

itea

información técnica económica agraria

REVISTA DE LA ASOCIACIÓN INTERPROFESIONAL PARA EL DESARROLLO AGRARIO

Volumen 121

Número 3

Septiembre 2025



aida-itea.org

2025- AÑO LVI Vol. 121 N.º 3 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 Maquetación: Remedios Cordero
--	---	--

DIRECCIÓN:	Paula Gaspar, Universidad de Extremadura. España
EDICIÓN CIENTÍFICA:	José Manuel Alonso, CITA de Aragón. España Javier Álvarez, Universidad de Zaragoza (Campus de Huesca). España Miguel Escribano, 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 Alicia Cirujeda, CITA de Aragón. España Azucena Gracia, CITA de Aragón. España Mª Engracia Guerra Velo, CICYTEX, Extremadura. España Sandra Lobón, CITA de Aragón. España María Teresa Maza, Universidad de Zaragoza. España José Manuel Mirás Avalos, MBG-CSIC de Galicia. España Daniel Villalba, Universidad de Lleida. España
COMITÉ ASESOR:	Ricardo Aké, Universidad Autónoma de Yucatán, México; Joaquín Aibar, Universidad de Zaragoza, España; Francisco Alcón, Universidad Politécnica de Cartagena, España; Ángeles Calatayud, Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias, España; Alba Cerisuelo, Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias, España; Kizkitza Insausti, Universidad Pública de Navarra, España; Ramón Isla, Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón, España; Jorge Lora, Instituto de Hortofruticultura Subtropical y Mediterránea, España; Ana Meikle, Universidad de la República, Uruguay; Francisco Javier Mesías, Universidad de Extremadura, España; Ana Olaizola, Universidad de Zaragoza, España; Raquel Sánchez Pérez, Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura (CSIC), España; Manuel Serradilla, Centro de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de Extremadura, España; Verónica Sierra, Servicio Regional de Investigación y Desarrollo Agroalimentario, España; 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>



Autor: Fulgencio Honorio Guisado

Título: Entre algodones.

En la imagen aparece una colonia de individuos adultos (hembras hermafroditas) de la cochinilla acanalada, *Icerya purchasi* Maskell (Hemiptera: Margarodidae), originaria de Australia e introducida en España en 1920, convirtiéndose en una plaga común en los cítricos y plantas ornamentales. Destaca, a continuación de su caparazón, un saco blanco asurcado de aspecto algodonoso bajo el cual contiene decenas de huevos de color rojizo. Los daños son provocados al debilitar la planta por succionar la savia de la que se alimentan y por la depreciación de los frutos debido a la secreción de melaza, sobre la que se desarrolla la negrilla (hongo saprófito). Esta plaga llevó a la producción citrícola californiana (EE. UU.) a un progresivo declive en la segunda mitad del siglo XIX. Fue la introducción del escarabajo de élitros rojos y lunares negros, *Rodolia cardinalis* (Coleoptera: Coccinellidae), desde Australia y depredador natural de *Icerya purchasi* en 1886, quien consiguió llevar la población de la cochinilla a niveles tolerables. Este primer empleo de enemigos naturales contra las plagas supuso el impulso de una moderna concepción de la lucha contra plagas, lo que hoy conocemos como Control Biológico.

Sumario

Producción Vegetal

- ¿Puede el cultivo de triticale (*X Triticosecale Wittm. ex A. Camus*) ayudar al control de la abundancia de conejos silvestres (*Oryctolagus cuniculus* L.) en agrosistemas cerealísticos?
Can farming triticale (X Triticosecale Wittm. ex A. Camus) help to control the abundance of European wild rabbits (Oryctolagus cuniculus L.) in cereal cropping systems?
 Carlos Calvete y Rosa Estrada 204

Producción Animal

- Evaluación de los retos y atributos que determinan la resiliencia de las ganaderías de la raza Latxa elaboradoras de queso.
Assessment of the challenges and attributes that determine the resilience of Latxa breed cheese-making dairy farms.
 Joseba Lizarralde, Barbara Soriano, Alicia Prat-Benhamou, Roberto Ruiz, Daniel Martín-Collado y Nerea Mandaluniz 223
- Patrones de ingestión de agua en ganado bovino de lidia.
Water intake patterns in lidia cattle.
 Juan Manuel Lomillos y Marta Elena Alonso 242
- Caracterización de los parámetros productivos, calidad de la canal y la carne de terneros frisones.
Characterization of the productive parameters, carcass and meat quality of Friesian calves.
 Rubén Domínguez-Valencia, Laura Purriños, Roberto Bermúdez, Francisco Bello, Luis García y Francisco Estévez 258
- Desarrollo de un léxico sensorial y una rueda sensorial para mieles producidas en México.
Development of a sensory lexicon and a sensory wheel for honeys produced in Mexico.
 Blanca Isabel Sánchez-Toledano 276
- Identificación de los sistemas de vacuno leche representativos de España desde una perspectiva ambiental.
Identification of representative dairy cattle systems in Spain from an environmental perspective.
 Gregorio Salcedo, Daniel Salcedo-Rodríguez 289

¿Puede el cultivo de triticales (*X Triticosecale* Wittm. ex A. Camus) ayudar al control de la abundancia de conejos silvestres (*Oryctolagus cuniculus* L.) en agrosistemas cerealísticos?

Carlos Calvete^{1,3*} y Rosa Estrada^{2,3}

¹ Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA). Dpto. de Ciencia Animal. Avda. Montañana 930, 50059 Zaragoza, España.

² Universidad de Zaragoza, Facultad de Veterinaria, Dpto. de Patología Animal. Avda. Miguel Servet 177, 50013 Zaragoza, España.

³ Instituto Agroalimentario de Aragón IA2 (CITA-Universidad de Zaragoza) Zaragoza, España.

Resumen

El conejo silvestre (*Oryctolagus cuniculus* L.) puede ocasionar grandes daños a la agricultura, especialmente en agrosistemas cerealísticos en los que puede alcanzar densidades elevadas. El control de sus poblaciones suele requerir un esfuerzo cinegético intenso y prolongado que puede originar conflictos entre los sectores agrícola, cinegético y de la conservación, por lo que la reducción de los recursos tróficos que suponen los propios cultivos podría ser una estrategia complementaria que facilitase el control de esta especie. Observaciones empíricas han sugerido que el triticales (*X Triticosecale* Wittm. ex A. Camus) podría ser un cereal candidato para la implementación de esta estrategia de control debido a una aparente menor preferencia por parte de los conejos para consumirlo en comparación a otros cultivos. Por este motivo, el objetivo del presente estudio fue determinar a lo largo de cuatro años la asociación del índice de abundancia kilométrica de conejos (IKA) con la predominancia de diferentes cultivos, incluido el triticales, en un agrosistema cerealístico de secano en el nordeste de la península ibérica. Los resultados evidenciaron una clara asociación negativa de la abundancia de conejos con la práctica del barbecho y con el porcentaje de superficie dedicada al cultivo del triticales, sugiriendo la posibilidad de implementar ambas prácticas agrícolas en estrategias dirigidas a aumentar la eficacia del control de las poblaciones de conejos. No obstante, serían necesarios más trabajos de investigación para caracterizar los mecanismos implicados causantes de esta asociación negativa del triticales con el IKA y validar la conveniencia del cultivo de este cereal dentro de las estrategias de control.

Palabras clave: Conflictos con fauna salvaje, control de plagas, conservación agrosistemas, daños a la agricultura, lagomorfos.

* Autor para correspondencia: ccalvete@aragon.es

Cita del artículo: Calvete C., Estrada R. (2025). ¿Puede el cultivo de triticales (*X Triticosecale* Wittm. ex A. Camus) ayudar al control de la abundancia de conejos silvestres (*Oryctolagus cuniculus* L.) en agrosistemas cerealísticos?. ITEA-Información Técnica Económica Agraria 121(3): 204-222. <https://doi.org/10.12706/itea.2025.005>



Can farming triticale (X *Triticosecale* Wittm. ex A. Camus) help to control the abundance of European wild rabbits (*Oryctolagus cuniculus* L.) in cereal cropping systems?

