad social de la mano de obra familiar; Sanidad; Reproducción; Costes generales: financieros, costes de comercialización, esquila, agua, luz, impuestos, etc.

Tabla 2. Indicadores económicos.
Table 2. Economic indicators.

	Media	DT	Secano	Mixto S/R	Montaña
Nº explotaciones	37		17	13	7
Indicadores de costes					
% Coste alimentación sobre Costes Totales	70,0	6,9	68,6	68,4	75,7
Coste por cordero vendido (€)	68,77	14,24	69,41	63,64	76,98
Coste por kg PV cordero vendido (€)	2,81	0,61	2,81	2,66	3,10
% Coste alimentación sobre Ingresos por corderos	70,3	20,2	69,3	63,0	87,1
Indicadores de rentabilidad					
Margen Ovino por oveja (€)	22,16	17,91	21,74	29,35	10,80
Margen Ovino por explotación (€)	20.151	23.502	20.724	24.940	9.864
Margen Ovino por UTA familiar (€)	14.375	25.104	12.659	21.245	7.637
Margen Ovino por ha de SAU (€)	140,77	328,84	133,19	172,64	89,30
% Margen Ovino sobre Ingresos por Corderos	22,6	20,1	22,0	28,9	12,0
% Margen Ovino sobre Ingresos Totales	18,4	15,1	17,9	23,9	9,5
Indicadores de autonomía					
% Alimentación comprada sobre Alimentación total	66,0	17,2	71,9	54,3	69,3
% Alimentación comprada sobre Costes Totales	46,2	12,7	49,4	37,2	52,4
% Ingresos Subvenciones sobre Ingresos Totales	15,5	4,1	15,5	14,6	17,4
Margen Ovino sin Subvenciones por oveja (€)	3,45	19,35	2,95	11,42	-9,03
Margen Ovino sin Subvenciones por explotación (€)	3.139	23.802	2.810	9.703	-8.250
Margen Ovino sin Subvenciones por UTA familiar (€)	2.240	18.191	1.717	8.265	-6.387
Margen Ovino sin Subvenciones por ha de SAU (€)	21,93	265,34	18,06	67,16	-74,69

DT: Desviación Típica.

yores valores en estos indicadores, debido a su mayor productividad y menores costes de alimentación (Tabla 1), y por el contrario el sistema Montaña los peores.

Como indicadores de autonomía se han utilizado aquellos que cuantifican la autosuficiencia alimentaria y la menor dependencia de las subvenciones percibidas. Sin ayudas,

los ingresos procedentes de la actividad productiva cubren exclusivamente los costes objetivos y no los estimados. Por tipologías, el sistema Mixto S/R es el que tiene una mayor autosuficiencia alimentaria y una menor dependencia de las subvenciones, situándose en el punto opuesto el de Montaña que es el que más ayudas acopladas recibe.

Indicadores de sostenibilidad social

Dentro de los indicadores sociales se han tenido en cuenta aquellos que valoran las características del empleo, la existencia de sucesión, la calidad de vida, las condiciones de trabajo, y la presencia y participación de la mujer en la explotación (Tabla 3).

De las 37 ganaderías, 28 son empresas individuales y 9 sociedades (8 Sociedades Civiles y 1 Sociedad Agraria de Transformación). Además, el 100 % de los ganaderos son Agricultores a Título Principal. En la muestra, el 77,6 % de la mano de obra de la explotación es familiar, y en 3 explotaciones solo vive una persona, el ganadero. La edad media de los titulares de la explotación es de 51,3 años, y el 56,8 % cree que sus ganaderías tienen continuidad de aquí a diez años. En cuanto a la implicación de las mujeres y los jóvenes en el trabajo, el 12,1 % de la mano de obra familiar la aportan mujeres, y 13 explotaciones tienen mano de obra familiar y 7 mano de obra asalariada menor de 40 años.

Sobre la calidad de vida y las condiciones de trabajo, los ganaderos disponen de media de alrededor de medio día libre a la semana y menos de una semana de vacaciones al año, aunque 9 reconocen no tener ningún día libre. Pese a la escasa disponibilidad de tiempo libre, los ganaderos valoran su calidad de vida con un 3,0 en una escala de 1 a 5. Un elevado número de ganaderos (33) dicen que tienen que realizar tareas de esfuerzo, y en 16 explotaciones los empresarios tienen o han tenido problemas músculo-esqueléticos graves y en 7 han tenido un accidente laboral importante. Por último, 23 ganaderos consideran que su trabajo es rutinario. Aun así, valoran la calidad de su trabajo con una nota de 3,4 sobre 5. El hecho de que los ganaderos valoren peor su calidad de vida que las condiciones de su trabajo puede deberse a que se trata de una actividad bastante vocacional. En todos los casos, se observan escasas diferencias por sistemas.

En cuanto a la presencia y participación de las mujeres, solo el 26 % de las personas presentes en la explotación son mujeres. En 23 explotaciones hay mujeres presentes, y en 11 se dedican total o parcialmente a la agricultura y/o ganadería. Sobre su grado de participación en la actividad empresarial, solo en 9 explotaciones se trata de empresarias con titularidad. Por último, cabe indicar que las mujeres valoran mejor su calidad de vida que los hombres (3,4 sobre 5).

Indicadores de sostenibilidad ambiental

Los indicadores ambientales propuestos en este trabajo intentan captar la relación entre la actividad ganadera y el medio ambiente, y analizan la gestión de la explotación (tierra y ganado) y el medio, y el uso de inputs y recursos naturales (Tabla 3).

Como ya se ha indicado, todas las ganaderías analizadas pastorean, pero solo una trashuma. De las situadas en zonas de montaña, 3 suben a puerto en verano. En cuanto a la diversidad del paisaje y el cuidado del entorno, 33 explotaciones consideran que hay diversidad visual del paisaje en su zona, y todas creen que el cuidado general del entorno es bueno.

La finca agrícola de la explotación media presenta una orientación productiva normalmente mixta ovino-cereales (cultiva una media de 4,6 especies), que fertiliza con abono orgánico procedente de la explotación ganadera. Se ha recabado también información sobre el manejo sostenible de la finca: rotaciones de cultivos, barbechos, asociaciones de cultivos, mejora de praderas, fabricación de compost y utilización de tratamientos de control integrado. Solo 5 explotaciones no utilizan ninguna de las prácticas descritas, y 32 usan 2 o más, sobre todo el empleo del barbecho, de las rotaciones y de las asociaciones de cultivos forrajeros.

Si analizamos el equilibrio entre ganado y superficies por tipologías, el sistema Montaña

Tabla 3. Indicadores sociales y ambientales.
 Table 3. Social and environmental indicators.

	Media	DT	Secano	Mixto S/R	Montaña
Nº explotaciones	37		17	13	7
Indicadores sociales					
Factor trabajo y sucesión					
% UTA familiar femenina/UTA familiar	12,1	19,9	19,5	5,5	2,0
% UTA familiar menor de 40 años/UTA familiar	21,3	31,4	29,2	15,9	8,2
%UTA asalariada menor de 40 años/UTA asalariada	37,2	37,7	24,5	57,4	28,6
Edad del titular (años)	51,3	8,2	51,1	51,0	52,1
% UTA total dedicada al ovino	78,5	19,9	77,4	82,6	73,5
% Dedicación UTA familiar femenina al ovino	14,8	29,9	21,9	11,5	3,6
Continuidad dentro de 10 años					
SÍ	21		8	8	5
NO	9		6	2	1
NO SABE	7		3	3	1
Calidad de vida y del trabajo					
Días libres a la semana	0,4	0,4	0,3	0,5	0,6
Días de vacaciones al año	6,4	5,7	4,6	8,2	7,4
Valoración del ganadero de su calidad de vida (1-5)	3,0	0,9	3,3	2,7	3,1
Valoración del ganadero de su calidad de trabajo (1-5)	3,4	0,8	3,3	3,7	3,3
Género					
Nº personas presentes en la explotación (que trabajen o no en la misma)	3,1	1,6	3,5	2,6	3,1
% Mujeres presentes en la explotación (que trabajen o no en la misma)	26,0	23,9	32,0	18,1	36,4
Valoración de la mujer de su calidad de vida (1-5)	3,4	1,1	3,2	3,6	3,8
Indicadores ambientales					
UGM/ha SAU	1,09	1,29	1,04	1,01	1,44
UGM/ha SAU forrajera	4,09	11,0	5,59	4,26	2,37
% SAU de prado permanente	2,4	5,7	1,1	2,0	6,2
% SAU de pradera temporal	10,0	24,6	1,0	6,6	38,0
% SAU fertilizada con abono orgánico	60,7	43,0	59,6	58,9	66,8
% SAU tratada con fitosanitarios	29,3	36,0	40,9	39,5	15,0
Nº especies cultivadas	4,6	2,5	4,5	4,6	4,6

DT: Desviación Típica.

presenta la mayor carga ganadera por ha de SAU por disponer de una finca de menor tamaño, y la menor carga por superficie forrajera, debido al mayor porcentaje de SAU dedicada a esta superficie. Además, son las explotaciones que menor porcentaje de SAU tratan con productos fitosanitarios.

Haciendo referencia a la diversidad genética del rebaño y el bienestar animal, en la muestra estudiada todas las ganaderías explotan razas autóctonas, en 35 explotaciones de la muestra el aprisco cuenta con más de 10 m² por Unidad de Ganado Mayor (UGM), tienen parques de ejercicio exteriores, y un buen control de las condiciones ambientales, nivel de limpieza y cuidado de la cama. Por último, en cuanto al nivel de seguimiento y vigilancia, los ganaderos visitan al ganado todos los días en todas las explotaciones excepto en el caso de las del sistema Montaña que suben a puerto, y que durante este periodo suelen visitarlo una vez a la semana.

Focus Groups sobre sostenibilidad (Tabla 4)

a) Ítems económicos (a nivel de explotación)

Los aspectos económicos que afectan a las ganaderías es el apartado al que ganaderos y técnicos han dado más importancia relativa (35,5 % y 33,4 % del tiempo total, respectivamente), especialmente la baja rentabilidad obtenida y la dependencia que sus resultados económicos tienen de las ayudas percibidas. Ambos colectivos consideran la mejora de la rentabilidad como un factor determinante para el mantenimiento y continuidad de las explotaciones existentes y la incorporación de nuevos ganaderos al sector, y que la ganadería ovina ha sido y es importante para complementar las rentas de explotaciones agropecuarias con escasa superficie agrícola. Sobre cómo mejorarla, las opiniones son distintas. Así, los técnicos piensan que existe un

margen de mejora en los resultados técnicos y económicos, dada la variabilidad de los mismos en las explotaciones que supervisan, y les preocupa más que a los ganaderos la mejora de las estructuras productivas, de la autosuficiencia alimentaria y de la productividad. En el caso de los ganaderos, se hace más hincapié en la necesidad de que se incrementen las ayudas y el precio del cordero, y le dan más importancia al asociacionismo en la comercialización. Ambos colectivos dieron mucha importancia a la calidad de los productos, y la consideraban fundamental para mejorar los precios y evitar la competencia en el mercado. En el caso de las ayudas, ganaderos y técnicos consideran que deberían estar acopladas al ganado y no ligadas a la superficie, lo que evitaría su cobro en el caso de ganaderos que han abandonado o reducido la actividad ovina (en este aspecto han hecho especial hincapié los ganaderos, los técnicos y los representantes municipales turolenses que han reivindicado la desaparición de los derechos históricos de pago básico). Por último, los ganaderos han puesto de manifiesto los problemas para la percepción de ayudas que ha supuesto la aplicación del coeficiente de pastos, y han dado mucha importancia a la incertidumbre en que se encuentran sobre cómo será la PAC en el futuro y piensan que debe compensarse mejor la provisión de bienes privados y públicos que realizan.

Los representantes municipales dieron menos importancia relativa a este apartado (16,0 %), y las ayudas recibidas por los ganaderos fue el ítem al que dedicaron más tiempo. Aunque creían que las ayudas eran necesarias, pensaban que debían distribuirse mejor y apoyar la buena gestión, dada la mala imagen social que estaba transmitiendo al exterior este injusto reparto al haberse hecho público el apoyo. Así mismo, dieron importancia a los ítems relacionados con la calidad de los productos y su relación con el turismo, y la necesidad de un mayor grado de asociacionismo

Tabla 4. Porcentaje de tiempo que los participantes dedicaron a los diferentes ítems.
 Table 4. Percentage of time spent by participants to the different items.

	Ganaderos	Técnicos	Representantes municipales
Ítems económicos (a nivel de explotación)	35,5	33,4	16,0
Rentabilidad en general	8,8	8,5	1,0
Ayudas (pago básico, pago verde, agroambientales, etc.)	9,8	3,8	8,1
Estructura productiva y sistema de producción	1,4	4,1	0,9
Precios y calidad de los productos	7,5	7,2	2,4
Precios de los factores de producción y autosuficiencia de alimentos	0,5	3,2	0,9
Mejora y diversificación de la producción	4,1	5,1	0,0
Asociacionismo	3,4	1,5	2,7
Ítems sociales (a nivel de explotación)	20,2	29,2	33,8
Calidad de vida	3,1	2,4	2,4
Condiciones de trabajo	1,8	4,1	1,8
Continuidad y relevo generacional	6,4	5,5	4,5
Reconocimiento social de la actividad	4,0	4,1	3,4
Conflictos con los vecinos, los agricultores, los turistas, los cazadores y la fauna silvestre	1,7	7,2	18,9
Cuestiones de género	1,0	0,5	0,0
Capacitación profesional	2,2	5,4	2,8
Ítems ambientales	10,0	9,7	13,5
Prevención de incendios y de la matorralización de los pastos	5,1	3,7	6,3
Mantenimiento de recursos genéticos (razas autóctonas)	1,0	4,4	0,2
Mantenimiento del paisaje y de la biodiversidad	0,9	0,7	3,0
Mantenimiento de los sistemas de producción tradicionales y de la cultura y tradición pastoril	0,0	0,9	4,0
Cambio climático	3,0	0,0	0,0
Ítems sobre el contexto socio-económico	11,6	18,7	15,0
Desarrollo rural y abandono de los pueblos	4,2	3,0	7,4
Otras producciones agrícolas o ganaderas	5,0	4,8	3,2
Exigencias del mercado, canales de comercialización y consumo de carne de cordero	2,4	10,9	4,4
Ítems sobre el contexto político-legal	22,7	9,0	21,7
Políticas aplicadas al sector	10,2	2,3	10,0
Exigencias y regulaciones administrativas y sanitarias	12,5	6,7	11,7

entre los ganaderos para abarcar toda la cadena de valor. Por último, aunque con menor importancia relativa, también hablaron sobre precios de productos y materias primas y la necesidad de aumentar la rentabilidad para mantener la actividad ovina en sus pueblos.

b) Ítems sociales (a nivel de explotación)

Los ítems sociales fueron los primeros en importancia relativa para los representantes municipales (33,8 % del tiempo total) y los segundos para los técnicos (29,2 %), sobre todo y en ambos casos, destacó su preocupación por los conflictos de los ganaderos con los vecinos, los agricultores, los turistas, los cazadores y la fauna silvestre, y la falta de relevo generacional. La falta de continuidad de las explotaciones también ha sido el ítem sobre el que mayor preocupación han mostrado los ganaderos.

Los tres colectivos opinan que los factores sociales que contribuyen a la falta de relevo en las explotaciones son la mala calidad de vida y duras condiciones de trabajo, y el escaso reconocimiento social de la profesión. A esto habría que añadir la consideración de la actividad como muy vocacional y con un importante componente de tradición familiar. Los ganaderos se van quedando solos, dado que a la pérdida de ayuda familiar se une la dificultad para encontrar mano de obra asalariada en aquellas ganaderías que la necesitan. La menor ayuda familiar se debe a que algunos ganaderos son solteros, a la jubilación de la generación anterior y a la no incorporación a la actividad de la siguiente (a veces son los propios ganaderos los que no quieren que sus hijos continúen con el ganado). Ganaderos y técnicos están de acuerdo en que se están haciendo cosas para mejorar la calidad de vida, como el desarrollo de explotaciones con varios titulares o en forma de sociedad, la introducción de sistemas de alimentación automáticos, de cercados (fijos y móviles), la utilización de GPS para pastoreo,

etc. Sin embargo, algunos técnicos comentan la dificultad para que los ganaderos se asocien y unan sus rebaños de forma temporal para disponer de más tiempo libre.