Abstract

The European wild rabbit (*Oryctolagus cuniculus* L.) can cause significant damage to crops in cereal agrosystems where rabbit populations can reach high densities. Control of rabbit populations is usually achieved by applying intensive hunting efforts over time, which can generate conflicts between hunters, farmers and conservationists. In this scenario, however, the reduction of trophic resources provided by crops could be a complementary strategy to increase the effectiveness of rabbit control programs in this type of agrosystems. Recently, empirical observations have suggested that triticale (X *Triticosecale* Wittm. ex A. Camus) could be a candidate cereal to be considered in this strategy, since the preference of rabbits for this cereal was apparently lower than for other ones. In this way, the aim of this study was to determine, over four years, the association of a rabbit kilometeric abundance index (KAI) with the presence and relative extent of different crops (including triticale) in a cereal agrosystem located in the northeast of the Iberian Peninsula. The results showed a clear negative association of KAI with the percentage of uncultivated agricultural land (annual fallow) and the percentage of crop area occupied by triticale, suggesting that both agricultural practices could increase control efficacy if were included in rabbit control strategies. However, further research is needed to elucidate the underlying mechanisms involved in the negative relationship between KAI and triticale cultivation to validate its application in rabbit control strategies.

Keywords: Agricultural systems conservation, crop damage, lagomorphs, pest control, wildlife conflict.

Introducción

El conejo silvestre (*Oryctolagus cuniculus* L.) es una especie clave de los ecosistemas mediterráneos de la península ibérica, tanto por su papel como presa para numerosas especies de predadores como por su capacidad modeladora de estos ecosistemas (Delibes-Mateos et al., 2008). Paradójicamente, aunque el conejo silvestre está clasificado como especie en peligro según la Lista Roja de especies amenazadas de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) (Villafuerte y Delibes-Mateos, 2019) en numerosas áreas de la península ibérica esta especie es considerada plaga debido a los daños que ocasiona a la agricultura, los cuales se han incrementado notablemente durante las dos últimas décadas. Aunque la magnitud de estos daños no siempre está directamente relacionada con la abundancia de conejos, ésta suele ser un factor determinante, especialmente en agrosistemas cerealísticos en donde los conejos pueden alcanzar densidades elevadas (Delibes-Mateos et al., 2018).

En la mayoría de los hábitats, la abundancia de conejos está íntimamente ligada a la presencia de especies vegetales palatables para los conejos que impliquen la disponibilidad de proteína de calidad para su alimentación, ya que ello mejora su estado fisiológico e incrementa su éxito reproductivo (Villafuerte et al., 1997; Virgós et al., 2003; Llobat y Marín-García, 2022). Estudios realizados en áreas agrícolas han mostrado la preferencia de los conejos por el consumo de gramíneas cultivadas, preferentemente trigo (*Triticum* spp.) o cebada (*Hordeum* spp.) (Homolka, 1988; Chapuis y Gaudin, 1995). Estos cultivos presentan las mejores cualidades nutritivas durante las fases iniciales de crecimiento, coincidiendo con el período álgido de reproducción de los conejos (Marín-García y Llobat, 2021), de tal manera que en agrosistemas cerealísticos en donde la vegetación natural presenta una baja productividad, la abundancia de conejos es modulada por la presencia y distribución espacial de cereales de invierno como trigo o cebada (Calvete et al., 2004).

Tradicionalmente la responsabilidad del control de las poblaciones de conejos ha recaído sobre el sector cinegético, básicamente mediante la intensificación de prácticas de caza y captura. No obstante, los mecanismos inherentes a la especie, capaces de compensar dinámicas poblacionales negativas (Myers *et al.*, 1994; Twigg *et al.*, 2000), y la idiosincrasia de los sectores implicados conlleva que estas medidas de control directo suelen resultar insuficientes o muy lentas, prolongando en el tiempo los daños a la agricultura y generando conflictos entre agricultores, cazadores y conservacionistas (Cabezas-Díaz *et al.*, 2009; Delibes-Mateos *et al.*, 2014).

Como opción menos conflictiva a las medidas de control directo, algunos estudios han considerado el manejo de los recursos tróficos de los conejos como estrategia para reducir los daños a la agricultura, aunque con escaso éxito (Barrio *et al.*, 2011). Siguiendo esta estrategia, una opción plausible en agrosistemas cerealísticos sería reducir la oferta del alimento de calidad que suponen los cultivos de cereal, lo que debería redundar en una disminución del éxito reproductivo y por lo tanto de la abundancia de conejos.

Durante los últimos años, observaciones puntuales realizadas por gestores cinegéticos y agricultores han sugerido que los daños producidos por el conejo en cultivos de triticales (*X Triticosecale* Wittm. ex A. Camus), un cereal híbrido derivado del cruce entre trigo y centeno (*Secale cereale* L.), son sensiblemente menores que los registrados en cultivos de otros cereales como el propio trigo o la cebada. En general, se considera que el triticales es menos atractivo para los conejos durante su crecimiento vegetativo que otros cereales (Royo *et al.*, 2004), hasta tal punto que en algunas ocasiones se comercializa publicitado como “resistente” a los conejos sin ningún estudio consistente que respalde esta apreciación. De manera similar, en poblaciones de conejos silvestres mantenidas a elevada den-

sidad dentro de cercados experimentales también se ha observado la casi nula preferencia de éstos hacia el triticales en presencia de otros recursos alimenticios (p. ej. pienso compuesto) y la notable reticencia para consumirlo aun siendo la única fuente de alimento (C. Calvete, personal obs.), lo que también sugiere una limitada aceptación de este cereal por los conejos.

Debido al interés de identificar otras herramientas complementarias a los métodos de control directo tradicionales, que sean menos conflictivas con la conservación, y que puedan servir para reducir el ingente esfuerzo cinegético necesario para mantener poblaciones a niveles aceptables en los agrosistemas cerealísticos de secano, el objetivo del presente estudio ha sido determinar la asociación entre la abundancia de conejos y la variación de los recursos tróficos ofrecidos por diferentes cultivos propios de estos agrosistemas, con especial interés en evaluar la hipótesis de si el cultivo del triticales podría estar asociado a una disminución de la abundancia de conejos en estos sistemas agrarios de la península ibérica.

Material y métodos

Área de estudio

El área de estudio se localizó en el municipio de Zuera (provincia de Zaragoza, nordeste de España), ubicado en el valle medio del río Ebro a 290 m de altitud sobre el nivel del mar. En esta área el clima es típicamente mediterráneo continental (Guerrero, 1998), caracterizado por la escasez de precipitaciones, que no suelen superar los 300 mm anuales, y una temperatura media de 13,5 °C. Específicamente, el estudio se realizó en el área comprendida entre las estribaciones de la sierra de los Montes de Zuera y las terrazas fluviales del río Gállego, un área eminentemente

agrícola de relieves suaves y suelos blandos compuestos de yesos casi puros que configuran un hábitat idóneo para el conejo (Guerrero, 1998; Calvete *et al.*, 2004). La orografía dominante en esta zona se caracteriza por la existencia de planicies y valles de escasa profundidad y fondo plano dedicados a la agricultura (denominados “vales”), separados por áreas de mayor pendiente ocupadas por comunidades de vegetación natural xerófila entre las que destacan especies pertenecientes a la alianza *Rosmarino-Ericion*, como *Rosmarinus officinalis*, *Genista scorpius* o *Lygeum spartum* entre otras (Guerrero, 1998). Estas comunidades vegetales son de carácter arbustivo-estepario, de escasa densidad y están muy degradadas por la acción antrópica, por lo que su valor como recurso alimentario para los conejos es inferior al de los cultivos.

La mayoría de las madrigueras de conejos se localizan en estas áreas de vegetación natural, las cuales constituyen aproximadamente el 30 % de la superficie total, mientras que el

restante 70 % es superficie agrícola dedicada predominantemente al cultivo de cereales de invierno (sobre todo trigo y cebada), y de forma ocasional al cultivo de otros cereales y leguminosas. Debido a las características del suelo las parcelas de cultivo son sembradas normalmente una vez cada dos años, dejándolas en barbecho el año entre dos siembras consecutivas.