Aunque la situación ha mejorado en los últimos años, los tres colectivos coinciden en el escaso reconocimiento social de los ganaderos de ovino, y creen que ese reconocimiento es mayor en otras regiones (País Vasco y Cataluña), otros países (Francia), y en zonas con gran vocación ganadera (Pirineo). Los técnicos le dan mayor importancia a la necesidad de mejorar la capacitación profesional de los ganaderos y opinan que es necesario dignificar la profesión y hacerla más atractiva para los jóvenes mediante la incorporación de innovaciones.

Los representantes municipales destacaron los problemas con los vecinos, sobre todo con los que antes no vivían en el pueblo, que no ven ninguna ventaja a que haya ganadería ovina y les molesta la suciedad y los olores. Sin embargo, manifestaron la necesidad para el desarrollo de los pueblos de integrar todas estas actividades en el territorio, por lo que consideraban importante constituir asociaciones de ganaderos para tratar colectivamente estos problemas de convivencia. Ganaderos y técnicos citaron los conflictos que se producen con agricultores que ponen dificultades al pastoreo de sus tierras, ganaderos de vacuno por competencia en el uso de los pastos, cazadores por la presencia de perros sueltos, y mostraron su preocupación por el reciente conflicto entre la ganadería ovina extensiva y la llegada del lobo a Aragón y la introducción del oso en los Pirineos, considerándolo muy preocupante para su sostenibilidad y por tanto para su continuidad en algunas zonas.

c) Ítems ambientales

Los aspectos ambientales han sido a los que los ganaderos, técnicos y representantes municipales han dedicado menos tiempo (10 %;

9,7 % y 13,5 %, respectivamente), aunque coinciden en la importante labor ambiental que hace la ganadería ovina de carne y piensan que tanto la sociedad como la administración no la conocen ni la valoran.

En todos los casos, destacan la importancia del pastoreo para evitar el embastecimiento de los pastos y la proliferación de matorral, con el consiguiente riesgo de incendios forestales y aumento de la utilización de herbicidas en algunas zonas. Esta situación se ha producido tanto en el Pirineo como en tierra baja, donde se han dejado de pastar muchas zonas de monte, ribera y eriales.

Aunque los tres colectivos lo consideraron importante, los representantes municipales dedicaron más tiempo a destacar la labor del pastoreo en el mantenimiento del paisaje y la biodiversidad, y la importancia de mantener en sus municipios la cultura y tradición pastoril. En este sentido, hicieron referencia a que en sus municipios se intenta potenciar el pastoreo facilitando a los ganaderos los puertos y pastos municipales.

Los técnicos mostraron mayor preocupación por el mantenimiento de recursos genéticos mediante la explotación de razas autóctonas desde tres puntos de vista principales: la importancia de ligar las razas a los productos que se obtienen para favorecer su comercialización, la falta de apoyo decidido a estas razas por parte de la administración, y el desconocimiento y falta de valoración de las mismas por parte de los consumidores.

d) Ítems relacionados con el contexto socio-económico general

En este apartado los tres colectivos, especialmente los representantes municipales, han destacado la contribución de la ganadería ovina al desarrollo rural, sobre todo en los pueblos más pequeños, generando economías directas e indirectas y fijando población, ya que obliga a vivir más en el medio rural que otras actividades agrarias.

También han abordado la competencia con otras ganaderías, del vacuno en las zonas de montaña, y sobre todo del porcino de cebo que se está desarrollando mucho en todo Aragón, sustituyendo en algunos casos al ganado ovino por ofrecer mayor rentabilidad y mejor calidad de vida.

En cuanto a las exigencias del mercado, los tres colectivos, especialmente los técnicos, están preocupados por la caída del consumo de carne de cordero en Aragón y España, y consideran importante seguir trabajando en calidad y en la búsqueda de nuevos mercados nacionales e internacionales. En este sentido valoran de forma positiva la labor que se está haciendo por parte del sector en el desarrollo de los nuevos cortes del cordero, y creen que es necesario potenciar el consumo entre los jóvenes y los canales cortos de comercialización para aumentar el consumo local.

e) Ítems relacionados con el contexto político/legal

Este apartado ha sido importante sobre todo para ganaderos y representantes municipales (22,7 % y 21,7 %, respectivamente). Los ganaderos (y también los técnicos) están preocupados fundamentalmente por la política agraria general y las exigencias administrativas derivadas de la misma, y critican la burocracia que ha generado y la falta de apoyo y acompañamiento por parte de la administración. Los representantes municipales han hecho referencia sobre todo a las normativas ambientales y urbanísticas relacionadas con las actividades ganaderas. Los tres colectivos citaron las normativas sanitarias y lo negativo que ha sido para el consumo y la comercialización en canales cortos el cierre de los mataderos municipales y las carnicerías de los pueblos. Todas estas cuestiones les hacen pensar en la necesidad de políticas más coherentes para el sector, no siendo un factor limitante los recursos económicos necesarios.

Discusión

Sostenibilidad económica

A pesar de la especialización productiva, de la comercialización asociativa de los corderos, y del elevado nivel de producción de las explotaciones analizadas, los ingresos procedentes de su actividad productiva cubren exclusivamente los costes objetivos. Por tanto, si consideramos los costes estimados, sus resultados económicos sin ayudas son negativos, por lo que carecen de sostenibilidad económica en este escenario y son muy dependientes de las subvenciones que reciben (Caballero, 2001; Gaspar et al., 2008). Como en nuestro caso, la no cuantificación del coste de la mano de obra familiar por parte de los ganaderos explica la subsistencia de algunas explotaciones (Toro-Mujica et al., 2012). Por otra parte, la baja rentabilidad, sumada a la fuerte inversión necesaria para el establecimiento de esta actividad productiva, es un freno para la instalación de nuevos ganaderos en el sector. Destaca la importante variabilidad en los ingresos, costes y resultados económicos obtenidos, ya que como indica Veyssset et al. (2005), los resultados económicos no dependen tanto de un sistema de producción como de la resultante compleja de las características estructurales, técnicas y económicas de las explotaciones.

Por sistemas, el Mixto S/R presenta la mayor rentabilidad y autonomía alimentaria, y la menor dependencia de las subvenciones, lo que demuestra que la integración entre cultivos y ganadería es más sencilla en explotaciones que disponen de superficie de regadío. Por otra parte, la menor dependencia de los insumos externos reduce los efectos de los recursos escasos o las fluctuaciones de los precios (Bernués et al., 2011). Así pues, esta autosuficiencia puede proporcionar flexibilidad en un contexto de disminución progresiva o desaparición de ayudas al sector. El sistema Secano presenta la menor autonomía

alimentaria y el sistema Montaña es el menos rentable y el más dependiente de las ayudas, por su menor productividad y mayores costes de alimentación debidos al mayor periodo de estabulación de los animales. Sin subvenciones, ningún sistema es capaz de retribuir la mano de obra familiar.

Como consecuencia del desacoplamiento de las ayudas, si además va acompañado con precios elevados de cereales, en zonas con explotaciones agropecuarias con una importante finca agrícola, la tentación de reducir o abandonar la actividad ganadera es grande para algunos productores. Para otros productores en zonas de pastos (montaña por ejemplo), el aumento del precio de los cereales incrementará los costes de producción, sobre todo en aquellos ganaderos que más los utilizan. Por otra parte, la eliminación o reducción de las ayudas asociadas puede hacer que los ganaderos probablemente abandonen o reduzcan su producción, ya que los precios de mercado por si solos no son lo suficientemente altos como para darles un ingreso razonable (Canali, 2006), situación de mercado que parece difícil que cambie en el futuro.

Sostenibilidad social

En la bibliografía existente se ha considerado positivo para la sostenibilidad social: que estén varias personas al frente de la explotación pues así se comparten cargas y problemas, se toman decisiones en conjunto, y mejora la calidad de vida y del trabajo (pueden sustituirse y disponer de más tiempo libre) (Ruiz et al., 2008); que exista un elevado grado de implicación con la actividad agraria y que haya mano de obra familiar, pues garantiza modelos más sostenibles a largo plazo, dado que los trabajadores por cuenta propia están, en promedio, más satisfechos con sus trabajos que los asalariados (Benz y Frey, 2008); que los jóvenes se incorporen al trabajo y gestión de la explotación y asegu-

ren el relevo generacional (Caballero, 2001); y que existan mujeres con implicación en la actividad agropecuaria (Herrera, 2019).

En nuestro estudio, a pesar del elevado grado de profesionalización de los ganaderos de la muestra, de disponer de más de una unidad de trabajo dedicada a la actividad ovina, del alto porcentaje de mano de obra familiar, y de que se trata de una actividad muy vocacional, la sostenibilidad social de las explotaciones analizadas se ve comprometida por la mala calidad de vida y las duras condiciones de trabajo, la elevada edad media de los ganaderos, la falta de relevo generacional, y la poca presencia de mujeres en la explotación y su bajo nivel de empoderamiento. A esto habría que añadir, como se ha puesto de manifiesto en los FG, la falta de mano de obra asalariada estable, formada y eficiente (Caballero et al., 2007); la competencia con otras actividades ganaderas; y el conflicto entre ganadería extensiva y la presencia creciente de depredadores (Lavín et al., 2018).

Estos aspectos son claves para entender la evolución que pueden sufrir en el futuro las ganaderías y los sistemas ovinos de carne, y el sector en general. Los jóvenes tienden a ser reacios a involucrarse en el sector ovino debido a las duras condiciones de trabajo (Caballero, 2001), lo que condiciona la continuidad de estas explotaciones (Bernués et al., 2011). La necesidad de realizar pastoreo conducido con los animales es una de las razones que endurece el trabajo y disminuye la calidad de vida, pudiéndose percibir como un sistema de producción insostenible a pesar de los claros beneficios que provee (Manzano-Baena y Salguero-Herrera, 2018). Por otra parte, el abandono del medio rural por parte de las mujeres plantea un problema real de sostenibilidad social (Ní Laoire, 2001), y el género es un factor principal a la hora de explicar la despoblación rural y el colapso de los sistemas pastorales (Manzano-Baena y Salguero-Herrera, 2018).

En general, en los indicadores sociales estudiados no se observan diferencias importantes entre los tres sistemas diferenciados, lo que demuestra que las cuestiones que afectan al factor trabajo y a la sostenibilidad social son generales en el sector.

Sostenibilidad ambiental

Desde el punto de vista de la sostenibilidad ambiental se considera positivo: la adecuada carga ganadera, que contribuye a la estabilidad ecológica de los sistemas ganaderos (Gaspar et al., 2009); el pastoreo de restos de cosechas, montes comunales, puertos u otros pastos naturales, ya que los sistemas ganaderos basados en pastizales son altamente sostenibles (Rodríguez-Ortega et al., 2017), y tienen la capacidad de convertir grandes áreas de recursos naturales y renovables en alimentos sin competir con la nutrición humana (Wilkinson, 2011), contribuyendo a la economía circular (Herrera et al., 2018); la diversidad del paisaje y el cuidado del entorno, resultado de una gestión agropecuaria a largo plazo (Baldock et al., 1993); el porcentaje de SAU destinado a praderas; el abonado con materia orgánica; el menor uso de fitosanitarios; el número de especies cultivadas, ya que como afirma Bernués et al. (2016) la ganadería incrementa la diversidad de cultivos para alimentar al ganado, favoreciendo por tanto la biodiversidad; y la utilización de buenas prácticas para el manejo sostenible de la finca. En cuanto al ganado, la producción extensiva con razas autóctonas, de gran robustez y buena adaptación al territorio, contribuye notablemente a la protección del medio ambiente y su biodiversidad (Gaspar et al., 2008). Además, uno de los objetivos actuales de los sistemas ganaderos debe ser asegurar un funcionamiento respetuoso con el medio ambiente, considerando aspectos éticos de la producción, como es el bienestar de los animales (Ruiz y Oregui, 2001), y

en este trabajo se ha considerado de forma positiva el grado de seguimiento y vigilancia del rebaño, la disponibilidad de apriscos y parques con espacio suficiente, la limpieza y condiciones ambientales, y la disponibilidad de comederos y bebederos para el ganado.

Aunque las explotaciones de la muestra presentan una elevada carga ganadera sobre superficie forrajera, con bajo porcentaje de praderas, puede considerarse que la carga ganadera sobre SAU es adecuada y en general realizan un manejo sostenible de su finca agrícola. Además, mantienen sistemas de producción tradicionales, basados en el pastoreo de recursos naturales renovables y residuos agrarios y en la utilización de razas autóctonas, destacando un elevado nivel de bienestar animal. Por otra parte, como se ha puesto de manifiesto en los FG, las explotaciones ovinas de carne contribuyen al mantenimiento de la biodiversidad, de los paisajes tradicionales y del entorno, y de las tradiciones y cultura pastoril, y a evitar la matorralización de los pastos en diversas zonas, lo que contribuye a prevenir los incendios forestales.

Por tipologías, el sistema Montaña es el que presenta los mejores valores en estos indicadores (lo contrario ocurre con el sistema Secano), lo que nos indicaría que es más sostenible ambientalmente, aunque lo es menos desde el punto de vista económico. Estos resultados coinciden con los obtenidos por Ripoll-Bosch *et al.* (2012) en explotaciones ovinas del norte de España, donde observó una clara compensación entre los indicadores económicos y ambientales, es decir, cuanto mayor era la sostenibilidad económica, menor era la sostenibilidad ambiental.

Focus Groups

La evaluación integrada de la sostenibilidad no solo debe incluir indicadores de sostenibilidad económica, social y ambiental, sino que también debe seguir un enfoque participativo

para comprender las relaciones múltiples (compensaciones y sinergias) entre estos indicadores y las prioridades de los interesados (Ripoll-Bosch *et al.*, 2012), ya que la sostenibilidad puede ser entendida de manera diferente por diversos actores (Bernués *et al.*, 2018).

El número de FG realizados fue limitado, y los representantes municipales no eran representativos de la población en general no ligada al sector ovino. Además, y como afirma Bernués *et al.* (2016), tampoco es correcta la representación de los ítems como proporcionales a los tiempos de discusión, ya que esta suposición podría no ser apropiada cuando hay puntos confusos y desacuerdos o negociaciones que podrían ser discutidos extensamente. Sin embargo, nuestros FG fueron exploratorios y los participantes discutieron sobre temas sobre los que estaban familiarizados e importantes para ellos, lo que nos permitió alcanzar una correcta comprensión de las ideas y sentimientos de los participantes con respecto a la sostenibilidad de la producción ovina de carne.

De los FG realizados podemos afirmar que los ganaderos y técnicos, con pocas diferencias entre ellos, han otorgado mayor importancia a cuestiones económicas y sociales que a la sostenibilidad ambiental. Ambos colectivos consideran la baja rentabilidad obtenida como un factor determinante para el mantenimiento y continuidad futura de las explotaciones, incluso por delante de la calidad de vida y la falta de relevo generacional, dos apartados a los que también se les ha dado mucha importancia.

Todos los colectivos creen que es necesario mejorar la distribución de las ayudas desacopladas y han considerado lamentable la existencia de ganaderos que perciben ayudas sin tener animales. Las ayudas actuales no están logrando los objetivos de sostenibilidad económica y social (Soriano *et al.*, 2018), y si no se corrige esta situación se seguirá incentivando el abandono de la actividad y la reducción de los censos, con consecuencias muy

negativas en las zonas más desfavorecidas y de montaña (Bertolozzi-Caredio et al., 2021).

También es generalizado el reconocimiento a la importante labor ambiental que realiza la ganadería ovina de carne (Rossi, 2017), y creen que la PAC actual no reconoce suficientemente el valor de estos servicios ambientales (Peco et al., 2017). En este sentido, queremos destacar la Resolución de 3 de abril de 2018 del Parlamento Europeo que apoya la necesidad de establecer un pago medioambiental en reconocimiento del papel que desempeñan los sectores ovino y caprino a la hora de aportar bienes públicos, en especial cuando se basa en el pastoreo extensivo (Parlamento Europeo, 2018).

Por último, podemos decir que los ganaderos estaban más preocupados por el contexto político/legal (coincidiendo con los resultados de Bernués et al., 2016) y los representantes municipales por las cuestiones socio-económicas generales. Los ganaderos mostraron su preocupación por las crecientes exigencias administrativas derivadas de la aplicación de la PAC, y los representantes municipales por los conflictos con los vecinos y turistas, pero valoraban de forma positiva la contribución del sector al desarrollo rural. No debe olvidarse, y en este punto los tres colectivos estaban de acuerdo, que la ganadería ovina de carne tiene una función social decisiva en el medio rural (European Commission, 2018), ya que desempeña un papel significativo en el mantenimiento de la población y del empleo directo e indirecto en algunas de las áreas más desfavorecidas (Canali, 2006). Así, dada la importancia socioeconómica de mantener la población en las zonas rurales en general, y las desfavorecidas en particular, el mantenimiento de las explotaciones ovinas proporciona un valor positivo a la economía rural y la lucha contra la despoblación, por lo que sería necesario promover apoyos políticos y sociales a esta ganadería que favorezcan su permanencia y desarrollo con la incorporación de jóvenes y mujeres al sector (Herrera, 2019).

Conclusiones

Las ganaderías analizadas parecen comportarse mejor desde el punto de vista de la sostenibilidad ambiental, pero a juzgar por los resultados de los grupos de discusión, se encuentran al límite de su sostenibilidad económica y social. Según los indicadores analizados, el sistema Mixto S/R presenta la mayor sostenibilidad económica y el sistema Montaña la mayor sostenibilidad ambiental.

La ganadería ovina de carne en Aragón se enfrenta a desafíos económicos, institucionales, sociales y ambientales interconectados que amenazan su continuidad en muchos pueblos. El estudio realizado contribuye a mejorar la comprensión sobre estos desafíos y predecir la evolución que puede sufrir el sector en el futuro, y puede ser útil para diseñar medidas de política agraria que permitan asegurar la continuidad de sistemas de producción verdaderamente sostenibles.

Agradecimientos

Trabajo financiado con los Proyectos PIRINNOVI (EFA103/15, Programa Interreg V-A POCTEFA 2014-2020) y TERINNOVI (FITE 2017). Nuestro agradecimiento a los ganaderos, técnicos y representantes municipales que han participado en los grupos de discusión, y a la cooperativa Oviaragón-Grupo Pastores sin cuya colaboración no hubiese sido posible la realización de este trabajo.

Referencias bibliográficas

- Baldock D, Beaufoy G, Bennett G, Clark J (1993). Nature conservation and new directions in the EC common agricultural policy. Institute for European Environmental Policy, London and Arnhem. 224 pp.

- Barrantes O, Ferrer C, Reine R, Broca A (2009). Categorization of grazing systems to aid the development of land use policy in Aragon, Spain. *Grass Forage Science* 64: 26-41. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.2008.00666.x>.
- Benz M, Frey BS (2008). Being independent is a great thing: Subjective evaluations of self-employment and hierarchy. *Economica* 75: 362-383. <https://doi.org/10.1111/j.1468-0335.2007.00594.x>.
- Bernués A, Ruiz R, Olaizola AM, Villalba D, Casasús I (2011). Sustainability of pasture-based livestock farming systems in the European Mediterranean context: synergies and trade-offs. *Livestock Science* 139: 44-57. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2011.03.018>.
- Bernués A, Tello-García E, Rodríguez-Ortega T, Ripoll-Bosch R, Casasús I (2016). Agricultural practices, ecosystem services and sustainability in High Nature Value farmland: Unraveling the perceptions of farmers and nonfarmers. *Land Use Policy* 59: 130-142. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2016.08.033>.
- Bernués A, Rodríguez-Ortega T, Martín-Collado D, Casasús I, Olaizola AM (2018). Evaluación de sostenibilidad en ovino de carne. *Actas del XLIII Congreso de la Sociedad Española de Ovino-tecnia y Caprinotecnica (SEOC)*, 19-21 septiembre, Zaragoza, pp. 29-45.
- Bertolozzi-Caredio D, Soriano B, Bardají I, Garrido A (2021). Economic risk assessment of the quality labels and productive efficiency strategies in Spanish extensive sheep farms. *Agricultural Systems* 191: 103169. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2021.103169>.
- Caballero R (2001). Typology of cereal-sheep farming systems in Castilla-La Mancha (South-central Spain). *Agricultural Systems* 68: 215-232. [https://doi.org/10.1016/S0308-521X\(01\)00009-9](https://doi.org/10.1016/S0308-521X(01)00009-9).
- Caballero R, Riseth JA, Labba N, Tyran E, Musial W, Molik E, Boltshauser A, Hofstetter P, Gueydon A, Roeder N, Hoffmann H, Belo Moreira M, Brito O, Seita Coelho I, Gil A (2007). Comparative typology in six European low-intensity farming systems of grassland management. *Advances in Agronomy* 96: 351-420. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(07\)96001-0](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(07)96001-0).
- Canali G (2006). Common agricultural policy reform and its effects on sheep and goat market and rare breeds conservation. *Small Ruminant Research* 62: 207-213. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2005.08.021>.
- European Commission (2018). Special Eurobarometer 473. Europeans, Agriculture and the CAP. Bruselas. 208 pp.
- Gaspar P, Escribano M, Mesías FJ, Rodríguez de Ledesma A, Pulido F (2008). Sheep farms in the Spanish rangelands (dehesas): Typologies according to livestock management and economic indicators. *Small Ruminant Research* 74: 52-63. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2007.03.013>.
- Gaspar P, Mesías FJ, Escribano M, Pulido F (2009). Evaluación de la sostenibilidad en explotaciones de dehesa en función de su tamaño y orientación ganadera. *ITEA- Información Técnica Económica Agraria* 105(2): 117-141.
- Gobierno de Aragón (2016). El ovino y caprino en Aragón: su evolución en los últimos 20 años (1996-2016). Departamento de Desarrollo Rural y Sostenibilidad, Gobierno de Aragón. 23 pp.
- Herrera P, Majadas J, Ramírez N, Rico L, Esteban A (2018). Huella ecológica, económica, social y sanitaria de la Ganadería en España. Fundación Entretantos, informe para Greenpeace España. 115 pp.
- Herrera P (2019). Extensificación en modelos de ovino y caprino y su influencia en la sostenibilidad. *Actas del XLIV Congreso de la SEOC*, 18-20 de septiembre, Córdoba, España, pp. 163-170.
- Lahoz B, Alabart JL, Jurado JJ, Calvo JH, Martínez-Royo A, Fantova E, Folch J (2011). Effect of the *FecX^R* polymorphism in the bone morphogenetic protein 15 gene on natural or equine chorionic gonadotropin-induced ovulation rate and litter size in Rasa Aragonesa ewes and implications for on-farm application. *Journal of Animal Science* 89: 3522-3530. <https://doi.org/10.2527/jas.2010-3828>.
- Lavín P, Bello JM, Mantecón AR (2018). Sostenibilidad en pequeños rumiantes: sostenibilidad social. *Actas del XLIII Congreso de la SEOC*, 19-21 de septiembre, Zaragoza, España, pp. 57-68.

- Manzano-Baena P, Salguero-Herrera C (2018). Pastoreo Móvil en el Mediterráneo: Argumentos y evidencias para una reforma política y para combatir el cambio climático. Mediterranean Consortium for Nature & Culture. 58 pp.
- MAPAMA (2018). El sector ovino y caprino de carne en cifras: Principales Indicadores Económicos. Subdirección General de Productos Ganaderos, Dirección General de Producciones y Mercados Agrarios. 71 pp.
- MAPAMA (2020). Ovino de carne. Informe de base de datos económica. Ejercicio económico de 2019. Red Nacional de Granjas Típicas. Dirección General de Producciones y Mercados Agrarios. 33 pp.
- Matthews KB, Wright IA, Buchan K, Davies DA, Schwarz G (2006). Assessing the options for upland livestock systems under CAP reform: developing and applying a livestock systems model within whole-farm systems analysis. *Agricultural Systems* 90(1-3): 32-61. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2005.10.008>.
- Ní Laoire C (2001). A matter of life and death? men, masculinities and staying 'behind' in rural Ireland. *Sociologia Ruralis* 41: 220-236. <https://doi.org/10.1111/1467-9523.00179>.
- Olaizola AM, Ameen F, Manrique E (2015). Potential strategies of adaptation of mixed sheep-crop systems to changes in the economic environment in a Mediterranean mountain area. *Livestock Science* 176: 166-180. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2015.03.012>.
- Pardos L, Fantova E, Cuartielles I, Equipo veterinario de Oviaragón-Grupo Pastores (2016). Evolución de la estructura productiva y de los resultados técnicos de una muestra constante de explotaciones ovinas de carne en Aragón en los últimos 20 años (periodo 1995-2014). *Actas del XLI Congreso de la SEOC*, 14-16 de septiembre, Talavera de la Reina, Toledo, pp. 332-337.
- Parlamento Europeo (2018). Informe sobre la situación actual y perspectivas de futuro de los sectores ovino y caprino (2017/2117 (INI)). Comisión de Agricultura y Desarrollo Rural. 27 pp.
- Peco B, Navarro E, Carmona CP, Medina NG, Marques MJ (2017). Effects of grazing abandonment on soil multifunctionality: the role of plant functional traits. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 249: 215-225. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.08.013>.
- Ripoll-Bosch R, Díez-Unquera B, Ruiz R, Villalba D, Molina E, Joy M, Olaizola AM, Bernués A (2012). An integrated sustainability assessment of Mediterranean sheep farms with different degrees of intensification. *Agricultural Systems* 105: 46-56. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2011.10.003>.
- Ripoll-Bosch R, Joy M, Bernués A (2014). Role of self-sufficiency, productivity and diversification on the economic sustainability of farming systems with autochthonous sheep breeds in less favoured areas in Southern Europe. *Animal* 8: 1229-1237. <https://doi.org/10.1017/S1751731113000529>.
- Rodríguez-Ortega T, Bernués A, Olaizola AM, Brown MT (2017). Does intensification result in higher efficiency and sustainability? An emergy analysis of Mediterranean sheep-crop farming systems. *Journal of Cleaner Production* 144: 171-179. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.089>.
- Rossi R (2017). The sheep and goat sector in the EU Main features, challenges and prospects. In: *European Parliamentary Research Service (EPRS) Briefing PE 608.663*.
- Ruiz FA, Castel JM, Mena Y, Camúñez J, González-Redondo P (2008). Application of the technico-economic analysis for characterizing, making diagnoses and improving pastoral dairy goat systems in Andalusia (Spain). *Small Ruminant Research* 77 (2-3): 208-220. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2008.03.007>.
- Ruiz R, Oregui L (2001). El enfoque sistémico en el análisis de la producción animal: revisión bibliográfica. *Investigación Agraria: Producción y Sanidad Animal* 16(1): 29-61.
- Soriano B, Bertolozzi-Caredio D, Bardaji I (2018). Assessing how policies enable or constrain the resilience of the extensive sheep grazing system in Northeast Spain (Spain): An application of the Resilience Assessment Tool (ResAT). En: *SURE-Farm Deliverable 4.2*, (H2020, No.727520).

- Toro-Mujica P, García A, Gómez-Castro A, Perea J, Rodríguez-Estévez V, Angón E, Barba C (2012). Organic dairy sheep farms in south-central Spain: typologies according to livestock management and economic variables. *Small Ruminant Research* 104: 28-36. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2011.11.005>.
- Veysset P, Bébin D, Lherm M (2005). Adaptation to Agenda 2000 (CAP reform) and optimization of the farming system of French suckler cattle farms in the Charolais area: a model-based study. *Agricultural Systems* 83 (2): 179-202. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2004.03.006>.
- Veysset P, Benoit M, Laignel G, Bébin D, Roulenc M, Lherm M (2014). Analyse et déterminants de l'évolution des performances d'élevages bovins et ovins allaitants en zones défavorisées de 1990 à 2012. *INRA Productions Animales* 27: 49-64.
- Wilkinson JM (2011). Re-defining efficiency of feed use by livestock. *Animal* 5: 1014-1022. <https://doi.org/10.1017/S175173111100005X>.

(Aceptado para publicación el 20 de enero de 2022)

Estrategias de bioeconomía circular. Un análisis comparativo a nivel europeo

Ana C. Casillas-González¹, María Natividad Pérez-Camacho¹,
Manuel García-López², M. Mar Cátedra-Cerón², Carmen Capote²,
Ignacio Martín-Jiménez³ y Anastasio J. Villanueva^{4,*}

¹ Tragsatec, Grupo Tragsa. Sevilla, España. C/ Parsi 5 (8), 41016 Sevilla, España

² CAGPDS – Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible, Junta de Andalucía (Sevilla). C/ Tabladilla s/n, 41001, Sevilla, España

³ CIRCE – Centro de Investigación de Recursos y Consumos Energéticos. Parque Empresarial Dinamiza Av. Ranillas 3D (1), 50018, Zaragoza, España

⁴ IFAPA – Instituto Andaluz de Investigación y Formación Agraria, Pesquera, Alimentaria y de la Producción Ecológica. Centro IFAPA Camino de Purchil s/n, Aptdo. 2027, 18004, Granada, España

Resumen

En la última década, la bioeconomía circular está apareciendo en la agenda política cada vez con más intensidad, tanto a nivel internacional y comunitario, como a nivel nacional y regional. En el presente trabajo se realiza un análisis comparativo de las estrategias relativas a la bioeconomía circular en una selección de países (Austria, Alemania, España, Francia, Italia, Letonia y Reino Unido) y regiones de Europa (Baden-Württemberg (DE), Andalucía (ES), Pays de la Loire (FR), Flandes (BE) y Mazovia (PO)), con el objetivo de identificar aspectos comunes y específicos en cada caso. Del análisis se puede deducir lo que sería una estrategia "tipo", la cual estaría impulsada por la administración pública, implicaría a un amplio espectro de sectores (especialmente sector primario y la bioindustria), y emplearía una variedad de instrumentos de política donde destacarían las acciones de comunicación y concienciación, educación y formación de los trabajadores y empresarios, incentivos positivos (p. ej., ayudas a la I+D+i), asistencia técnica y de coordinación de iniciativas y simplificación normativa. Asimismo, se realizan recomendaciones de cara a mejorar la eficacia y sostenibilidad de las futuras estrategias de bioeconomía circular.

Palabras clave: Bioeconomía, economía circular, Pacto Verde, Horizonte Europa.

Circular bioeconomy strategies: A comparative analysis at a European level

Abstract

In the last decade, the circular bioeconomy (CBE) has been appearing on the political agenda with increasing intensity, both at the international and EU level, as well as at the national and regional level. In this paper, a comparative analysis of CBE strategies in a selection of countries (Austria, Germany, Spain, France, Italy, Latvia, and the United Kingdom) and regions in Europe (Baden-Württemberg (DE), Andalusia (ES), Pays de la Loire (FR), Flanders (BE) and Mazovia (PO)), with the objective of identifying common and specific aspects in each case. From the analysis, it can be deduced what would be a "typical" strategy, which would be driven by the public administration, involve a wide range of sectors (especially primary sector and bioindustry), and employ a variety of policy instruments where communication and awareness, education and training of workers and entrepreneurs, positive incentives (e.g., aid to R+D+i), technical and coordination assistance of initiatives and simplification of legislation would stand out. Likewise, recommendations are made to improve the effectiveness and sustainability of future circular bioeconomy strategies.