Monitorización de la abundancia de conejos

Dentro del área de estudio se seleccionaron cuatro zonas (Z1 a Z4) en las que se monitorizó la variación de las poblaciones de conejos durante cuatro años consecutivos (2021 a 2024). Estas zonas fueron elegidas por ser zonas en las que tradicionalmente se venían registrando daños producidos por los conejos y por estar emplazadas a lo largo de vales con orografía y porcentaje de superficie de cultivo similares (Tabla 1). Las cuatro zonas se

Tabla 1. Superficie total, porcentaje de superficie cultivada, longitud del transecto e índice kilométrico medio de abundancia de conejos IKA (media ± DS) en cada una de las zonas de estudio. Se muestran también los porcentajes medios (y su rango) ocupados por cada categoría de cultivo respecto al área total cultivable.

Table 1. Total area, percentage of cultivated soil, transect length and mean rabbit abundance index IKA (mean ± SD) in experimental zones. The mean percentage (and range) of soil cultivated with every crop category relative to the total crop area is also included.

	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4
Superficie total (ha)*	42,05	30,05	37,55	29,75
Superficie cultivada (%)*	86,24	79,20	88,40	79,69
Longitud transecto (m)	1400	1000	1250	990
IKA (conejos/km)	37,87 ± 22,29	21,52 ± 11,11	43,26 ± 10,22	9,88 ± 3,29
Barbecho (%)	11,67 (8,65-13,96)	40,58 (26,38-54,34)	20,85 (6,75-28,87)	48,44 (20,45-82,86)
Triticale (%)	55,69 (37,16-84,71)	35,38 (20,47-43,68)	34,04 (17,38-64,26)	35,86 (8,95-79,46)
Otros (%)**	32,64 (6,64-49,98)	24,04 (19,01-30,07)	49,90 (8,57-72,58)	15,69 (0,08-33,22)

* Calculada sobre el área total que rodea a cada transecto (radio 150 m).

** Suma de cebada, trigo, avena y leguminosas (guisante y veza).

localizaron en el centro de una extensa matriz homogénea desde el punto de vista paisajístico, con orografía, tipo de suelo, vegetación y uso agrícola similares, con el fin de evitar posibles interferencias en los resultados debidas a variaciones de la calidad del hábitat en la proximidad de alguna de las zonas. Con el fin de minimizar la dependencia espacial de las estimas de abundancia obtenidas en las cuatro zonas, éstas se ubicaron a distancias entre 500 m y 2500 m, distancias superiores al diámetro medio del rango máximo del área de campeo de esta especie en hábitats mediterráneos (Cabezas-Díaz y Virgós, 2022).

Cuando se realizan ensayos de este tipo se recomienda, si es factible, estimar la densidad poblacional ya que facilita la comparabilidad de las poblaciones entre diferentes estudios. El conteo de letrinas a lo largo de un recorrido o el conteo de conejos teniendo en cuenta su distribución espacial, se consideran métodos válidos para obtener tales estimas (Cabezas-Díaz y Virgós, 2022). Sin embargo, debido a la elevada densidad de conejos en el área de estudio, se descartó la utilización de estos métodos porque que en tales escenarios la correlación entre la densidad y el número de letrinas disminuye sensiblemente (Cabezas-Díaz y Virgós, 2022) y la dificultad de registrar la distribución espacial de los conejos durante un recorrido aumenta dramáticamente, haciendo inviable su aplicación. Por este motivo en el presente trabajo cuyo principal objetivo fue detectar cambios poblacionales se recurrió a la simple monitorización de la variación de la abundancia de conejos a lo largo del período de estudio.

Para estimar la abundancia de conejos se estableció un transecto de longitud fija siguiendo el fondo de cada val (rango 990-1400 m) (Tabla 1). Cada transecto fue recorrido a velocidad constante de 5 km/h en un vehículo todoterreno ocupado por dos observadores, siempre los mismos y equipados con un foco manual, procediéndose al recuento de co-

nejos vistos a lo largo de toda la longitud del transecto. Para disminuir la variación en los conteos debida tanto a cambios en la actividad circadiana de los conejos como a diferentes condiciones climáticas, los recuentos se iniciaron 90 min antes del amanecer, recorriéndose los cuatro transectos en la misma jornada y siempre con predicción de climatología estable, esto es, con ausencia de precipitación y velocidad media del viento inferior a 10 km/h 24 h antes y después de la realización de los conteos.

Cada año se realizaron entre 7 y 9 conteos en cada zona (155 conteos en total) en el período comprendido entre los meses de julio a septiembre. Los conteos se realizaron durante este período porque la probabilidad de detección de los conejos fue máxima debido a que todos los cultivos se encontraron ya cosechados, fue posible transitar con vehículo por las parcelas de cultivo y sobre todo porque la dinámica poblacional de los conejos fue más estable al haber finalizado la reproducción asociada al crecimiento vegetal de invierno-primavera y no haber comenzado el siguiente período reproductor en otoño (Calvete *et al.*, 2002). La abundancia de conejos se expresó mediante un índice kilométrico de abundancia (IKA) que se estimó dividiendo el número de conejos avistados por la longitud de cada transecto expresada en kilómetros (número de conejos/km).

Distribución y monitorización de cultivos

El área de influencia de los cultivos sobre la abundancia de conejos en un transecto (área total) se determinó como el área comprendida alrededor de cada transecto en un radio de 150 m (Figura 1), ya que esta distancia engloba la práctica totalidad de las áreas medias de campeo descritas para conejos silvestres en diferentes tipos de hábitats (2-7 ha) (Daniels *et al.*, 2003; Moseby *et al.*, 2005; Devillard *et al.*, 2008; Rouco *et al.*, 2019).