* Autor para correspondencia: anastasioj.villanueva@juntadeandalucia.es

Cita del artículo: Casillas-González AC, Pérez-Camacho MN, García-López M, Cátedra-Cerón MM, Capote C, Martín-Jiménez I, Villanueva AJ (2023). Estrategias de bioeconomía circular. Un análisis comparativo a nivel europeo. ITEA-Información Técnica Económica Agraria 118(4): 613-630. <https://doi.org/10.12706/itea.2022.016>

lusia (ES), Pays de la Loire (FR), Flanders (BE), and Mazovia (PO)) is carried out to identify common and specific aspects. From the analysis, a “typical” strategy could be defined. It would be driven by the public administration, would involve a wide range of sectors (especially the primary sector and the bioindustries), and would employ a variety of policy instruments including communication and awareness-raising actions, education and training of workers and entrepreneurs, positive incentives (e.g., R&D&I support), technical assistance and coordination of initiatives, and regulatory simplification. Additionally, recommendations are made towards improving the effectiveness and sustainability of future CBE strategies.

Keywords: Bioeconomy, Circular Economy, European Green Deal, Horizon Europe.

Introducción

La bioeconomía (BE) se centra en la producción de recursos biológicos renovables y la conversión de estos recursos y sus corrientes residuales en productos de valor añadido, como alimentos, piensos, productos de base biológica o bioenergía (CE, 2012). Por su parte, la economía circular (EC) es un modelo productivo y de consumo enfocado a mantener el valor de los productos, materiales y recursos en la economía durante el mayor tiempo posible, minimizando la generación de residuos (CE, 2018a)¹. Por tanto, la integración de ambas, esto es, la bioeconomía circular (BEC), aparece con la vocación de representar un modelo económico sostenible (económica, social y ambientalmente) (Carus y Dammer, 2018; Kardung et al., 2021). Así, mientras que la BE agrupa a múltiples sectores económicos ya existentes, incluyendo al sector primario (agricultura, silvicultura, pesca y acuicultura), al sector industrial con base biológica (industria alimentaria, textil, papelera, química, farmacéutica, etc.) y al sector servicios (consultoría, logística, comercio, transporte, etc.); la BEC engloba aquellas actividades económicas con base biológica que a su vez aplican consecuentemente los principios de la circularidad en sus procesos productivos.

No en vano, en la última década, la integración de la circularidad en las actividades relacionadas con la BE está adquiriendo mayor presencia en la agenda política, a nivel internacional (OECD, 2018) y comunitario, con la publicación de la Estrategia Europea de BE en 2012 y su actualización en 2018 (CE, 2018b), y del Plan de Acción de EC en 2015 y su actualización en 2020 (CE, 2020a). La BEC también cobra importancia a nivel nacional, p. ej., en España, con la adopción de la Estrategia Española de BE en 2015 (MINECO, 2015) y de la Estrategia Española de EC en 2020 (MITECO, 2020); y regional, como, por ejemplo, la Estrategia Andaluza de BEC (CAPDR, 2018). Recientes iniciativas, como el Pacto Verde Europeo (CE, 2019), vienen a confirmar el papel que se espera de la BEC en la Unión Europea (UE) del futuro, así como en cada una de sus regiones. Precisamente, se observa cómo en las regiones y Estados miembros se están comenzando a implementar instrumentos de planificación política (estrategias, planes de acción, etc.) para fomentar el desarrollo de este sector, en buena medida auspiciados por el empuje político mostrado a escala superior. Teniendo en cuenta el reciente advenimiento del concepto de la BEC y de sus conceptos asociados (BE y EC), la comparación entre cómo se han diseñado y se están im-

1. No existe una definición consensuada de la BE y la EC, ni de sus sectores involucrados – para una revisión bibliográfica sobre distintas definiciones puede consultarse Giampetro (2019). Un análisis conceptual de ambos términos queda fuera del alcance del presente estudio.

plementando estos instrumentos en los Estados y las regiones resulta útil de cara a identificar aspectos relevantes para la mejora del diseño de futuros documentos de planificación estratégica y/o revisión de los existentes.

La literatura muestra cómo las políticas relacionadas con la BE han proliferado en numerosos países. En efecto, estudios previos muestran más de medio centenar de políticas nacionales relacionadas con este sector económico, ya sea orientadas a la mitigación del cambio climático, la seguridad energética y la protección de las industrias nacionales de energía o, más directamente, al sector agroalimentario (Domínguez y Siwa, 2019; GBC, 2015). La OECD (2019) revisa, por ejemplo, un elevado número de estrategias nacionales u otros documentos relacionados con la BE, poniendo un especial foco en la agroalimentación, concluyendo, entre otros, que el éxito de la aplicación de las estrategias de BE depende de enfoques políticos transversales para facilitar el desarrollo del mercado, y de la concienciación de los consumidores. En algunos casos, estas estrategias han sido desarrolladas a nivel nacional o regional con un enfoque económico o de innovación, siendo parte de la estrategia de crecimiento y especialización inteligente (EEA, 2018). En otros casos, el desarrollo de estos documentos ha sido impulsado por proyectos supranacionales. En este sentido, destacan proyectos como BioSTEP, a través del cual se impulsó el desarrollo de estrategias para una región italiana (Veneto) y otra búlgara (Stara Zagora); CELEBIO, que ayudó a desarrollar Planes de Acción para Bulgaria, Croacia, República Checa, Hungría, Eslovaquia y Eslovenia; POWER4BIO, del que nace la estrategia de Mazovia (Polonia) o el Plan de Acción de Flandes (Bélgica); BIOEAS-TsUP, que apoya el desarrollo de la BEC en 11 países del este de Europa (Bulgaria, Croacia, República Checa, Hungría, Polonia, Rumanía, Eslovaquia, Eslovenia, y los tres Estados Bálticos: Estonia, Letonia y Lituania) (LIFT Project, 2020); o BioMonitor, relacionado con la mo-

nitorización y medición de la BE y su impacto económico, medioambiental y social en la UE y sus Estados miembros.

El diseño e implementación de las estrategias de BE es muy diverso, en buena medida debido a la escala de implantación (políticas nacionales o regionales) o a los impulsores principales (administración pública o apoyo privado de la industria) (Charles et al., 2016). En la actualidad, la mayoría de las estrategias reconocen la oportunidad que la BE puede brindar para abordar los desafíos fundamentales que afronta la sociedad, como son el cambio climático, los recursos naturales limitados (incluidos los combustibles fósiles), el crecimiento económico y la creciente demanda de alimentos seguros y saludables y de materias primas (OECD, 2019). Estos trabajos anteriormente mencionados, se centran en la evaluación de políticas con una atención sectorial expresa, especialmente respecto de los sectores agroalimentario o energético. El Consejo Consultivo Internacional de Bioeconomía Global (IACGB, 2020) resalta el aumento del protagonismo de la EC como tendencia decisiva en las nuevas estrategias dedicadas a la BE. Ello se atestigua igualmente en un estudio reciente que recopila los documentos de planificación estratégica de BE a nivel regional en la UE (Haarich y Kirchmayr-Novak, 2022). No obstante, la relación entre estos dos conceptos y su concepto integrador (la BEC) están sometidos todavía a discusión en el ámbito académico. De la misma manera, una evaluación profunda de la integración de la circularidad en las estrategias de BE, i.e. la BEC, aún no se ha llevado a cabo. En este sentido, se carece de una evaluación de los instrumentos de política usados para la implementación de medidas para el desarrollo de la BEC general, evitando asimismo cualquier foco en un sector concreto.

En este contexto, el presente estudio tiene por objetivo realizar un análisis comparativo entre instrumentos de planificación política

dirigidos al desarrollo de la BEC, especialmente estrategias, en diversas naciones y regiones europeas, evaluando la integración de criterios de circularidad en la BE, identificando aspectos comunes y diversos, así como elementos ausentes relevantes para el desarrollo de la BEC. El fin último de este análisis es el apoyo en la toma de decisiones relativas al diseño de nuevos instrumentos de planificación política dirigidos a fomentar el desarrollo de la BEC a escala nacional y regional.

Material y métodos

El presente estudio está basado en la revisión de las estrategias de BE en una selección de países y/o regiones de Europa. De la revisión se ha podido constatar la heterogeneidad de documentos de planificación política (estrategias, hojas de ruta, planes de acción, declaraciones, etc.) y aproximaciones (desde la BE, la EC, así como otras –p. ej., economía verde) existentes en el continente europeo. Con objeto de poder realizar un análisis comparativo sistemático de documentos de planificación “comparables” (i.e. con características parecidas), el criterio de selección utilizado fue el de “región o Estado donde existe una estrategia de BE actualizada y aprobada [a fecha 1/7/2021], que presente un compromiso presupuestario para su implementación” y cuyos documentos fuesen accesibles en inglés o castellano. Así, se identificaron los siguientes doce Estados y/o regiones euro-

peas que cumplían con estos requisitos: Austria (AT), Alemania (DE), España (ES), Francia (FR), Italia (IT), Letonia (LV) y Reino Unido (UK); Baden-Württemberg (DE), Andalucía (ES), Pays de la Loire (FR), Flandes (BE) y Mazovia (PO)^{2,3}. El análisis se ha circunscrito a los documentos de *estrategia* si bien la información se ha complementado con otros documentos de planificación (especialmente planes de acción) en los casos en los que estos estuvieran disponibles (p. ej., Francia, Italia, Flandes, Mazovia). La Tabla 1 muestra la información básica (título, referencia, horizonte temporal, extensión) de los documentos analizados.

Para facilitar la consulta de la información extraída, se ha diseñado una tabla con ítems relevantes que han sido detectados para cada una de las estrategias analizadas, a partir de un proceso secuencial de identificación en el que se partió de una lista amplia de ítems de la que se fueron descartando aquellos considerados menos pertinentes, a medida que se fue avanzando en el análisis de las estrategias⁴. Entre los ítems seleccionados, se incluyen los relacionados con la conceptualización e implementación, el alcance (relevancia de los conceptos de BEC y EC en la estrategia, líneas estratégicas asociadas con el enfoque de la EC, horizonte temporal, iniciativa e impulsor y sectores); los objetivos; los instrumentos de política (incentivos positivos, contratación pública y fiscalidad verde, asistencia técnica y coordinación, simplificación normativa, capacitación del personal público, colaborativos,

2. Finlandia también cumplía con los requisitos, pero se decidió no incluir su estrategia de BE (aprobada en 2014) en el análisis por estar en revisión en el momento del estudio. Finalmente, se ha aprobado recientemente, en marzo de 2022, esto es, fuera del marco temporal del análisis.

3. Los documentos utilizados para el análisis están disponibles online. De cualquier forma, bajo petición, pueden facilitarse a los lectores interesados.

4. Por ejemplo, conforme se analizaban las estrategias se observó que los ítems relacionados con la planificación presupuestaria no estaban presentes en las estrategias de BE analizadas, por lo que se decidió descartarlos del análisis final.

Tabla 1. Información básica sobre los documentos de planificación analizados.
 Table 1. Basic information on the planning documents analysed.

Nivel	Países y regiones	Referencia	Horizonte temporal	Nº págs.
Nivel nacional	AT	BMNT et al. (2019)	2030	71
	DE	BMEL (2020)	2030	68
	ES	MINECO (2015)	2030	44
	FR	MAF (2017 y 2018)	2020	8+12
	IT	Italian Government (2019 y 2021)	2025	90+40
	LV	Latvian Ministry of Agriculture (2018)	2030	32
	UK	HM Government (2018)	2030	58
Nivel regional	Bad-Württ. (DE)	Baden-Württemberg Government (2019)	–	39
	Andalucía (ES)	CAPDR (2018)	2030	355
	P. Loire (FR)	Pays de la Loire Regional Council (2019)	2021	27
	Flandes (BE)	Government of Flanders (2014 y 2020)	2030	24+24
	Mazovia (PO)	MAE (2021a,b)	2030	9+21

comunicación y concienciación, educación y formación); y una selección de ámbitos específicos de implementación (zonas rurales, logística, biorrefinerías⁵, desperdicio alimentario, y clústeres, definidos como concentraciones geográficas de industrias relacionadas e instituciones asociadas siguiendo la definición de Delgado et al. (2016)). La consideración de estos ‘ámbitos específicos de implementación’ es el resultado de la revisión bibliográfica previa, la cual ha podido constatar la relevancia de estos respecto del desarrollo de la BEC en los diferentes contextos⁶.

Resultados

Conceptualización, implementación y alcance

La Tabla 2 muestra de forma esquemática las principales características de las estrategias de BE analizadas, en relación con la conceptualización, su implementación y el alcance de cada una. Aunque todas las estrategias están enfocadas al desarrollo de la BE, y la mayoría lo están igualmente respecto de la promoción de modelos de EC, la integración

5. Se considera biorrefinería a ‘una planta de producción integrada que utiliza biomasa o materias primas derivadas de la biomasa para producir una serie de bioproductos de valor añadido y energía’ (BIC, 2017).

6. Con esta selección, no se pretende afirmar que estos sean los ámbitos más importantes, ni los únicos, para el desarrollo de la BEC. Así, estos ámbitos deben ser vistos como aspectos comunes relevantes encontrados en diferentes contextos de desarrollo de esta e identificados en la revisión bibliográfica realizada.

Tabla 2. Conceptualización, implementación y alcance de las estrategias analizadas.
 Table 2. *Conceptualisation, implementation, and scope of the strategies analysed.*

Características	AT	DE	ES	FR	IT	LV	UK	Bad-Würt. (DE)	Andalucía (ES)	P. Loire (FR)	Flandes (BE)	Mazovia (PO)
Conceptualización: Bioeconomía circular		X			X				X	X		
Conceptualización: Economía circular					X	X		X	X	X	X	X
Líneas estratégicas asociadas a EC		X			X			X	X	X	X	X
Iniciativa	PU-PR	PU	PU-PR	PU-PR	PU-PR	PU	PU-PR	PU	PU-PR	PU-PR	PU	PR-PU
Impulsor	BMNT, BM/BWF y BMVIT	BMBF y BMEL	MITECO y MAPA	MAA	PCM / hubs	ZM	HM GOV	UM	CAPDR	AC3A	FMWEI	MEA
Sectores	Todos	Todos	A01-03	Todos	A01	A01-03	A01	Todos	A01-03	Todos	A01-03	A01-03
			C10-11		C16	C10-11	C10-11		C13-17		C10-11	E38
			C16-17		C20-21	C17	C21		C20-21		C13-17	C20-21
			C20-21		C31	C20	F41-42		C35		C20-21	D35
			C31			D35	H		D35		D35	
			D35				D35		E36-38		E38	
									F41-42		F41-42	
									G46-47		H	
									H			
									I55-56			

Tipo de iniciativa: PU, pública; PR, privada. Sectores, utilizando la clasificación NACE-rev2 (Reglamento (CE) No 1893/2006): Agricultura [A01], Forestal [A02], Pesca y acuicultura [A03], Ind. alimentaria y bebidas [C10,11], Ind. textil (incl. ropa, cuero y calzado) [C13,14,15], Ind. mueble y madera [C16,31], Ind. papelería [C17], Ind. química [C20], Ind. farmacéutica [C21], Productos de plástico y caucho [C22], Energía eléctrica, gas, vapor y aire acondicionado [D35], Suministro y tratamiento de agua [E36,37], Gestión de residuos [E38], Construcción [F41,42], Comercio [G46,47], Transporte y almacenamiento [H], Hostelería [I55,56].

de ambos (BEC) solo se menciona expresamente en 4 de los 12 casos analizados, siendo Andalucía el único caso para el que existe una estrategia expresamente dirigida a la BEC. Esta conexión entre ambos conceptos novedosos, que empieza a advertirse en los documentos de planificación comunitarios más recientes (CE, 2019 y 2020a), también se observa en este tipo de documentos a niveles nacional y, especialmente, regional. Todas las estrategias regionales mencionan explícitamente la EC como parte fundamental de la conceptualización e implementación de las estrategias de BE, presentando todas ellas líneas estratégicas asociadas a esta.

La administración pública participa como impulsora en todas las estrategias, si bien en más de la mitad (AT, ES, FR, IT, UK, Andalucía, P. Loire y Mazovia) lo hace en colaboración con el sector privado. La mayoría fija el año 2030 como alcance temporal, al igual que el horizonte temporal establecido por la Estrategia de BE de la UE (CE, 2018b). Una cuestión de implementación de política omitida en gran parte de las estrategias analizadas (y, por tanto, no incluida en la tabla) es la forma de evaluación y monitorización de las mismas y, en concreto, la batería de indicadores a emplear en dicha evaluación. Solo IT, Andalucía y Mazovia presentan un listado de indicadores. Sin embargo, en el caso de algunas estrategias (p. ej., Baden-W., P. de la Loire) se anuncia el establecimiento de indicadores a través de un desarrollo normativo posterior.

Respecto de los sectores incluidos, como se puede observar en la Tabla 2, la mayoría de las estrategias analizadas presentan un amplio alcance sectorial. Se aprecian, no obstante, dos aproximaciones diferenciadas: por una parte, estrategias con un alcance mayor, que incluyen a todos los sectores que usualmente se consideran como potencialmente relacionados con la BE (Kardung et al., 2021), entre las cuales se incluyen casi todas las estrategias regionales, así como AT, DE y FR; y por otra

parte, estrategias con alcance más específico, destacando IT, Mazovia y, en menor medida, ES, LV y UK, donde el número de sectores involucrados es sustancialmente menor. En todo caso, los sectores primarios (especialmente agricultura) y la bioindustria (en particular, la industria agroalimentaria) están recogidos en todas las estrategias analizadas, mientras que otros como el de energía están presentes en una amplia mayoría.

Objetivos

En la Tabla 3 se recoge la traslación de los objetivos de la Estrategia Europea de BE (CE, 2018b), i.e. objetivos de BE1 a BE5, y del Plan de Acción de EC (CE, 2020a), i.e. objetivos de EC1 a EC5, en las distintas estrategias analizadas. Como puede observarse, los objetivos de los documentos de planificación a nivel comunitario no han sido trasladados explícitamente a sus documentos análogos, ni a nivel nacional ni regional. En algunos casos (ES, FR, LV, UK, Flandes) puede influir el factor temporal, ya que las estrategias se redactaron con anterioridad a los documentos de planificación de la Comisión Europea, tanto en relación con la BE (CE, 2018b) como la EC (CE, 2020a). Cabe resaltar que el primer Plan de Acción de EC de la UE, que se aprobó en 2015 (CE, 2015), no planteaba objetivos de manera explícita y sistemática, al contrario que los mencionados documentos de planificación comunitaria más recientes. No obstante, conviene apuntar que en la mayoría de los casos los objetivos comunitarios subyacen implícitos en objetivos específicos planteados a menor nivel dentro de las estrategias y/o planes de acción analizados.

En la Tabla 3, se observa además una alta heterogeneidad en la traslación de objetivos. En este sentido, existen estrategias que incorporan los objetivos de ambos documentos de planificación comunitaria de forma mayoritaria (caso de AT, DE y ES, a nivel nacional, y

Tabla 3. Traslación de los objetivos de la Estrategia Europea de Bioeconomía, BE1-5, y del Plan de Acción de Economía Circular, EC1-5, en las estrategias analizadas.

Table 3. Translation of the objectives of the European Bioeconomy Strategy, BE1-5, and the Circular Economy Action Plan, EC1-5, into the strategies analysed.

Objetivos	AT	DE	ES	FR	IT	LV	UK	Bad-Württ. (DE)	Andalucía (ES)	P. Loire (FR)	Flandes (BE)	Mazovia (PO)
BE1		X										
BE2		X	X	X					X		X	X
BE3	X	X						X	X			
BE4	X		X					X	X			
BE5	X		X		X	X		X	X		X	
EC1												
EC2		X	X									
EC3	X			X	X	X	X	X			X	
EC4		X	X	X			X		X	X	X	X
EC5	X	X	X	X					X		X	X

BE1, Garantizar la seguridad alimentaria y nutricional; BE2, Gestión sostenible de recursos naturales; BE3, Reducción de la dependencia de recursos no renovables; BE4, Mitigación y adaptación al cambio climático; BE5, Creación de puestos de trabajo y refuerzo de la competitividad europea; EC1, Estimular el diseño para una EC; EC2, Gestionar recursos para preservar el valor; EC3, Crear las condiciones económicas favorables para la transición; EC4, Invertir en innovación, infraestructura y competencias; EC5, Promover la colaboración para el cambio del sistema.

Flandes, a nivel regional), mientras otras prácticamente no trasladan explícitamente ninguno de estos objetivos (caso de IT, LV y UK, a nivel nacional, y P. de la Loire, a nivel regional).

Por objetivos, los que se han incorporado a las estrategias analizadas en mayor medida son *Crear las condiciones económicas favorables para la transición* [a la EC] (EC3), *Invertir en innovación, infraestructura y competencias* (EC4), *Promover la colaboración para el cambio del sistema* (EC3, EC4 y EC5, respectivamente, según aparece en la Tabla 3), extraídos

del Plan de Acción de EC, y *Gestión sostenible de los recursos naturales* (BE2) y *Creación de puestos de trabajo y refuerzo de la competitividad europea* (BE5), de entre los incluidos en la Estrategia Europea de BE. Por el contrario, objetivos que prácticamente no están presentes en las estrategias analizadas son *Estimular el diseño para una EC* (EC1) y *Garantizar la seguridad alimentaria y nutricional* (BE1), posiblemente debido a que formen parte de objetivos prioritarios de políticas específicas de EC o del sector agroalimentario.

Instrumentos de política

La Tabla 4 recoge la presencia de los principales instrumentos de política establecidos para conseguir los objetivos de las distintas estrategias. Por lo general, todas las estrategias anuncian una gran variedad de instrumentos. Exceptuando las acciones relativas a comunicación y concienciación de las iniciativas de BE y sus beneficios para la sociedad, presentes en todas las estrategias analizadas, el uso del resto de instrumentos no está generalizado. Por ejemplo, 10 de los 12 documentos incluyen instrumentos como incentivos positivos y programas de educación y formación; 9 estrategias emplean contratación pública como herramienta de la administración para acelerar la transición hacia la BE; 8 incluyen asistencia técnica y acciones de coordinación, simplificación normativa e instrumentos colaborativos (como clústeres). Sin embargo, únicamente 2 estrategias mencionan, sin especificar ejemplos, algún tipo de instrumento de fiscalidad verde; y solo 3 estrategias consideran instrumentos para la capacitación del personal público.

Ámbitos específicos de implementación

Las Tabla 5 recoge la presencia de programas o acciones específicas orientados a algunos ámbitos relevantes para el desarrollo de la BEC, como son el desarrollo de zonas rurales, la logística, el desarrollo de biorrefinerías y la reducción del desperdicio alimentario. En la Tabla 5 se observa que no existe una cuestión común que haya sido considerada en todas las estrategias analizadas. Los ámbitos que reciben mayor atención son el fomento de las biorrefinerías (presente en 7 de las 12 estrategias analizadas) y el desarrollo en zonas rurales (presente en 6), ya que la mayoría incluyen acciones y/o medidas específicamente dirigidas a ello. En este último caso, llama la atención que los Estados más extensos (ES y

FR) no consideren explícitamente la especificidad rural en sus estrategias, habida cuenta de los problemas de despoblamiento rural que se observan en estos países. Por otra parte, cuestiones importantes en la BEC como son la logística o el desperdicio alimentario (al que se refieren las estrategias de IT y Mazovia), claramente reciben una menor atención por parte de las estrategias analizadas, incluyendo acciones directamente orientadas a ellas solo en AT y Andalucía, en el caso de la primera (específicamente dirigidas a la mejora de la logística de los subproductos), e IT y Mazovia, en el caso de la segunda.

Discusión

El correcto desarrollo de la BEC conlleva inexorablemente un beneficio para el conjunto de la sociedad. Sin embargo, la heterogeneidad de sectores, recursos y agentes implicados, así como la relación con otras actividades económicas convencionales, parece evidenciar que no existe una "trayectoria única" para el desarrollo de la BEC en términos de prioridades, enfoques e instrumentos (Dubois y Gómez-San Juan, 2016). El presente estudio ofrece una buena muestra de ello, en la medida que se observan importantes diferencias entre las estrategias de BE o BEC analizadas, tanto en lo referente a sus objetivos, enfoques, institución impulsora y sectores implicados, como a los instrumentos de política utilizados y áreas prioritarias de actuación empleadas, bien sea a nivel regional o nacional.

Desde 2017, la Comisión Europea ha considerado la necesidad de reflejar en la BE aspectos de políticas adyacentes, como el paquete de EC y la nueva directiva de residuos, cobrando especial importancia la adopción de la circularidad en la BE, especialmente en los procesos productivos, maximizando de esa forma su retorno socioeconómico y ambiental (Borrego-Marín et al., 2021). Así, toda

Tabla 4. Instrumentos de política establecidos en las estrategias analizadas.
 Table 4. Policy instruments set in the strategies analysed.

Instrumentos	AT	DE	ES	FR	IT	LV	UK	Bad-Württ. (DE)	Andalucía (ES)	P. Loire (FR)	Flandes (BE)	Mazovia (PO)
Incentivos positivos	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	
Contratación pública	X	X	X	X	X	X		X	X		X	X
Fiscalidad verde	X							X				
Asistencia técnica y coordinación	X	X	X	X	X			X	X	X		
Simplificación normativa	X	X	X			X	X	X		X	X	
Capacitación del personal público								X		X		X
Colaborativos (p. ej., clúster)	X	X	X		X		X	X	X		X	
Comunicación y concienciación	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Educación y formación	X		X	X	X	X	X	X	X		X	X

Tabla 5. Ámbitos específicos de implementación considerados de las estrategias analizadas.
 Table 5. Specific implementation areas under consideration of the strategies analysed.

Características	AT	DE	ES	FR	IT	LV	UK	Bad-Württ. (DE)	Andalucía (ES)	P. Loire (FR)	Flandes (BE)	Mazovia (PO)
Zonas rurales		X			X	X	X	X				X
Logística	X								X			
Biorrefinerías	X	X			X		X	X	X			X
Desperdicio alimentario					X							X

Tabla 6. Clústeres asociados a las estrategias analizadas.
 Table 6. Clusters associated with the strategies analysed.

Características	AT	DE	ES	FR	IT	LV	UK	Bad-Württ. (DE)	Andalucía (ES)	P. Loire (FR)	Flandes (BE)	Mazovia (PO)
Localizado	X	X			X	X			X		X	
Sectorial (S)/multisectorial (M)	M	M			S	S			M		M	
Tipo de iniciativa	PU-PR	PR			PU-PRPU-PR				PU-PR		PU-PR	

estrategia de BE debe asegurar que promueve de forma efectiva el desarrollo de una BEC. Al ser la BE y la EC dos conceptos recientes, con objetivos similares y solapados hasta cierto punto, pero sin formar parte plenamente uno del otro (Carus y Dammer, 2018), y de los que todavía no hay una definición ampliamente aceptada (tanto en el plano académico como técnico), es lógico que aún no se haya articulado la integración total de ambos dentro de la planificación política. De acuerdo a D'Amato y Korhonen (2021), la conceptualización de la BE y la EC, es difusa y dinámica debido, por un lado, a la falta de definiciones con un enfoque holístico que resalte los aspectos comunes y, por otro, al moderado y heterogéneo entendimiento entre los distintos sectores.

En el presente estudio se refleja que la integración de estas políticas de BE y EC ya se está llevando a cabo a menor nivel, sobre todo regional, ya que se observa que la mayoría de estrategias (7 de 12) promocionan modelos de EC dentro de la BE; aunque solo una minoría de casos incluya expresamente el término 'BEC'. Del análisis realizado, no se puede anticipar que las futuras estrategias de BE a niveles regionales y/o nacionales lo serán de BEC. Sin embargo, estrategias nacionales como la de IT, o regionales como la de Baden-W., Andalucía o P. Loire, todas ellas enfocadas en mayor o menor medida a la BEC, bien de forma tácita (caso de Baden-W.) o expresa (caso de Andalucía), están marcando el camino en esa dirección. Así, la reciente aprobación de la revisión de la estrategia de BE de Finlandia (Finnish Government, 2022) viene a confirmar esta tendencia.

Si bien todas las estrategias analizadas presentan un desarrollo lógico, la presente revisión muestra que se necesita un enfoque político coherente que mejore las sinergias tan necesarias para el desarrollo de la BEC. Como destaca el informe de la OECD (2018) es necesario buscar la coherencia, entre las políti-

cas de agricultura, alimentación, desarrollo rural, medio ambiente, silvicultura, energía, investigación e innovación, residuos y cambio climático, para fomentar el correcto desarrollo de la BEC.

En 2012, en los comienzos del desarrollo de políticas de BE, su diseño e implementación se observaba circunscrito a élites políticas de investigación e innovación y/o burocracias (Meyer, 2017). Sin embargo, las aportaciones del sector privado, mediante consultas, conferencias internacionales, la participación de grupos de expertos y otras formas de interacción, están cobrando relevancia en la revisión de las políticas de BE en los últimos años. El círculo de actores participantes no estatales incluye organizaciones, instituciones y asociaciones que pueden clasificarse en cuatro grupos: productores primarios, industria, academia y sociedad civil (Lühmann, 2020). La mayor implicación del sector privado en el desarrollo de la BE se observa por ejemplo en su contribución a los instrumentos colaborativos, con la práctica totalidad de los clústeres emanantes de las estrategias analizadas siendo originados por partenariados público-privados (ver Tabla 6 donde se muestra información específica al respecto de los clústeres asociados a las estrategias de BE analizadas). A través de ellos se facilita la mejor orientación de acciones implementadas desde las administraciones públicas, la comunicación entre ámbitos (público y privado) e intra ámbito privado (entre empresas), generación de sinergias (especialmente relevantes en un sector tan apoyado en la especialización tecnológica y de conocimiento, como es el de la BEC), etc. Cabe destacar, en este sentido, el partenariado CBE JU Circular Bio-based Europe Joint Undertaking (www.bbi.europa.eu) (DOUE, 2021), que implica una colaboración que moviliza dos mil millones de euros, cofinanciados por la Comisión Europea y el consorcio privado de bioindustrias (Bio-based Industries Consortium o BIC), para el desarrollo de acciones de investigación, innovación y

apoyo al desarrollo de la BEC. Otro caso relevante y con una larga tradición, es el clúster de BE de Francia (IAR, 2021), constituido en 2005, es decir, más de una década antes que la estrategia (por eso no aparece en la Tabla 6, donde se recogen los directamente emanantes de las estrategias). Estos núcleos colaborativos conforman un ecosistema propicio para el desarrollo de la BEC, actuando como catalizador de programas de I+D+i.

Otro aspecto destacable es el amplio espectro de sectores que engloban las estrategias, en línea con los sectores considerados en la estrategia europea, siendo comunes el sector primario (en particular la agroindustria) y la bioindustria sobre todo alimentaria; y el sector de la energía en menor medida (sector impulsor de la estrategia en el caso de Mazovia).

El análisis de otros instrumentos políticos establecidos en las estrategias analizadas permite extraer consideraciones a tener en cuenta en la redacción de futuros documentos de planificación de este tipo. Por un lado, los resultados muestran que existe pleno consenso en el empleo de instrumentos "positivos" dirigidos a una mayor concienciación de los diferentes agentes implicados (incluyendo consumidores) en la cadena de valor de productos, articulando campañas de concienciación y complementando acciones de comunicación inter e intra niveles de dicha cadena, así como a un fortalecimiento de la educación de los ciudadanos y capacitación de los recursos humanos a través de actividades formativas específicas. Sin embargo, en la mayoría de los casos se echa en falta una mayor concreción sobre cuáles son las necesidades específicas de comunicación y formación que deben acometerse. Por ejemplo, ninguna estrategia explicita la necesidad evidente de mejorar la formación de los empleados públicos encargados de la evaluación de los proyectos característicamente innovadores que se desarrollan en el seno de actividades de BEC (Borrego-Marín et al., 2021).