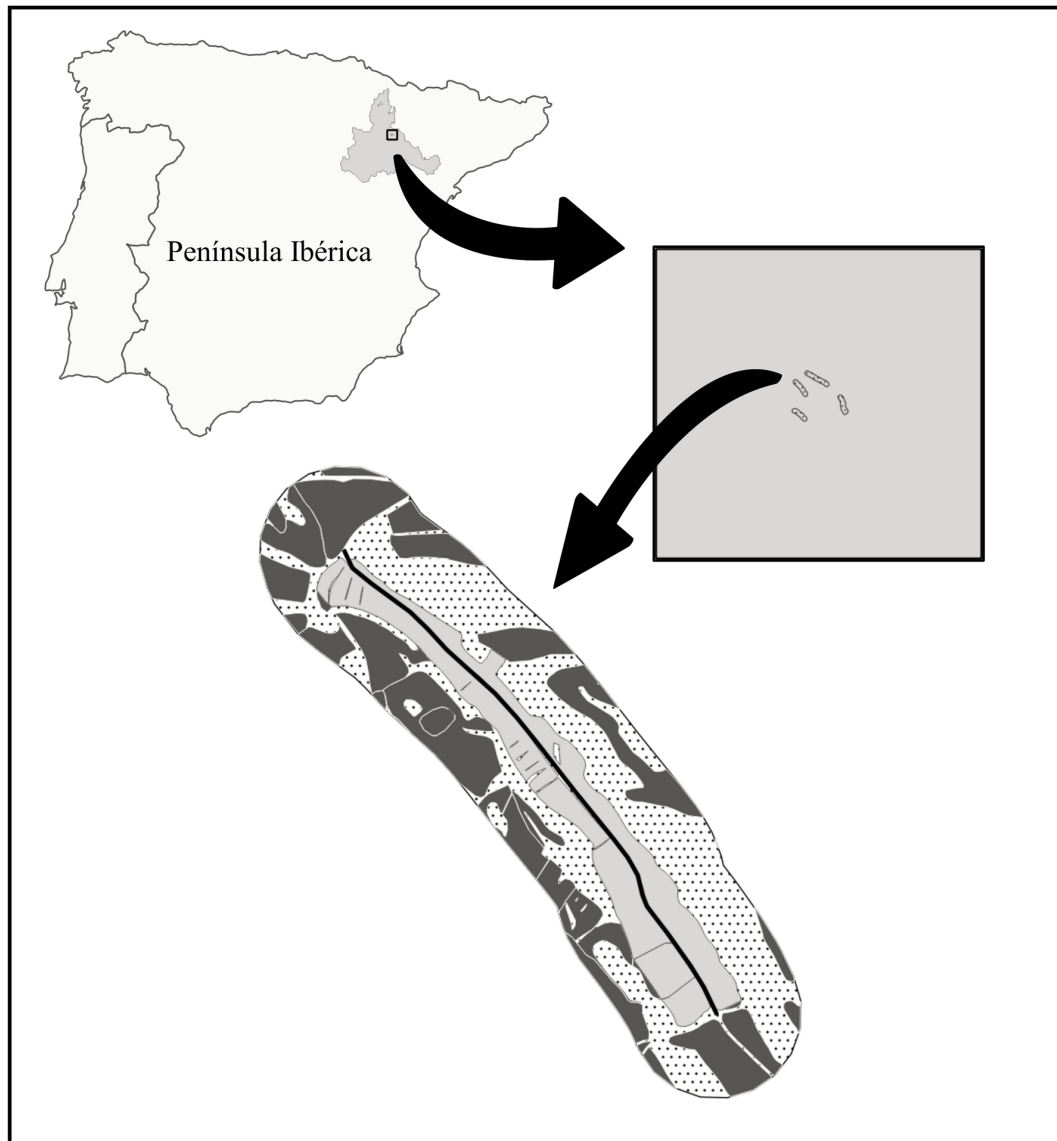


Figura 1. Localización geográfica de las áreas de estudio (Z1 a Z4) en la provincia de Zaragoza (en gris). En la parte inferior, ejemplo de distribución de las parcelas de cultivo de una de las zonas en el área total circundante (150 m de radio) al transecto (línea negra). En color gris claro las parcelas situadas en el fondo de la val en donde se realizaron todos los avistamientos de conejos. En color gris oscuro las parcelas periféricas en donde no se pudo realizar ningún avistamiento. En punteado negro las zonas de vegetación natural.

Figure 1. Location of the four study areas (Z1 to Z4) in the Iberian Peninsula (Saragossa province in grey). At the bottom of the figure, example of crop distribution surrounding (150 m radius) one of the transects (thick black line). In light grey colour, crops in which rabbit counts took place. In dark grey colour, peripheral crops beyond the limit distance to sight rabbits. Black dotted areas, natural vegetation areas.

Sin embargo, debido a la orografía de las vales y a la metodología empleada, la totalidad de los avistamientos durante los conteos tuvo lugar exclusivamente en las áreas de cultivo del fondo de las vales y en los primeros metros de las áreas de vegetación natural aledañas. Por este motivo, el área total de cada zona se subdividió en dos subáreas: subárea central, en la que tuvieron lugar todos los avistamientos de conejos y comprendió las parcelas de cultivo del fondo de cada val hasta una anchura máxima de 75 m a cada lado –ya que esta distancia fue la distancia máxima a la que se pudo detectar conejos con ayuda del foco manual– y subárea periférica, la cual comprendió el resto de superficie de cultivo en la que no se pudo avistar ningún conejo, bien porque no alcanzaba el haz de luz del foco o bien por encontrarse al otro lado de áreas más elevadas o de vegetación natural (Figura 1).

La información relativa a los tipos de cultivos sembrados en otoño de cada año en las parcelas agrícolas se obtuvo a través del servicio de descargas del Fondo de Garantía Agraria (FEGA) del Sistema de información Geográfica de Parcelas Agrícolas (SIGPAC, 2024), complementada con información proporcionada directamente por la Cooperativa Agraria San Licer (Zuera). Esta información se recabó para los años 2019 a 2023, calculándose el porcentaje de superficie ocupado por cada cultivo respecto a la superficie total cultivable, tanto a nivel del área total circundante a cada transecto (Tabla 1) como para ambas subáreas: central y periférica. Toda la información referente a la distribución de las parcelas, superficies y tipos de cultivo se elaboró con el programa para tratamiento de información geográfica QGIS (2020).

Las medias $\pm$ DS de los porcentajes de superficie ocupados por cada tipo de cultivo calculadas para las cuatro zonas a lo largo de los cuatro años de estudio evidenciaron un claro predominio de triticales ($40,21 \% \pm 22,55$) y

cebada ($24,30 \% \pm 22,15$) y una presencia marginal de otros cultivos como trigo y avena (*Avena* spp.), con una media conjunta del $0,88 \% \pm 2,21$ para ambos cereales, o de leguminosas ($4,23 \% \pm 9,31$), representadas únicamente por guisante (*Pisum* spp.) y veza (*Vicia* spp.), mientras que el barbecho estuvo presente en un $30,38 \% \pm 21,84$ de media. Por este motivo, el porcentaje de superficie cultivable se clasificó en tres categorías: superficie en barbecho (Barb), superficie cultivada de triticales (Trit) y superficie cultivada de otros cultivos (Otros), los cuales englobaron al resto de cereales y leguminosas.

Respecto a las variedades de triticales, a lo largo del estudio se cultivaron de forma indistinta las variedades ‘Bondadoso’, ‘Rumboso’ y ‘Valeroso’, con los códigos de identificación (UUID) NLI/AGR/ES/TRITL/226379, NLI/AGR/ES/TRITL/226758 y NLI/AGR/ES/TRITL/226916 del Catálogo Común Europeo de plantas agrícolas y especies vegetales (EUPVP, 2024).

Análisis estadístico

En un primer análisis se determinó la asociación entre el IKA estimado en cada conteo y el porcentaje de superficie agrícola total ocupado por cada una de las categorías de cultivo, estimado este porcentaje respecto al área circundante a cada transecto en un radio de 150 m. Para ello se ajustó un modelo mixto de regresión lineal en el que la variable dependiente fue el IKA y las variables predictoras los porcentajes de superficie total (suma de la superficie de las subáreas central y periférica) ocupada por triticales (T-Trit) y barbecho (T-Barb) durante la campaña actual (invierno-primavera previo a los conteos) y el porcentaje de superficie ocupada por otros cultivos en la campaña del año anterior (T-Otros⁻¹). Dado los mecanismos existentes en la dinámica poblacional de los conejos capaces de compensar la disminución en el éxito reproductivo, esta última variable se incluyó

para modelizar el posible efecto acumulativo de la campaña anterior sobre la abundancia de conejos registrada tras la campaña actual. Al tratarse de estimas de abundancia obtenidas de forma repetida en las mismas zonas se incluyeron éstas como factor aleatorio. También se consideró inicialmente la inclusión de los años como factor aleatorio ante posibles variaciones interanuales debidas a efectos no controlados como climatología o factores de mortalidad como enfermedades o caza.

En un segundo análisis, debido a que el número de conejos observados durante los recorridos en la subárea central pudo haber estado condicionado por su preferencia (positiva o negativa) hacia el tipo de cultivos existentes en la subárea periférica, y que la variación del IKA, por lo tanto, pudiese estar determinada por la preferencia de los conejos a desarrollar su actividad en un tipo u otro de cultivos más que por la variación en la propia abundancia de conejos, se procedió a ajustar un segundo modelo mixto de regresión lineal con las zonas como variable aleatoria, y como variables predictoras de efectos fijos, el porcentaje de superficie de la subárea central cultivada con triticales (C-Trit), en barbecho (C-Barb), cultivada con otros cultivos en la campaña anterior (C-Otros⁻¹) y el porcentaje de superficie cultivada con otros cultivos en la subárea periférica en la campaña actual (P-Otros).