Por otro lado, el empleo de estos instrumentos de concienciación positivos está en consonancia con la amplia consideración de la contratación pública (innovadora y/o ecológica) como instrumento impulsor de la BE. En este sentido, cabe señalar el desarrollo de herramientas específicamente orientadas al fomento de este tipo de contratación (p. ej., InnProBio, 2018). Por el contrario, destaca la completa ausencia de considerar incentivos negativos para facilitar el desarrollo de iniciativas empresariales sostenibles (como son las iniciativas empresariales de BEC) frente a aquellas que no lo son. Ello llama la atención habida cuenta del potencial muy relevante que presentan los incentivos negativos para el fomento de cadenas de valor sostenibles (Ekins y Dresner, 2004), pareciendo sugerir el objetivo tácito de muchas estrategias de evitar la confrontación con los sectores económicos convencionales (menos sostenibles).

Asimismo, la simplificación normativa y la asistencia técnica y coordinación son tenidas en cuenta por la mayoría de las estrategias analizadas, siendo la armonización de los marcos regulatorios y normativos muy valorada y necesaria en las estrategias de BE (OECD, 2018). Existen combinaciones de medidas políticas de impulso de la tecnología y de atracción del mercado para expandir la demanda de productos de BE, como son el desarrollo de etiquetas, estándares y certificación para nuevos productos de base biológica; y el uso de la contratación pública para promover productos o servicios de BE (OECD, 2018), que se reconocen en la mayoría de las estrategias analizadas.

En relación con los ámbitos específicos considerados en el presente estudio, la BEC tiene el potencial para ser motor del desarrollo económico, particularmente en el medio rural donde la generación de empleo o el emprendimiento basado en los recursos biomásicos propios generados en el área son factores de suma importancia. El desarrollo de la BEC

puede servir para evitar el éxodo de zonas rurales y crear redes de desarrollo regional, a la vez que se mejora la sostenibilidad ambiental (ENRD, 2019). Sin embargo, su desarrollo en zonas rurales solo conforma una prioridad en la mitad de las estrategias analizadas, sin que parezca que exista una relación con las características de distribución espacial demográfica y de las actividades económicas de cada una de las regiones y/o Estados analizados.

Por su parte, las estrategias apenas reflejan acciones directamente relacionadas con la logística⁷, a excepción de Andalucía y Austria, a pesar de que algunos autores señalan cómo la mejora en el ámbito de la logística puede suponer un reto relevante para el desarrollo de la BE (Singh et al., 2021). Los resultados obtenidos pueden responder a la priorización de los objetivos a alcanzar que se haya considerado. En este sentido, si bien la logística puede implicar costes moderadamente notables en la actividad empresarial, es frecuente que existan otras barreras al emprendimiento que presenten un nivel de prioridad superior (p. ej., burocracia y normativa, de mercado, etc.) (Borrego-Marín et al., 2021).

Respecto del fomento de las biorrefinerías, parece haber consenso en la literatura en que su desarrollo es clave para que la BEC progrese (Ubando et al., 2019), de manera que pueda acercarse a su potencial generador de riqueza y empleo a la par que usarse los recursos naturales de forma más eficiente. Sin embargo, el desarrollo de este tipo de proyectos en la UE es dispar, con algunas regiones concentrando buena parte de las biorrefinerías (a menudo localizadas cerca de los grandes puertos) y con otras (p. ej., ES) claramente rezagadas en este sentido. Este dispar desarrollo se observa también en la diversa atención prestada por parte de las es-

trategias analizadas respecto del fomento de las biorrefinerías.

Por otra parte, respecto del desperdicio alimentario cabría esperar que las estrategias de BE incluyeran aspectos en el que se mencionara el desperdicio alimentario, ya sea para su reducción y/o valorización. Sin embargo, los resultados muestran una clara escasez de estrategias en las que se articulen acciones especialmente dirigidas a este aspecto. Ello puede deberse a que el problema del desperdicio alimentario ha sido tradicionalmente ignorado dentro de la agenda política a diferentes niveles, no siendo hasta tiempos recientes cuando ha empezado a recibir una mayor consideración. Prueba de ello es su inclusión como aspecto capital dentro Estrategia Europea de la Granja a la Mesa (CE, 2020), o la preparación en España del anteproyecto de Ley de Prevención de las Pérdidas y el Desperdicio Alimentario (MAPA, 2021).

La complejidad a la hora de evaluar y monitorizar las estrategias se ve reflejada en la escasa especificidad de indicadores por parte de los distintos países y regiones, a excepción de Italia, Andalucía y Mazovia, que aportan un listado de indicadores. De esta forma, en la mayoría de las estrategias se pierde la oportunidad de medir el impacto de las acciones planteadas, siendo necesario un plan de desarrollo e implementación posterior que incluya sistemas de monitorización estandarizados y transparentes. El seguimiento del progreso y los resultados es una prioridad como parte integral de la implementación de políticas. No existe un enfoque único para la medición, dadas las complejidades debidas a las externalidades, la incertidumbre de las oportunidades, las preferencias cambiantes y el efecto del desarrollo impulsado por un conjunto diverso de medidas de política (OECD,

7. Cabe señalar que podrían existir estrategias de logística específicas que por limitaciones del presente trabajo no hayan sido identificadas.

2018). Recientemente, Robert et al. (2020) presentaron el enfoque adoptado por el *Joint Research Centre* (JRC) de la Comisión Europea para desarrollar un sistema de monitorización del progreso económico, ambiental y social hacia una BE sostenible. Para lograr este objetivo, se basan en indicadores existentes, las expectativas de las partes interesadas y el conocimiento, siendo este un enfoque holístico según las tendencias en los sectores de la BE, lo que resultaría en un sistema específico según las necesidades del Estado o región bajo monitorización (Robert et al., 2020).

Resalta además la falta de medidas especialmente dedicadas a alcanzar la sostenibilidad real de la BEC y que aseguren que su desarrollo se haga dentro de los límites del planeta. En este sentido, existe ausencia de referencias específicas a la capacidad productiva agronómica, forestal y pesquera, definiciones claras de biodegradabilidad, medidas de ecotoxicidad o impacto de la gestión de residuos, uso de la energía, y, en definitiva, al reconocimiento de la complejidad de los agroecosistemas y sus interrelaciones alimentación humana-animal-biocombustible. Así, como señalan Muscat et al. (2021), una BEC verdaderamente sostenible requiere del respeto de los fundamentos medioambientales y sociales, reconociendo el derecho a una alimentación sana y segura, a condiciones de trabajo dignas y al bienestar animal, garantizando que los actores implicados en la BEC tengan un medio de vida próspero.

Conclusiones

Existe una fuerte apuesta gubernamental por el desarrollo en Europa de la BE, EC y, más recientemente, por su integración, i.e. la BEC. El presente estudio así lo atestigua, evaluando de forma comparativa las estrategias específicamente enfocadas de BE en regiones y países de la UE. Este estudio evidencia pri-

mero que todavía se debe avanzar más en la integración de la EC en el desarrollo de la BE, habida cuenta de que las estrategias analizadas no incorporan completamente los principios de la circularidad a la hora de promocionar las actividades productivas dentro de la BE. En este sentido, se espera que el avance en la armonización en los instrumentos de planificación comunitaria, fructificados en las recientes revisiones de las políticas comunitarias de BE y EC, sirva para que las nuevas estrategias nacionales y regionales se centren en el desarrollo de la BEC (y no solo BE). De hecho, buena prueba de ello se evidencia en las estrategias nacionales de BE más recientemente aprobadas (p. ej., Finlandia).

En todo caso, el presente análisis muestra una realidad heterogénea, no solo en lo que se refiere a la propia conceptualización de la BEC, ya comentada, sino también a los diferentes agentes impulsores, alcances sectoriales, instrumentos de política empleados, e identificación de elementos clave, entre otros. No obstante, a partir de los resultados del análisis se puede afirmar que una estrategia “tipo” estaría impulsada por la administración pública (p. ej., organismo competente en el sector primario), implicaría a un amplio espectro de sectores (especialmente sector primario y bioindustria), y emplearía una variedad de instrumentos de política donde destacarían las acciones de comunicación y concienciación, educación y formación de los trabajadores y empresarios, incentivos positivos (p. ej., ayudas a la I+D+i), asistencia técnica y de coordinación de iniciativas y simplificación normativa.

En esa estrategia de BE “tipo” también sobresaldrían aspectos comúnmente ignorados, como son los relativos al ámbito de aplicación presupuestaria y de evaluación y seguimiento de las acciones. De la misma manera, no aparecerían suficientemente considerados otros aspectos primordiales para el desarrollo de la BEC, como son el desarrollo rural, la logística,

el desperdicio alimentario o el fomento de biorrefinerías. Dada su relevancia, las futuras estrategias deberían incluir acciones específicamente dirigidas a estos aspectos, no solo asegurando una robusta planificación estratégica que incluya una previsión sistemática del presupuesto y se apoye en una lógica de diagnóstico-acción-evaluación, sino también armonizándolas de forma coordinada y eficiente (p. ej., priorizando el enfoque de valorización en cascada –simbolizado por las biorrefinerías– frente a enfoques tradicionales de valorización).

En este sentido, y como reflexión final, la seguramente necesaria actualización y revisión de estrategias a consecuencia de las recientes crisis pandémica y de la invasión rusa en Ucrania puede suponer una oportunidad para considerar los cambios sistémicos que se están produciendo a nivel global, relativos, entre otros, a la falta de recursos, crisis energética, aumento exponencial del comercio online, mayor preferencia de los consumidores por productos sostenibles, tensiones entre oferta y demanda, etc. Por ejemplo, la pirámide de valor de los aprovechamientos de los recursos biomásicos (Berbel *et al.*, 2022), que en muchos casos ha ayudado a moldear las prioridades de las estrategias de BE, puede ahora estar viéndose afectada en este nuevo contexto, especialmente en lo relativo a la importante escasez de bienes energéticos y de alimentación. Así, es de prever que la mayor priorización de los objetivos de la seguridad alimentaria y energética europea influya en los documentos de planificación estratégica relativos a la BEC, entre otros preponderando la promoción a medio y largo plazo de fuentes alternativas de materiales y energía sostenibles. Al hilo de esto, la Comisión Europea ya anticipaba en su Comunicación sobre Ciclos de Carbono Sostenibles (CE, 2021) cómo la BE y EC deben promover soluciones tecnológicas para la captura y utilización del carbono y la producción de combustibles sintéticos sostenibles u otros pro-

ductos de carbono no fósiles, con el fin de aprovechar flujos de residuos y fuentes sostenibles de biomasa para sustituir al carbono fósil en los sectores de la economía que seguirán dependiendo inevitablemente del carbono (p. ej., industria energética). Por el contrario, es de prever que otras iniciativas políticas, tales como la Estrategia de la Granja a la Mesa (CE, 2020b), queden relegadas a un segundo plano de prioridad, habida cuenta de la dificultad de conseguir las metas incluidas en esta (p. ej., respecto de la producción ecológica y del uso de agroquímicos). Estas crisis recientes transmiten claramente el mensaje de que las estrategias deben promover un desarrollo de la BEC de manera que pueda ser resiliente a este tipo de cambios abruptos en el escenario geopolítico y económico.

Agradecimientos

Los autores agradecen los comentarios y sugerencias de los dos revisores anónimos. Este trabajo se ha realizado en el marco del proyecto europeo POWER4BIO (<https://power4bio.eu>; GA 818351).

Referencias bibliográficas

- Baden-Württemberg Government (2019). The Baden-Württembergs government's sustainable bioeconomy strategy. Baden-Württemberg Government, Stuttgart, Germany. 39 pp.
- Berbel J, Borrego-Marín MA., Gómez-Limón JA, Villanueva AJ, Cátedra M, Capote C (2022). Factores habilitantes y limitantes para el éxito de iniciativas de bioeconomía circular en Andalucía. Junta de Andalucía, Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible, Sevilla, España. 98 pp.
- BIC (2017). Biorefineries in Europe 2017. BIC, Brussels.

- BMEL (2020). National Bioeconomy Strategy. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, German Federal Government, Berlin, Germany. 68 pp.
- BMNT, BMBWF, BMVIT (2019). Bioeconomy. A strategy for Austria. Federal Ministry for Sustainability and Tourism, Vienna. 71 pp.
- Borrego-Marín MA, Berbel J, Gómez-Limón JA, Villanueva AJ (2021). Factores habilitantes y limitantes para el desarrollo empresarial de la Bioeconomía Circular. *Análisis empírico para el caso de Andalucía*. C3-Bioeconomy 2: 18-35. <https://doi.org/10.21071/c3b.vi2.13468>.
- CAPDR (2018). Estrategia Andaluza de Bioeconomía Circular. Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural, Junta de Andalucía, Sevilla. 355 pp.
- Carus M, Dammer L (2018). The circular bioeconomy: concepts, opportunities, and limitations. *Industrial Biotechnology* 14: 83-91. <https://doi.org/10.1089/ind.2018.29121.mca>.
- CE (2012). Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones "La innovación al servicio del crecimiento sostenible: una bioeconomía para Europa". COM/2012 final. Comisión Europea, Bruselas.
- CE (2015). Cerrar el círculo: un plan de acción de la UE para la economía circular. COM/2015/0614 final. Comisión Europea, Bruselas.
- CE (2018a). Propuesta de reglamento del Parlamento europeo y del Consejo sobre el establecimiento de un marco para facilitar las inversiones sostenibles. COM/2018/353 final. Comisión Europea, Bruselas.
- CE (2018b). Una bioeconomía sostenible para Europa: consolidar la conexión entre la economía, la sociedad y el medio ambiente. COM/2018/673 final. Comisión Europea, Bruselas.
- CE (2019). El Pacto Verde Europeo. COM/2019/640 final. Comisión Europea, Bruselas.
- CE (2020a). Nuevo plan de acción para la economía circular: por una Europa más limpia y más competitiva. COM/2020/98 final. Comisión Europea, Bruselas.
- CE (2020b). Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones "Una estrategia 'de la Granja a la Mesa' para un sistema alimentario justo, sano y respetuoso del medio ambiente". COM/2020/381 final. Comisión Europea, Bruselas.
- CE (2021). Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo y al Consejo "Ciclos de carbono sostenibles". COM/2021/800. Comisión Europea, Bruselas.
- Charles D, Davies S, Miller S, Clement K, Overbeek G, Hoes AC, Hasenheit M, Kiresiewa Z, Kah S, Bianchini C (2016). Case studies of regional bioeconomy strategies across Europe. BIOSTEP Project, Bruselas. 80 pp.
- D'Amato D, Korhonen J (2021). Integrating the green economy, circular economy and bioeconomy in a strategic sustainability framework. *Ecological Economics* 188: 107-143. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2021.107143>.
- Delgado M, Porter N, Stern S (2016). Defining clusters of related industries. *Journal of Economic Geography* 16: 1-38 <https://doi.org/10.1093/jeg/lbv017>.
- Domínguez FJ, Siwa S (2019). Chapter Seven - Key Challenges and Opportunities. En: *The Role of Bioenergy in the Bioeconomy* (Ed Lago C, Caldes N y Lechón Y), pp. 297-278. Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813056-8.00007-8>.
- DOUE (2021). Reglamento (UE) 2021/2085 del Consejo de 19 de noviembre de 2021 por el que se establecen las empresas comunes en el marco de Horizonte Europa y se derogan los Reglamentos (CE) n° 219/2007, (UE) n° 557/2014, (UE) n° 558/2014, (UE) n° 559/2014, (UE) n° 560/2014, (UE) n° 561/2014 y (UE) n° 642/2014. *Diario Oficial de la Unión Europea*, núm. 427, de 30 de noviembre de 2021, pp 17-119.
- Dubois O, Gómez-San Juan M (2016). How sustainability is addressed in official bioeconomy strategies at international, national and regional levels: an overview. *FAO, Rome*. 48 pp.
- EEA (2018). The circular economy and the bioeconomy. *Partners in sustainability*. European Environment Agency, Copenhagen. 64 pp. <https://doi.org/10.2800/02937>.

- Ekins P, Dresner S (2004). Green taxes and charges: reducing their impact on low-income households. UK Joseph Rowntree Foundation, York, UK. 68 pp.
- ENRD (2019). Bioeconomy: Seizing the opportunity for rural Europe. Event highlights. European Network for Rural Development, Brussels. Disponible en: https://enrd.ec.europa.eu/news-events/events/enrd-seminar-bioeconomy_en (Consultado: 21 de septiembre de 2022).
- Finnish Government (2022). The Finnish Bioeconomy Strategy: Sustainably towards higher value added. Finnish Government, Helsinki. 53 pp.
- GBC (2015). Bioeconomy Policy (Part II). Synopsis of national strategies around the world. German Bioeconomy Council, Berlin. 136 pp.
- Giampetro M (2019). On the circular bioeconomy and decoupling: implications for sustainable growth. *Ecological Economics* 162: 143-156. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2019.05.001>.
- Government of Flanders (2014). Bioeconomy in Flanders. The vision and strategy of the Government of Flanders for a sustainable and competitive bioeconomy in 2030. Environment, Nature and Energy Department, Government of Flanders, Brussels. 24 pp.
- Government of Flanders (2020). Bioeconomy Action Plan. Ministry of Economics, Innovation, Labour, Social Economics and Agriculture, Government of Flanders, Brussels.
- Haarich S, Kirchmayr-Novak S (2022). Bioeconomy strategy development in EU regions, Publications Office of the European Union, Luxembourg. 116 pp. <http://dx.doi.org/10.2760/065902>
- HM Government (2018). Growing the bioeconomy. Improving lives and strengthening our Economy: A national bioeconomy strategy to 2030. HM Government, London. 58 pp.
- IACGB (2020). Global Bioeconomy Policy Report (IV): A decade of bioeconomy policy development around the world. International Advisory Council on Global Bioeconomy, Berlin, Germany. 168 pp.
- IAR (2021). IAR - The French Bioeconomy Cluster – About us. Disponible en: <https://en.iar-pole.com/the-cluster/about-us/> (consultado 27 agosto 2021).
- InnProBio (2018). Bio-based procurement tools. InnProBio Project. Disponible en: <https://www.biobasedconsultancy.com/en/procurement-tools111> (consultado 8 abril 2022).
- Italian Government (2021). Implementation Action Plan (2020-2025) for the Italian Bioeconomy Strategy. Italian Government, Rome, Italia. 40 pp.
- Italian Government (2019). BIT II. Bioeconomy in Italy. A new Bioeconomy strategy for a sustainable Italy. Italian Government, Rome, Italia. 90 pp.
- Kardung M, Cingiz K, Costenoble O, Delahaye R, Heijman W, Lovri M, van Leeuwen M, M'Barek R, van Meijl H, Piotrowski S, Ronzon T, Sauer J, Verhoog D, Verkerk PJ, Vrachioli M, Wesseler JHH, Zhu BX (2021). Development of the Circular Bioeconomy: drivers and indicators. *Sustainability* 13: 413. <http://dx.doi.org/10.3390/su13010413>.
- Latvian Ministry of Agriculture (2018). Latvian Bioeconomy Strategy 2030. Latvian Ministry of Agriculture, Riga, Letonia. 32 pp.
- LIFT Project (2020). Factsheet #5: Regional Potential, Bioeconomy Strategies and Action Plans. European Bioeconomy Library. Disponible en: <https://www.bioeconomy-library.eu/factsheets/> (consultado 3 septiembre 2021).
- Lühmann M (2020). Whose European bioeconomy? Relations of forces in the shaping of an updated EU bioeconomy strategy, *Environmental Development* 35: 100547. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envdev.2020.100547>.
- MAE (2021a). Bioeconomy development strategy for Mazowieckie Voivodship. Mazovian Energy Agency, Warsaw, Polonia. 79 pp.
- MAE (2021b). Roadmap for the bioeconomy development for Mazowieckie Voivodship. Mazovian Energy Agency, Warsaw.
- MAF (2017). A bioeconomy strategy for France. Ministry of Agriculture and Food, Government of the French Republic, Paris. 8 pp.
- MAF (2018). A Bioeconomy Strategy for France. 2018-2020 Action Plan. Ministry of Agriculture and Food, Government of the French Republic, Paris. 12 pp.

- MAPA (2021). Anteproyecto de Ley de prevención de las pérdidas y el desperdicio alimentario. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación del Gobierno de España, Madrid, España.
- Meyer R (2017). Bioeconomy strategies: contexts, visions, guiding implementation principles and resulting debates. *Sustainability* 9(6): 1031. <https://doi.org/10.3390/su9061031>.
- MINECO (2015). Estrategia española de bioeconomía. Horizonte 2030. Ministerio de Economía y Competitividad, Madrid, España. 44 pp.
- MITECO (2020). España Circular 2030. Estrategia española de economía circular. Ministerio para la Transición Ecológica y Reto Demográfico, Madrid, España. 66 pp.
- Muscat A, de Olde EM, Ripoll-Bosch R, Van-Zanten H, Metze T, Termeer C, Ittersum M, Boer I (2021). Principles, drivers and opportunities of a circular bioeconomy. *Nature Food* 2: 561-566. <https://doi.org/10.1038/s43016-021-00340-7>.
- OECD (2018). Meeting policy challenges for a sustainable bioeconomy. Organization for Economic Cooperation and Development Publishing, Paris. <http://doi.org/10.1787/9789264292345-en>.
- OECD (2019). Bio-economy and the sustainability of the agriculture and food system: Opportunities and policy challenges. OECD Food, Agriculture and Fisheries Papers, No. 136. <http://dx.doi.org/10.1787/d0ad045d-en>.
- Pays de la Loire Regional Council (2019). Pays de la Loire bio-based circular economy action plan. Pays de la Loire Regional Council, Nantes, Francia. 27 pp.
- Robert N, Giuntoli J, Araujo R, Avraamides M, Balzi E, Barredo JI, Baruth B, Becker W, Borzacchiello MT, Bulgheroni C, Camia A, Fiore G, Follador M, Gurria P, la Notte A, Lusser M, Marelli L, M'Barek R, Parisi C, Philippidis G, Ronzon T, Sala S, Sanchez Lopez J, Mubareka S (2020). Development of a bioeconomy monitoring framework for the European Union: An integrative and collaborative approach. *New Biotechnology* 59: 10-19. <https://doi.org/10.1016/j.nbt.2020.06.001>.
- Singh A, Christensen T, Panoutsou C (2021). Policy review for biomass value chains in the European bioeconomy. *Global Transitions* 3: 13-42. <https://doi.org/10.1016/j.glt.2020.11.003>.
- Ubando A, Felix C, Chen WH (2019). Biorefineries in circular bioeconomy: A comprehensive review. *Bioresource Technology* 299: 122585. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122585>.
- (Aceptado para publicación el 21 de septiembre de 2022)

PREMIOS DE PRENSA AGRARIA 2022 DE LA ASOCIACIÓN INTERPROFESIONAL PARA EL DESARROLLO AGRARIO

La Asociación Interprofesional para el Desarrollo Agrario (AIDA) otorga un premio anual de Prensa Agraria para destacar aquel artículo de los publicados en ITEA en el año 2022 que reúna las mejores características técnicas, científicas y de valor divulgativo y de transferencia al sector, así como un impacto relevante de sus resultados. El artículo deberá reflejar el espíritu fundacional de AIDA de hacer de transmisor de conocimientos hacia el profesional, técnico o empresario agrario. Se concederá un premio, pudiendo quedar desierto.

Los premios se regirán de acuerdo a las siguientes

BASES

1. Podrán concursar todos los artículos que versen sobre cualquier tema técnico-económico-agrario.
2. Los artículos que podrán acceder al premio serán todos aquellos que se publiquen en ITEA en el año 2022. Consecuentemente, los originales deberán ser enviados de acuerdo con las normas de ITEA y aprobados por su Comité de Redacción.
3. El jurado estará constituido por las siguientes personas:
 - a) Presidencia de AIDA, que presidirá el jurado.
 - b) Dirección de la revista ITEA, que actuará de Secretario.
 - c) Dirección del CITA (Gobierno de Aragón).
 - d) Dirección del Instituto Agronómico Mediterráneo de Zaragoza.
 - e) Dirección de la Estación Experimental de Aula Dei.
 - f) Dirección del Instituto Pirenaico de Ecología.
4. El premio será anual y tendrá una dotación económica.
5. Las deliberaciones del jurado serán secretas, y su fallo inapelable.
6. El fallo del jurado se dará a conocer en la revista ITEA, y la entrega del premio se realizará con motivo de la celebración de las Jornadas de Estudio de AIDA.

Si desea Vd. pertenecer a la Asociación debe rellenar esta ficha de inscripción y la siguiente hoja sobre Protección de datos.

INSCRIPCIÓN EN AIDA

Si desea Vd. pertenecer a la Asociación rellene la ficha de inscripción y envíela a la siguiente dirección:

Asociación Interprofesional para el Desarrollo Agrario (AIDA). Avenida Montañana, 930, 50059 Zaragoza.

Si elige como forma de pago la domiciliación bancaria adjunte a esta hoja de inscripción el impreso de domiciliación sellado por su banco.

También puede hacer una transferencia a la cuenta de AIDA (Caixabank, Ag. Zuera (Zaragoza), España, nº ES70 2100 8687 2702 0001 2107) por el importe de la cuota anual. En ese caso, adjunte un comprobante de la transferencia.

Apellidos:		Nombre:	
NIF:			
Dirección Postal:			
Teléfono:		Fax:	e-mail:
Empresa:			
Área en que desarrolla su actividad profesional:			
		En _____, a ____ de _____ de 20__	
		Firma:	

FORMA DE PAGO (COUTA ANUAL: 50 EUROS)

☐	Cargo a cuenta corriente (rellenar la domiciliación bancaria)
☐	Transferencia a la cuenta de AIDA ES70 2100 8687 2702 0001 2107 (adjuntar comprobante)

DOMICILIACION BANCARIA

Sr. Director del Banco/Caja			
Muy Sr. mío,			
Ruego a Vd. se sirva adeudar en la siguiente cuenta corriente (IBAN: 24 caracteres)			
que mantengo en esa oficina, el recibo anual que será presentado por la Asociación Interprofesional para el Desarrollo Agrario (AIDA) .			
Atentamente,			
En _____, a ____ de _____ de 20__		Sello de la Entidad:	
Firmado:			

PROTECCIÓN DE DATOS

ASOCIACIÓN INTERPROFESIONAL PARA EL DESARROLLO AGRARIO, de ahora en adelante AIDA, le informa de que los datos facilitados durante su relación con la Asociación serán tratados para gestionar el alta de socio, así como para las gestiones administrativas de la Asociación. La base legal para el tratamiento de sus datos es la relación contractual y su consentimiento. Sus datos podrán ser cedidos a las entidades que sea necesarias para el cumplimiento de nuestras obligaciones legales, y si así lo autoriza, a las empresas colaboradoras de la Asociación. Tiene derecho a acceder, rectificar, suprimir, oponerse al tratamiento de sus datos, así como retirar el consentimiento prestado y pedir su portabilidad.

AUTORIZACIONES

- ☐ * – Autoriza a que AIDA le envíe información a través de medios postales y/o electrónicos (correo electrónico, SMS, etc.) sobre noticias de la asociación, así como información de servicios de sus patrocinadores y/o colaboradores.
- Autoriza a que AIDA pueda facilitar sus datos de contacto a las empresas patrocinadoras o colaboradoras con fines comerciales. ☐ Sí ☐ No *

* Debe responder a estas cuestiones obligatoriamente.

Por último, en aras a dar cumplimiento al Reglamento (UE) 2016/679 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 27 de abril de 2016, relativo a la protección de las personas físicas en lo que respecta al tratamiento de datos personales y a la libre circulación de estos datos, y siguiendo las Recomendaciones e Instrucciones emitidas por la Agencia Española de Protección de Datos (A.E.P.D.),

SE INFORMA

- Los datos de carácter personal solicitados y facilitados por usted, son incorporados a un fichero de titularidad privada cuyo responsable y único destinatario es AIDA, con domicilio en Avenida Montañana, no 930, 50059 - Zaragoza.
- Solo serán solicitados aquellos datos estrictamente necesarios para prestar adecuadamente los servicios solicitados, pudiendo ser necesario recoger datos de contacto de terceros, tales como representantes legales, tutores, o personas a cargo designadas por los mismos.
- Todos los datos recogidos cuentan con el compromiso de confidencialidad, con las medidas de seguridad establecidas legalmente, y bajo ningún concepto son cedidos o tratados por terceras personas, físicas o jurídicas, sin el previo consentimiento del socio, tutor o representante legal, salvo en aquellos casos en los que fuere imprescindible para la correcta prestación del servicio.
- Una vez finalizada la relación entre la Asociación y el socio, los datos seguirán archivados y conservados mientras sean necesarios para dar cumplimiento a las obligaciones legales o, en su defecto, serán devueltos íntegramente al socio (o autorizado legal) o suprimidos si así se solicita por su parte.
- Los datos que facilite serán incluidos en el Tratamiento denominado Socios de AIDA, con la finalidad de gestión del alta de socio, la gestión del servicio contratado, pago de cuotas, contacto, etc., y todas las gestiones relacionadas con los socios y manifiesto mi consentimiento.
- Tiene derecho a acceder a sus datos personales, a solicitar su rectificación, cancelación y oposición, indicándolo por escrito a AIDA con domicilio en Avenida Montañana, no 930, 50059 – Zaragoza, o al correo electrónico de la Asociación: administracion@aidaitea.org.
- Los datos personales serán cedidos por AIDA a las entidades que prestan servicios a la misma siempre que sea estrictamente necesario para llevar a cabo los servicios ofrecidos por la Asociación. Igualmente, sus datos serán cedidos si existe una obligación legal.

Nombre y apellidos del Socio:

DNI:

Representante legal (si lo hubiere):

DNI:

En _____, a ____ de _____ de 20 ____

FIRMA DEL SOCIO:

Normas para los autores (actualizado mayo de 2022)

La revista ITEA es una publicación internacional indexada en las bases de datos de revistas científicas. La revista se publica en español. De acuerdo con los fines de la Asociación Interprofesional para el Desarrollo Agrario (AIDA), ITEA publica artículos que hagan referencia a la Producción Vegetal, Producción Animal y Economía Agroalimentaria. Se aceptan contribuciones en formato de nota técnica, artículo de revisión o artículo de investigación. El envío de un artículo implicará que el mismo no haya sido publicado o enviado para publicar en cualquier otro medio de difusión o idioma y que todos los coautores aprueben dicha publicación. Los derechos sobre todos los artículos o ilustraciones publicados serán propiedad de ITEA, que deberá recibir por escrito la cesión o copyright una vez aceptado el artículo. La publicación de un artículo en ITEA no implica responsabilidad o acuerdo de ésta con lo expuesto, significando solamente que el Comité de Redacción lo considera de suficiente interés para ser publicado.

Desde marzo de 2019, para publicar un artículo en la revista ITEA es necesario que al menos uno de los autores sea socio de AIDA, o en su caso los autores del artículo deberán abonar la cantidad de 50 euros cuando el artículo sea aceptado para su publicación en la revista ITEA. Puede consultar cómo hacerse socio de AIDA en <http://www.aida-itea.org/index.php/sobre-nosotros/hacerse-socio>.

1. Envío de manuscritos y evaluación

Los manuscritos originales se escribirá en español. Se recomienda la revisión del manual "Cómo traducir y redactar textos científicos en español" (<https://www.esteve.org/libros/cuaderno-traducir-textosc Cientificos/>) Los manuscritos se enviarán a través de la plataforma OJS de la revista ITEA (<http://recyt.fecyt.es/index.php/ITEA/user/register>). Para ello, los autores deberán registrarse en la aplicación, incluir el nombre y apellidos de todos los autores de manuscrito en los metadatos del artículo, y seguir las indicaciones pertinentes. El manuscrito se enviará como un único documento Word, incluyendo las tablas y figuras al final del mismo. Los autores deberán incluir en archivo independiente una carta de presentación en la que figure el título, los autores y un listado con 4 potenciales revisores (nombre completo, dirección postal y correo electrónico), que no deberán estar en conflicto de intereses con los autores o el contenido de manuscrito, en cuyo caso el Comité Editorial podrá negarse a colaborar con dichos revisores.