Debido a que las variables predictoras fueron porcentajes, T-Otros y C-Otros fueron excluidas respectivamente de los dos modelos anteriores debido a su completa colinealidad con el resto de variables predictoras. Pese a ello, variables como T-Trit y T-Barb siguieron presentando correlaciones moderadas (Pearson $r = -0,61$) que podrían implicar la existencia de multicolinealidad y, por lo tanto, de inestabilidad en las estimaciones de los coeficientes de regresión. Para verificar que esto no fuese un problema en las estimaciones, se calculó los factores de inflación de la varian-

za (FIV) de todas las variables predictoras incluidas en cada modelo, obteniendo valores de FIV que oscilaron entre 1,17 y 2,62, muy por debajo del valor 10 considerado como valor umbral a partir del cual se puede sospechar de multicolinealidad (Zuur *et al.*, 2010). La ausencia de inestabilidad en las estimaciones también se comprobó verificando que los errores estándar asociados a cada coeficiente de regresión fueron reducidos en comparación al valor de éste.

Para expresar la variación explicada por los modelos mixtos de regresión, siguiendo a Nakagawa y Schielzeth (2013), se calcularon dos tipos de coeficiente de determinación R^2 para cada modelo: el coeficiente de determinación marginal ($R^2_{(m)}$) indicador de la variación explicada por los factores fijos del modelo, y el coeficiente de determinación condicional ($R^2_{(c)}$), indicador de la variación explicada conjuntamente por los factores fijos y aleatorios. La bondad de ajuste de cada modelo mixto se comparó, mediante el test de la razón de verosimilitud (test LR), con la bondad de ajuste de su correspondiente modelo nulo (sin variables predictoras) y con la del mismo modelo homólogo ajustado sin los efectos aleatorios. Para la comparación de modelos mixtos de regresión ajustados con diferentes efectos aleatorios se utilizó también el test LR junto con el cálculo del criterio de información de Akaike (AIC) (Akaike, 1981). Todos los cálculos estadísticos se realizaron con el programa Stata 18 (StataCorp, 2023).

Resultados

El valor medio del IKA de todos los conteos fue de 26,39 conejos/km (DS = 18,81), con un rango de 0-86,43 conejos/km. Los valores medios del IKA para cada una de las cuatro zonas estuvieron comprendidos entre los 9,88 conejos/km (DS = 3,29) de la Zona 4 hasta los 43,26 conejos/km (DS = 10,22) de la Zona 3,

valores que estuvieron directamente relacionados con el porcentaje medio de superficie de cultivo ocupada por la categoría Otros cultivos (Tabla 1).

El modelo de regresión ajustado al IKA utilizando como predictores los porcentajes de cultivos en el área total y los efectos aleatorios de la zona y el año (Modelo 1) mostró un efecto mínimo de estos últimos, con un test LR entre el modelo mixto y su homólogo sin efectos aleatorios lejos de la significación, y unos coeficientes de determinación R^2 marginal y condicional muy similares (0,62 y 0,63, respectivamente), indicando la escasa aportación de estos factores aleatorios a la explicación de la varianza del IKA (Tabla 2). Así

pues, se procedió al ajuste del mismo modelo excluyendo el factor aleatorio de los años y dejando, por convención, el efecto aleatorio de las zonas por tratarse de un diseño de medidas repetidas (Modelo 2). Este modelo no fue significativamente diferente del Modelo 1, presentando un AIC menor y un valor estimado similar de 0,63 para ambos R^2 , confirmando el bajo poder explicativo del factor aleatorio debido a la zona y el elevado poder explicativo de las variables predictoras relacionadas con los porcentajes de los diferentes cultivos. Como se puede apreciar en la Tabla 2, el IKA estuvo inversamente relacionado con el porcentaje de superficie en barbecho (T-Barb) o dedicada al cultivo de triticale (T-Trit) en la campaña agrícola actual, pero di-

Tabla 2. Coeficientes de regresión y su intervalo de confianza 95 % (95 % IC) de las variables predictoras incluidas en los modelos lineales de regresión ajustados al índice kilométrico de abundancia de conejos (IKA) en función del porcentaje de superficie ocupado por cada tipo de cultivo en el área total de cada zona.

Table 2. Regression coefficients and 95 % confidence interval (95 % CI) of predictor variables included in the lineal regression models fitted to rabbit abundance index (IKA). Predictor variables quantified the percentage of agricultural soil devoted to each crop in the total area of experimental zones.

	Modelo 1		Modelo 2	
	Efectos aleatorios: zona, año		Efectos aleatorios: zona	
	Test LR modelo nulo*: Wald $X^2 = 256,08$ $P < 0,001$		Test LR modelo nulo*: Wald $X^2 = 262,90$ $P < 0,001$	
	$R^2_{(m)} = 0,62$ $R^2_{(c)} = 0,63$		$R^2_{(m)} = 0,63$ $R^2_{(c)} = 0,63$	
	Coeficientes (95 % IC)	P	Coeficientes (95 % IC)	P
T-Trit	-0,45 (-0,56 - -0,34)	<0,001	-0,47 (-0,57 - -0,37)	<0,001
T-Barb	-0,57 (-0,70 - -0,45)	<0,001	-0,58 (-0,71 - -0,46)	<0,001
T-Otros ⁻¹	0,42 (0,32 - 0,53)	<0,001	0,42 (0,32 - 0,53)	<0,001
Intercepto	49,88 (40,64 - 59,12)	<0,001	50,56 (41,40 - 59,73)	<0,001
	Test LR efectos aleatorios: $X^2 = 0,14$ $P = 1$		Test LR efectos aleatorios: $X^2 = 0$ $P = 1$	
AIC	1216,66		1208,81	
	Test LR Modelo 1 vs. Modelo 2: $X^2 = 0,14$ $P = 0,997$			

* Modelo en el que se asume un efecto nulo de las variables predictoras. LR: Test de razón de verosimilitud (likelihood ratio test). AIC: Criterio de información de Akaike (Akaike, 1981).

rectamente relacionado con la superficie dedicada a otros cultivos en la campaña del año anterior ($T\text{-Otros}^{-1}$). La magnitud absoluta de los coeficientes de regresión fue relativamente similar para las tres variables, sugiriendo una fuerza de asociación con el IKA similar. Reajustando el Modelo 2, dejando como variable base $T\text{-Barb}$ e introduciendo en su lugar $T\text{-Otros}$ entre las variables predictoras, el coeficiente de regresión obtenido para $T\text{-Trit}$ fue de 0,11 (95 % IC: 0,02-0,21; $P = 0,020$) indicando que la magnitud de la relación inversa del triticales con la abundancia de conejos fue significativamente menor que la del barbecho.

La relación inversa de las variables $T\text{-Trit}$ y $T\text{-Barb}$ con el IKA se ha representado gráficamente en la Figura 2. En el caso del triticales se pueden observar valores bajos del IKA asociados a valores bajos de $T\text{-Trit}$, lo que se debió a situaciones en que un bajo porcentaje de cultivo de triticales coincidió en una misma campaña con un elevado porcentaje de superficie de cultivo en barbecho. De forma similar, en el gráfico correspondiente al barbecho, también se observan valores bajos del IKA asociados a valores bajos de $T\text{-Barb}$ que coincidieron con elevados porcentajes de cultivo de triticales en la misma campaña. Sumando los porcentajes de superficie dedicada al cultivo de triticales y en barbecho la relación inversa de ambas variables combinadas con el IKA resulta más evidente.

Para valorar si estos resultados pudieron haber estado influenciados por la preferencia de los conejos hacia un tipo u otro de cultivo más que por un cambio en su abundancia, se procedió a ajustar el Modelo 3 (Tabla 3), utilizando como variables predictoras los porcentajes de cada uno de los tipos de cultivo en la subárea central de cada zona. Este modelo confirmó las mismas asociaciones entre el IKA y el porcentaje de cada uno de los cultivos que las ya evidenciadas por el Modelo 2, incluido el reducido efecto del factor ale-

atorio debido a las zonas. Posteriormente se volvió a ajustar el Modelo 3 añadiendo como variable predictora el porcentaje de superficie de cultivo dedicada a otros cultivos en la subárea periférica de cada zona ($P\text{-Otros}$) (Modelo 4). Como se puede observar en la Tabla 3, el coeficiente de regresión estimado para esta variable fue de signo positivo y no significativamente diferente de cero. La inclusión de esta variable no incrementó la capacidad explicativa del Modelo 4, el cual tampoco fue estadísticamente diferente del Modelo 3, presentando, además, un valor AIC superior. Este resultado sugiere que las variaciones observadas del IKA no estuvieron asociadas a la distribución de los diferentes tipos de cultivos entre las subáreas central y periférica de cada zona.

Discusión

Los resultados obtenidos estuvieron de acuerdo con la hipótesis planteada en el presente estudio, sugiriendo que el cultivo de triticales podría constituir una nueva herramienta para el control de las poblaciones de conejos en determinados agrosistemas. No obstante, la funcionalidad de esta herramienta estaría condicionada a si los cambios detectados en el índice de abundancia de conejos se correspondieron realmente con variaciones en la densidad poblacional o, simplemente, con variaciones de su comportamiento motivadas por la selección de recursos tróficos alternativos, si bien en este último caso los resultados seguirían siendo indicativos de una selección negativa de los conejos hacia las áreas cultivadas de triticales incluso después de haber sido ya cosechado.

El número de conejos observados a lo largo de un transecto puede variar debido a cambios de su actividad sujetos al ritmo circadiano o estacional, evitación de riesgos de predación, comportamiento reproductivo o por

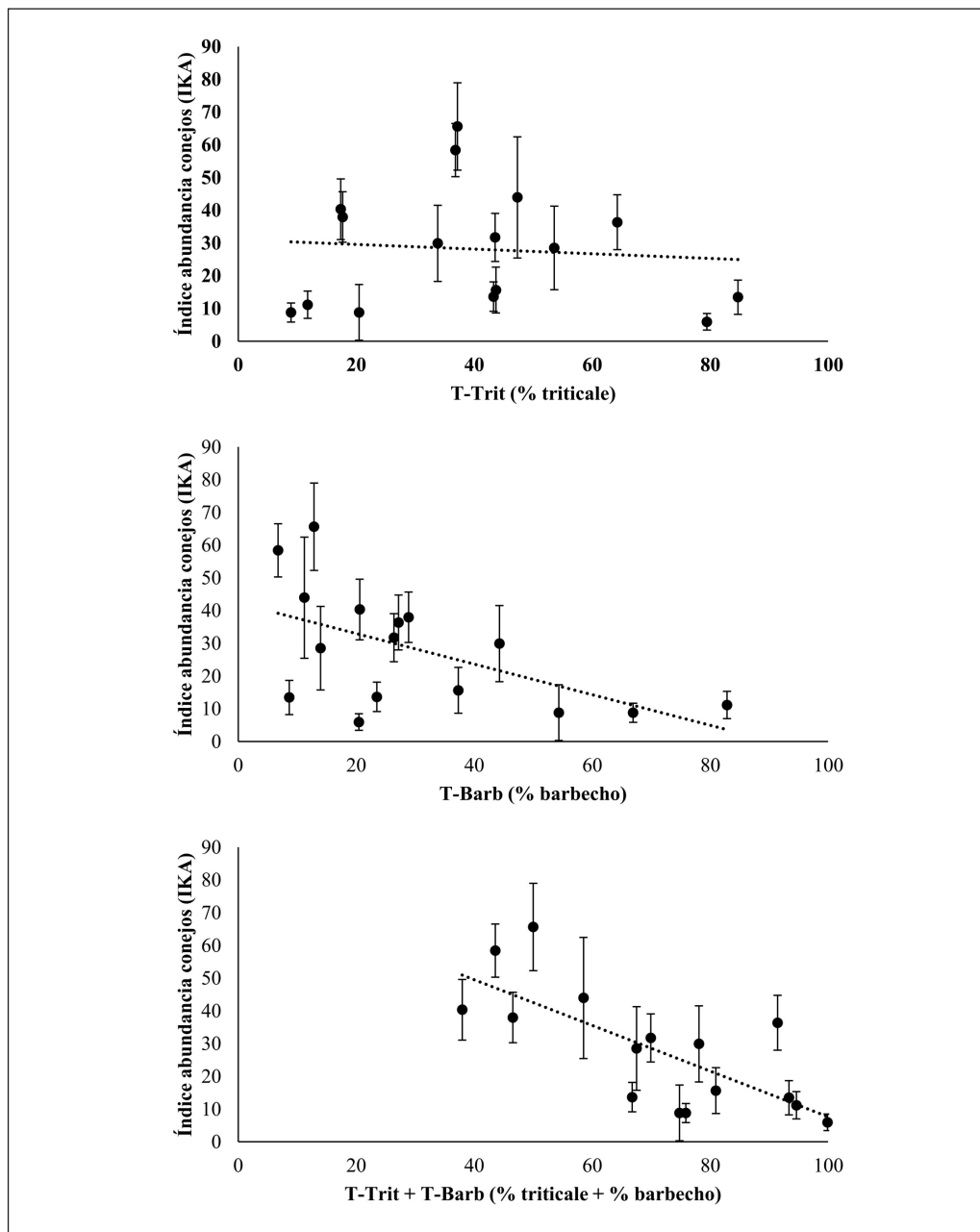


Figura 2. Medias $\pm$ DS del índice de abundancia de conejos (IKA) estimadas para cada zona y año en función del porcentaje de la superficie de cultivo total ocupada por triticales, barbecho o la suma de ambos. IKA, número de conejos avistados por kilómetro.

Figure 2. Mean $\pm$ SD of the rabbit abundance index (IKA) estimated from each experimental zone and year plotted against the percentage of total agricultural area occupied by triticales, yearly resting or triticales plus yearly resting. IKA, number of rabbits sighted per kilometre.

Tabla 3. Coeficientes de regresión y su intervalo de confianza 95 % (95 % IC) de las variables predictoras incluidas en los modelos lineales de regresión ajustados al índice kilométrico de abundancia de conejos (IKA) en función del porcentaje de superficie ocupado por cada tipo de cultivo en las subáreas central y periférica de cada zona.

Table 3. Regression coefficients and 95 % confidence interval (95 % CI) of predictor variables included in the lineal regression models fitted to rabbit abundance index (IKA). Predictor variables quantified the percentage of agricultural soil devoted to each crop in the central and peripheral subareas of experimental zones.

	Modelo 3		Modelo 4	
	Efectos aleatorios: zona		Efectos aleatorios: zona	
	Test LR modelo nulo*: Wald $X^2 = 254,32$ $P < 0,001$		Test LR modelo nulo*: Wald $X^2 = 255,26$ $P < 0,001$	
	$R^2_{(m)} = 0,61$ $R^2_{(c)} = 0,68$		$R^2_{(m)} = 0,61$ $R^2_{(c)} = 0,68$	
	Coeficientes (95 % IC)	P	Coeficientes (95 % IC)	P
C-Trit	-0,27 (-0,33 - -0,21)	<0,001	-0,27 (-0,33 - -0,21)	<0,001
C-Barb	-0,35 (-0,45 - -0,25)	<0,001	-0,35 (-0,45 - -0,25)	<0,001
C-Otros ⁻¹	0,19 (0,13 - 0,26)	<0,001	0,19 (0,12 - 0,26)	<0,001
P-Otros			0,02 (-0,09 - 0,12)	0,769
Intercepto	38,92 (31,85 - 45,98)	<0,001	38,48 (30,76 - 46,21)	<0,001
	Test LR efectos aleatorios: $X^2 = 2,32$ $P = 0,677$		Test LR efectos aleatorios: $X^2 = 2,04$ $P = 0,729$	
AIC	1186,51		1188,42	
	Test LR Modelo 3 vs. Modelo 4: $X^2 = 0,08$ $P = 0,771$			

* Modelo en el que se asume un efecto nulo de las variables predictoras. LR: Test de razón de verosimilitud (likelihood ratio test). AIC: Criterio de información de Akaike (Akaike, 1981).

condiciones climatológicas adversas entre otras causas (Villafuerte *et al.*, 1993; Díez *et al.*, 2013). Por estos motivos, y en orden de minimizar estas fuentes de variación, todos los conteos se realizaron en la misma época del año, en ausencia de actividad reproductora y en condiciones climatológicas favorables. Además, con el fin de reducir la variabilidad entre zonas y la posible perturbación de actividades humanas realizadas el día anterior, los conteos en las cuatro zonas se realizaron en la misma jornada antes del amanecer.