Los manuscritos que no cumplan las normas para autores serán devueltos para su rectificación. El editor correspondiente remitirá el manuscrito a como mínimo 2 revisores que conocerán la identidad de los autores, no así al contrario. Una vez aceptados por el editor, los manuscritos serán revisados por el editor técnico.

Los autores deberán modificar el manuscrito teniendo en cuenta las modificaciones sugeridas por los editores y revisores. La decisión final se comunicará a los autores, que, en caso de solicitarse, deberán modificar el artículo en el plazo de 1 mes desde su comunicación, antes de que sea aceptado definitivamente. Los autores deberán enviar el manuscrito corregido indicando los cambios realizados (por ejemplo, con la función de control de cambios activada), y deberán adjuntar una carta de respuesta a los evaluadores y editores con los cambios realizados. En caso de desacuerdo, los autores deberán justificar al editor debidamente su opinión. Una vez recibidas las pruebas de imprenta del manuscrito, los autores deberán devolver dicho manuscrito corregido en el plazo de 1 semana. Si el editor no recibe una respuesta por parte de los autores tras 1 mes el artículo será rechazado.

2. Tipos de manuscritos

En la revista ITEA se contemplan tres tipos de manuscritos. Los autores deberán expresar qué tipo de formato han escogido:

- **Los artículos de investigación** tendrán una extensión máxima de 30 páginas con el formato indicado en el siguiente punto. Los apartados de los que constarán son: Introducción, Material y métodos, Resultados, Discusión (o bien, Resultados y Discusión de forma conjunta), Conclusiones y Referencias bibliográficas (ver especificaciones en los siguientes apartados), tablas y figuras.

Los artículos de investigación de la sección de Producción Vegetal deben contener suficientes resultados para que las conclusiones sean robustas. Para ello, como norma general, será necesario repetir el mismo ensayo dos veces en momentos o campañas diferentes. Se considerará aceptable realizar el mismo ensayo sobre dos variedades o en dos situaciones o localidades diferentes. En los ensayos de eficacia sobre malas hierbas, insectos, hongos u otros organismos, una posibilidad es obtener la dosis adecuada para el control del organismo en estudio en un ensayo de dosis-respuesta y que esta dosis sea probada de nuevo en otro ensayo, es decir, sin volver a repetir toda la batería de dosis ensayadas previamente. Los ensayos constarán de suficientes repeticiones (mínimo tres). Las condiciones ambientales deberán escribirse de manera que permitan llevar a cabo la repetición del ensayo. La mayoría de ensayos necesitarán un análisis estadístico que refuerce los resultados. En ese caso conviene que se indiquen los resultados de dicho análisis, o al menos la tabla de resultados del anova o del análisis estadístico que se realiza.

- **Las notas técnicas**, referidas a trabajos experimentales de extensión reducida, no excederán de 2000 palabras, incluidas Tablas y/o Figuras.

- **Las revisiones bibliográficas** serán una evaluación crítica de una temática que exponga los resultados de otros trabajos, el estado actual de los conocimientos en esa temática y tratará de identificar nuevas conclusiones y áreas de investigación futuras. La extensión máxima será de 35 páginas. Los apartados de los que constarán son: Introducción, seguida de los apartados que consideren oportunos los autores, Conclusiones y Bibliografía; tablas y figuras si los autores lo consideran oportuno. En caso de copia literal de una tabla o figura de otro artículo, es responsabilidad del autor del manuscrito tener el permiso expreso del autor de la tabla o figura.

3. Preparación del manuscrito

Todos los manuscritos se presentarán en hojas de tamaño DIN A4 con márgenes de 2,5 cm y numeración de líneas continua. Se utilizará interlineado doble, fuente Times New Roman tamaño 12 (también en tablas y figuras). Las referencias bibliográficas, tablas y figuras se presentarán al final del documento en hojas separadas (una hoja por tabla y/o figura).

Se tratará de usar lenguaje inclusivo en todo el manuscrito. Se recomienda la revisión de los documentos "Lenguaje Inclusivo con perspectiva de género" del Gobierno de Aragón (https://www.aida-itea.org/images/Files/MANUAL_LENGUAJE_INCLUSIVO.pdf); "Guías para el uso no sexista del lenguaje" del Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad (<https://www.aida-itea.org/images/Files/Guiaslenguajenosexista.pdf>) y/o visitar la página web de las Naciones Unidas "lenguaje inclusivo en cuanto al género" (<https://www.un.org/es/gender-inclusive-language/guidelines.shtml>)

Todos los manuscritos incluirán, en la primera página:

Título: será lo más conciso posible. No incluirá fórmulas químicas (excepto símbolos químicos para indicar isótopos) y se evitarán las abreviaturas. El formato del título será en negrita y formato tipo oración.

Autores: nombre completo y apellido de los autores. Si un autor desea aparecer con dos apellidos, éstos deberán unirse con un guión. Los autores penúltimo y último irán separados por una "y". En caso de que pertenezcan a distintas instituciones, señalar a cada autor con números superíndices diferentes.

El/la autor/a para correspondencia irá indicado con un asterisco. En el caso de un artículo con varios autores, el/la autor/a para correspondencia garantizará que el resto de autores están de acuerdo con el contenido del artículo y el orden de autoría. En caso de que haya habido cambios en la autoría durante la evaluación del manuscrito, el/la autor/a para correspondencia garantizará que todos los autores implicados en alguna fase del proceso de evaluación están de acuerdo con la autoría final. Una vez que un manuscrito está aceptado no se podrán modificar los autores.

Dirección postal profesional de los autores. Si se desea indicar la dirección actual, deberá escribirse con una letra minúscula como superíndice.

Correo electrónico el/la autor/a a quien se va a dirigir la correspondencia.

Ejemplo:

Alternativas al penoxsulam para control de *Echinochloa* spp. y ciperáceas en cultivo de arroz en el nordeste de España

G. Pardo^{1*}, A. Marí¹, S. Fernández-Cavada², C. García-Floria³, S. Hernández⁴, C. Zaragoza¹ y A. Cirujeda¹

*autor para correspondencia: gpardos@aragon.es

El manuscrito incluirá a continuación:

Resumen, que deberá tener un máximo de 250 palabras, e incluirá brevemente los objetivos del trabajo, la metodología empleada, los resultados más relevantes y las conclusiones. Se evitará el uso de abreviaturas.

Palabras clave, un máximo de 6, evitando las ya incluidas en el título.

En inglés: Título del artículo, Resumen, Palabras clave

4. Apartados del manuscrito

El formato de títulos de los apartados será en negrita, el del primer sub-apartado en negrita y cursiva, y el siguiente nivel en cursiva.

• **Introducción:** deberá explicar la finalidad del artículo. El tema se expondrá de la manera más concisa posible, indicando al final los objetivos del trabajo.

• **Material y métodos:** deberá aportar la información necesaria que permita la réplica del trabajo, incluyendo el nombre del fabricante de productos o infraestructuras utilizadas. Los manuscritos deberán incluir una descripción clara y concisa del diseño experimental y de los análisis estadísticos realizados. Se indicará el número de individuos/muestras, valores medios y medidas de variabilidad iniciales. Se informará sobre si los datos de origen de la investigación tienen en cuenta el sexo, con el fin de permitir la identificación de posibles diferencias.

• **Resultados:** los resultados se presentarán en Tablas y Figuras siempre que sea posible. No se repetirá en el texto la información recogida en las Figuras y Tablas. Se recomienda presentar el valor de significación para que el lector pueda disponer de información más detallada. Puede redactarse de forma conjunta con el apartado de discusión.

• **Discusión:** deberá interpretar los resultados obtenidos, teniendo en cuenta además otros trabajos publicados. Se recomienda utilizar un máximo de 4 referencias para apoyar una afirmación en la discusión, exceptuando en las revisiones.

• **Conclusiones:** a las que se han llegado, así como las posibles implicaciones prácticas que de ellas puedan derivarse (aproximadamente 200 palabras).

• **Agradecimientos:** deberá mencionarse el apoyo prestado por personas, asociaciones, instituciones y/o fuentes de financiación del trabajo realizado.

• **Referencias bibliográficas:** sólo se citarán aquellas referencias relacionadas con el trabajo o que contribuyan a la comprensión del texto. Como máximo se podrán utilizar 40 citas en los artículos de investigación, y 60 en las revisiones bibliográficas. En el manuscrito, se mantendrá el orden cronológico en caso de citar varios autores. Las citas en el texto deben hacerse siguiendo los siguientes ejemplos:

*un autor (Padilla, 1974)

*dos autores (Vallace y Raleigh, 1967)

*más de 3 autores: (Vergara et al., 1994)

*mismos autores con varios trabajos (Martín et al., 1971 y 1979)

*autores con trabajos del mismo año: Prache et al. (2009a,b)

*Si la cita forma parte del texto: "como indicaban Gómez et al. (1969)"

*Leyes y reglamentos: (BOE, 2005) o BOE(2005) si forma parte del texto

Los nombres de entidades u organismos que figuren como autores, por ejemplo Dirección General de la Producción Agraria (DGPA), deberán citarse completos en el texto la primera vez.

Al final del trabajo se referenciarán en orden alfabético, por autor, todas las citas utilizadas en el texto. En caso de más de una referencia de un mismo autor principal, se mantendrá el orden cronológico entre ellas. Se podrán citar trabajos "en prensa", siempre que hayan sido aceptados para su publicación. En casos excepcionales, se aceptarán menciones como "Comunicación personal" o "Resultados no publicados", aunque no constarán entre las referencias bibliográficas. Se indican a continuación ejemplos de **referencias bibliográficas:**

Artículo

Blanc F, Bocquier F, Agabriel J, D'Hour P, Chilliard Y(2006). Adaptive abilities of the females and sustainability of ruminant livestock systems. A review. *Animal Research* 55: 489-510. <https://doi.org/10.1051/animres:2006040>.

Capítulo de libro

Verlander JW (2003). Renal physiology. En: *Textbook of Veterinary Physiology* (Ed. Cunningham JG), pp. 430-467. W.B. the Saunders Company, an Elsevier imprint.

Libro

AOAC (1999). Official Methods of Analysis, 16th. Ed. AOAC International, MD, EE. UU. 1141 pp.

Acta de congreso

Misztal I (2013). Present and future of genomic selection at the commercial level. Book of Abstracts of the 64th Annual Meeting of the EAAP, 20-30 de agosto, Nantes, Francia, pp. 100. <https://doi.org/10.3920/978-90-8686-782-0>.

Fuente electrónica

FAOSTAT (2011). Food and Agriculture Organization statistical database. Disponible en:

<http://faostat.fao.org/default.aspx>

(Consultado: 30 enero 2012).

Documento oficial

MARM (2009). Anuario de estadística agroalimentaria y pesquera 2007. Subsecretaría General Técnica, Ministerio de Medio Ambiente, Medio rural y Marino, 937 pp.

Leyes / Reglamentos

BOE (2005). Real Decreto 368/2005, de 8 de abril, por el que se regula el control oficial del rendimiento lechero para la evaluación genética en las especies bovina, ovina y caprina. Boletín Oficial del Estado, núm. 97, de 23 de abril de 2005, pp. 13918-13937

Indicar la URL del DOI, en las referencias que dispongan del mismo, al final del resto de datos de la referencia. Ejemplo: Albaladejo-García JA, Martínez-Paz JM, Colino J (2018). Evaluación financiera de la viabilidad del uso del agua desalada en la agricultura de invernadero del Campo de Níjar (Almería, España). ITEA-Información Técnica Económica Agraria 114(4): 398-414. <https://doi.org/10.12706/itea.2018.024>.

- **Tablas y Figuras:** su número se reducirá al mínimo necesario, y los datos no deberán ser presentados al mismo tiempo en forma de tabla y de figura. Se recomienda un tamaño de 8 o 16 cm. Las tablas y figuras llevarán numeración diferente y deberán estar citadas en el texto. Sus encabezamientos deberán redactarse de modo que el sentido de la ilustración pueda comprenderse sin necesidad de acudir al texto. Los encabezamientos y pies de figuras deberán aparecer en español e inglés (en cursiva).

Para el diseño de las tablas sólo se usarán filas y columnas, no se usarán tabulaciones ni saltos de línea. No se utilizarán líneas verticales entre columnas ni horizontales entre filas. Sólo se separarán con líneas horizontales los títulos.

Ejemplo de tabla:

Tabla 3. Tarjetas de productos hipotéticos expuestos a los encuestados

Table 3. Hypothetical products cards shown to those surveyed

Nº Tarjeta	Precio €/kg	Tipo de carne	Origen	Sistema
1	22	Lechal	Nacional	Convencional
2	22	Cebo	Extranjero	Ecológico
3	18	Lechal	CLM	Ecológico
4	18	Ternasco	Extranjero	Convencional

Fuente: Diaz et al. (2013)

Las figuras se presentarán con la mayor calidad posible. Se podrán presentar en blanco y negro o en color. Los dibujos, gráficos, mapas y fotografías se incluirán como figuras. Para mayor claridad se recomienda el uso, en primer lugar, de líneas continuas; en segundo lugar, de puntos; y en último lugar, de rayas. Se recomienda el uso de símbolos □, ■, ○, ●, △, ▲, ◇, ◆, +, y x. No utilizar líneas de división horizontales en el gráfico. Incluir barras de error cuando no entorpezcan la interpretación de la figura. En los ejes figurarán las unidades de las medidas referidas (entre paréntesis o separadas por coma). El número de la figura y su leyenda se indicarán en la parte inferior de la misma. Si las figuras se confeccionan con un programa distinto de los del paquete Office deberán ser de una calidad de 300 píxeles por pulgada o superior o escalable. Se enviarán las fotografías por separado como archivos de imagen (jpg, tiff o similar) con una resolución final de al menos 300 ppp (píxeles por pulgada).

5. Normas de estilo

- Se aplicará el Sistema Internacional de Unidades.
- Los decimales se indicarán en español con una coma (,) y en inglés con un punto (.).
- Las abreviaturas se definirán la primera vez que se citen en el texto.
- Las frases no podrán comenzar con una abreviatura o un número.
- Los nombres de hormonas o productos químicos comenzarán con minúsculas (sulfato de metilo, en vez de Sulfato de Metilo).
- Los símbolos de los genes se escribirán en mayúsculas y cursivas, y los símbolos de las proteínas que codifican estos genes en mayúsculas en texto plano (no cursiva). Igualmente, cuando aparezca el nombre del gen éste irá en cursiva, mientras que su proteína irá en texto plano.
- Las fórmulas químicas se nombrarán según las normas IUPAC (p. ej. H₂SO₄ en vez de SO₄H₂) y los nombres comerciales comenzarán con mayúscula (p.ej. Foligón). En el caso de iones, debe indicarse el signo (p. ej. NO₃⁻, SO₄²⁻).
- Los nombres científicos de organismos vivos (botánicos, microbiológicos o zoológicos) deberán incluir en su primera cita la denominación completa de género, especie y del autor. En siguientes apariciones se abreviará el género con la inicial del mismo y se mantendrá el nombre de la especie. Ejemplo: *Papaver rhoeas* L. y posteriormente, *P. rhoeas*.
- Los nombres latinos de géneros, especies y variedades se indicarán en cursiva y los nombres de cultivares entre comillas simples (p. ej. 'Sugar Baby').
- Las llamadas en nota a pie de página o cuadro deberán ser las menos posibles y, en todo caso, se indicarán mediante números correlativos entre paréntesis (p. ej. (1), (2), evitando el uso de asteriscos, letras o cualquier otro signo).
- Los niveles de significación estadística no necesitan explicación (* = P<0,05; ** = P<0,01; *** = P<0,001; NS = no significativo).

Volumen 118

Número 4

Diciembre 2022

itea

información técnica económica agraria
www.aida-itea.org

REVISTA DE LA ASOCIACIÓN INTERPROFESIONAL PARA EL DESARROLLO AGRARIO