La actividad de los conejos también puede variar por cambios de sus preferencias hacia determinados recursos tróficos (Rouco *et al.*, 2019). Debido a que en el presente estudio los transectos se ubicaron en el fondo de las vales, el número de ejemplares avistados podría haber disminuido debido a la presencia de cultivos más atractivos para los conejos en las subáreas periféricas de las zonas o viceversa. No obstante, el hecho de que no se encontrase ninguna asociación entre la variación del IKA y la distribución de cultivos en

las subáreas central y periférica sugiere que el IKA estuvo condicionado principalmente por la abundancia real de conejos, y no por las preferencias de éstos a desarrollar su actividad en un tipo de cultivo u otro, por lo que los resultados se deberían interpretar bajo esta perspectiva.

Por otro lado, la variación del IKA estuvo escasamente condicionada por diferencias entre años o zonas, a pesar de que posibles diferencias en el aprovechamiento cinegético, en la mortalidad causada por enfermedades como mixomatosis y enfermedad hemorrágica (EHC), o diferencias en las condiciones climáticas que condicionan el ciclo y la productividad vegetal, podrían haber sido factores de variación interanual y entre zonas. Esta aparente independencia del IKA respecto de ambos factores pudo deberse a que, aunque no fue posible conocer el esfuerzo cinegético aplicado específicamente en el área de estudio, las cuatro zonas experimentales estuvieron incluidas en un único coto de caza municipal con directrices de gestión uniformes, lo que habría propiciado un aprovechamiento cinegético relativamente homogéneo entre años y zonas. De forma similar, en poblaciones de alta densidad como la del presente estudio, la incidencia de las enfermedades víricas es relativamente estable, originando tasas de mortalidad reducidas (Calvete *et al.*, 2022), no detectándose, en consonancia, ningún proceso de mortalidad anormal durante los cuatro años de seguimiento. Por otro lado, aun bajo condiciones climáticas desfavorables para la productividad vegetal, los conejos pueden aprovechar los cereales de invierno como alimento de calidad para su reproducción desde la misma nascencia y primeras fases de desarrollo del cereal, lo que facilita el éxito reproductivo de la especie durante, al menos, las primeras fases del período reproductivo. Dado que la disminución del éxito reproductivo puede ser compensada con el aumento de las tasas de supervivencia del total de la población (Twigg *et al.*,

2000) y que el IKA fue estimado cada año durante el período post-reproductor, la variación interanual del IKA debida a condiciones climáticas desfavorables podría haber sido también minimizada.

Por el contrario, los modelos estadísticos evidenciaron una marcada asociación entre el IKA y la predominancia de las diferentes categorías de cultivos, así como con la práctica agrícola del barbecho, tal y como sugieren los elevados valores de los coeficientes de determinación. La asociación positiva del IKA con la categoría Otros cultivos durante la campaña anterior sugirió que las elevadas densidades de conejos que se suelen señalar en este tipo de agrosistemas estarían originadas por el efecto positivo y acumulativo de estos cultivos sobre el éxito reproductor de la especie campaña tras campaña, confirmando la importancia que puede tener la oferta de recursos tróficos asociados a los cultivos en la existencia y mantenimiento de estas poblaciones.

Dentro de la categoría de Otros cultivos, la cebada fue el mayoritario con diferencia, por lo que los resultados estarían de acuerdo con estudios anteriores en los que ya se ha apuntado la elevada preferencia de los conejos hacia este cereal, el cual puede constituir un recurso trófico primordial durante su reproducción (Homolka, 1988; Chapuis y Gaudin, 1995). Respecto al resto de cultivos incluidos de forma minoritaria en esta categoría, el trigo ha sido también señalado por los mismos autores como un recurso trófico con gran preferencia para los conejos, mientras que otros trabajos han descrito la preferencia de los conejos hacia leguminosas silvestres debido a su elevado contenido en proteína (Rogers *et al.*, 1994), por lo que cabría esperar una asociación similar con las leguminosas cultivadas.

El resultado de mayor interés, no obstante, fue la asociación negativa entre el IKA y el porcentaje de superficie de cultivo en barbecho o sembrada con triticale. La asociación negativa de la práctica del barbecho con el

IKA estaría de acuerdo con los resultados obtenidos en estudios anteriores realizados en agrosistemas similares (Calvete *et al.*, 2004), según los cuales la capacidad de la vegetación natural que brota espontáneamente en las parcelas en barbecho para cubrir las necesidades nutricionales de los conejos durante la reproducción sería inferior a la de los cultivos (especialmente aquellos como la cebada), implicando un menor éxito reproductivo y probablemente una mayor tasa de mortalidad por predación debido al aumento de la actividad necesaria para la búsqueda de alimento (Gibb y Morgan Williams, 1994; Moreno *et al.*, 1996).

Adicionalmente, la disminución de la cobertura vegetal en las parcelas en barbecho podría considerarse otro factor implicado en el incremento de la mortalidad por predación. No obstante, en hábitats conformados por un mosaico de áreas de refugio y áreas abiertas con menor cobertura vegetal (parcelas de cultivo), los conejos optimizan su estrategia de evitación de la predación minimizando su actividad diurna en estas últimas, con el fin de reducir el riesgo de predación por aves rapaces y maximizando su uso durante la noche, tanto para alimentarse como para disminuir el riesgo de predación por carnívoros terrestres, cuya estrategia de caza basada en el acecho se ve favorecida en las áreas de refugio y sus inmediaciones (Moreno *et al.*, 1996). Por ello, teniendo en cuenta que la siembra de una parcela también conlleva una reducción notable de la cobertura durante las primeras fases de crecimiento del cereal y que en los estadios finales de desarrollo del mismo (si el desarrollo ha sido normal) la propia cobertura proporcionada por el cultivo puede implicar la extensión de refugio que facilite la predación por predadores terrestres, es difícil dilucidar si la disminución de cobertura vegetal del barbecho, por sí misma, podría contribuir a un aumento neto de la predación en comparación a una parcela sembrada.

Respecto al triticales, aunque la magnitud de su asociación negativa con el IKA fue inferior a la del barbecho, claramente fue de signo opuesto a lo observado para otros cultivos, lo que demostraría la existencia de una relación de naturaleza muy diferente entre el triticales y la abundancia de conejos, en consonancia con la percepción que se tiene sobre este cereal. En el área de estudio los daños producidos por los conejos han sido uno de los principales problemas de rentabilidad para los agricultores desde hace más de una década. Según el Anuario de Estadística del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación de España (MAPA, 2024), del total de superficie dedicada al cultivo de cereales en España en el año 2021 (último con datos disponibles), sólo el 4,43 % se dedicó al cultivo del triticales, similar al reducido porcentaje asignado a este cereal (7,0 %) en el total de superficie dedicada al cultivo de cereales en secano en la provincia de Zaragoza para el mismo año. Ambos porcentajes, sin embargo, fueron muy inferiores al porcentaje medio de superficie cultivada de triticales en las cuatro zonas de estudio durante el mismo año (40,20 %), o al porcentaje medio a lo largo de los cuatro años de estudio (40,21 %; rango 27,57-54,44 %). Esta predominancia del triticales fue consecuencia de las observaciones realizadas por los agricultores a lo largo del tiempo, al ir constatando que los rendimientos de las cosechas en zonas de abundancia de conejos eran superiores cuando se sembraba triticales en vez de otros cultivos como trigo o cebada. Estas observaciones estarían también en consonancia con los resultados obtenidos por Frontera *et al.* (2013) en un ensayo sobre la idoneidad de diferentes cultivos para especies cinegéticas, quienes observaron que el uso alimentario que hacían los conejos del triticales fue tan solo del 3 %, frente al 47 % registrado para el trigo o el 28 % para la cebada, de tal manera que la producción de biomasa de cultivo estimada siempre fue superior dentro de las jaulas de exclusión

anti-conejos instaladas en los cultivos de cereal que fuera, con excepción del triticale.

Los resultados obtenidos en el presente estudio apoyarían, por lo tanto, la hipótesis de que el cultivo de triticale podría ser una herramienta de interés para reducir el impacto de los daños producidos por los conejos en agrosistemas de estas características, posibilitando cierto grado de producción cerealística en presencia de esta especie y reduciendo simultáneamente sus densidades poblacionales con una estrategia de control totalmente diferente a los principales métodos aplicados hasta ahora, basados en la extracción de ejemplares mediante caza y trampeo, por lo que la siembra de triticale podría potenciar la eficacia de los métodos de control convencionales en períodos puntuales, ayudando a reducir la intensidad del esfuerzo cinegético necesario para controlar las poblaciones de conejo y contribuyendo a disminuir la conflictividad entre los sectores agrícola y cinegético.

Otra ventaja adicional sería que la implementación de esta herramienta dependería directamente del sector agrícola, el principal afectado, lo que debería posibilitar el desarrollo de estrategias exclusivamente agronómicas dirigidas al control sostenido de las poblaciones de conejos; estrategias basadas en la combinación de prácticas como el barbecho, la siembra de triticale y la sincronización de parcelas agrícolas contiguas para llevar a cabo la siembra de los cultivos apetecibles al conejo y del posterior barbecho, ya que esta práctica disminuye la idoneidad del hábitat para el conejo en este tipo de agrosistemas (Calvete *et al.*, 2004). Por otro lado, los resultados obtenidos serían también de interés en el ámbito de la conservación, ya que la implementación de estas estrategias agronómicas contribuiría a reducir la presión de control con métodos extractivos, algunos de ellos no autorizados por su afección a la biodiversidad pero ocasionalmente practicados de forma ilegal (Delibes-Mateos *et al.*, 2014).

En otra vertiente de la conservación, desde hace varias décadas se vienen realizando grandes esfuerzos de gestión para conservar y recuperar poblaciones de conejo en otras áreas de la península ibérica, siendo la mejora del hábitat una de las estrategias de conservación más importantes y más frecuentemente implementadas mediante la implantación de diferentes tipos de cultivos de gramíneas, principalmente cereales (Cabezas y Moreno 2007; Ferreira *et al.*, 2014). Dado que en nuestro país el cultivo del triticale está también aumentando durante los últimos años de forma continuada para la producción de grano (MAPA 2024), pero también para ser utilizado como forraje para rumiantes domésticos gracias a su capacidad de rebrote tras la herbivoría, es factible pensar que en algún momento se pueda considerar un cereal candidato para ser utilizado también en los programas de recuperación del conejo, precisamente por esta cualidad. Sin embargo, los resultados obtenidos indicarían claramente la contraindicación de sustituir por triticale otros cereales que tradicionalmente se han mostrado más adecuados para los conejos.

Pese a estas aparentes ventajas, existen ciertas incertidumbres respecto a los factores que podrían condicionar la eficacia de utilizar el cultivo del triticale (en combinación o no con otras medidas agronómicas), para el control de las poblaciones de conejo silvestre. En primer lugar, se desconocen las causas reales subyacentes a la asociación negativa de estas prácticas agrícolas con la abundancia de conejos. En el caso del triticale, las evidencias existentes sugieren que se debe a una menor aceptación de este cereal como alimento, si bien se desconocen los mecanismos implicados (palatabilidad, toxicidad, composición nutricional, etc.). En este sentido, el uso de triticale en alimentación ganadera está en aumento a nivel mundial debido a sus notables cualidades nutricionales, en especial en el sector avícola (Gaviley *et al.*, 2024). Sin embargo, la presencia de factores antinutricio-

nales en su composición (p. ej. arabinosilanos entre otros) hace que su administración en especies monogástricas requiera de un adecuado racionamiento e incluso de la adición de factores enzimáticos que favorezcan su digestibilidad, de tal manera que en conejos domésticos se ha observado una reducción de la ingesta cuando la fracción de heno de triticale aumenta en la dieta (Salama *et al.*, 2021), así como alteraciones histológicas en la morfología intestinal asociadas a un detrimento de la capacidad de digestión y absorción de nutrientes cuando se les administran dietas basadas en triticale sin adición de la enzima xilanasa (Galeano Díaz *et al.*, 2024). Ello sugiere que la presencia de estos factores antinutricionales podría ser la causa más probable de la reticencia de los conejos silvestres para recurrir al triticale como recurso trófico, no obstante, se desconoce si esta cualidad podría verse disminuida debido a variaciones en la concentración de factores antinutricionales entre diferentes variedades de triticale o dentro de una misma variedad si es cultivada en diferentes suelos o condiciones agronómicas (Gaviley *et al.*, 2024).

Otro condicionante a tener en cuenta es que la preferencia de los conejos a alimentarse de los cultivos depende en gran medida de las características intrínsecas de la vegetación natural como recurso trófico, pero también de cómo se gestiona esta y de su afección por las actividades antrópicas (Barrio *et al.*, 2013), por lo que los resultados de las medidas agronómicas propuestas pueden variar en función de las características de los agrosistemas; todo ello sin olvidar el aspecto económico, ya que la rentabilidad del triticale en España, que suele ser inferior a la de otros cereales como trigo o cebada y, al igual que éstos, está supeditada al precio del cereal importado (Royo *et al.*, 2004), puede limitar la aceptación y utilidad de estas herramientas. Parece evidente, por tanto, la necesidad de nuevos

ensayos que confirmen los resultados obtenidos en el presente estudio y que ayuden a despejar las incógnitas planteadas para poder aplicar esta estrategia de control con mayores garantías.

Conclusión

Los resultados del estudio sugieren que en agrosistemas cerealísticos en los que la vegetación natural parece ser insuficiente para que los conejos exhiban plenamente su potencial reproductivo, bien porque la superficie ocupada por vegetación natural es minoritaria en comparación a los terrenos cultivados y/o porque la productividad de la propia vegetación es escasa (zonas semiáridas), la abundancia de conejos depende en gran medida del recurso trófico que representan los cultivos. Ello implica que en situaciones de daños a la agricultura como consecuencia de la abundancia de conejos, la reducción de los recursos tróficos disponibles mediante la implantación de estrategias agronómicas basadas en el cultivo de triticale –y también con el barbecho allí donde se realice esta práctica– podría ser una herramienta eficaz para ayudar a controlar las poblaciones de conejo en grandes áreas, al ser una herramienta susceptible de ser aplicada de forma extensiva por los propios agricultores. También podría implementarse como complemento a otros métodos de control directo, de aplicación más local, y que requieren el concurso de otros sectores como el cinegético. La combinación de ambas estrategias debería derivar en un control más rápido, extenso y eficaz de estas poblaciones, si bien todavía son necesarios más trabajos para dilucidar los mecanismos implicados, confirmar la eficacia de esta estrategia en diferentes agrosistemas y refinar su estrategia de implementación.

Declaración de autoría

- Carlos Calvete: conceptualización, adquisición de fondos, investigación, análisis formal, redacción del borrador original y revisión, y edición final del mismo.
- Rosa Estrada: investigación, redacción del borrador original y revisión, y edición final del mismo.

Agradecimientos

El presente estudio ha sido financiado con fondos del Programa de Desarrollo Rural para Aragón 2014-2020, Gobierno de Aragón y fondos FEADER, dentro de las subvenciones de cooperación de agentes del sector agrario, proyecto GEST-CONejo (GCP2021002200). Agradecimientos especiales por su colaboración para D. Gregorio y L. Izquierdo, técnicos de la Sociedad Cooperativa Agraria San Licer (Zuera), así como para los revisores anónimos cuyos comentarios y aportaciones mejoraron sustancialmente el manuscrito.

Referencias bibliográficas

- Akaike H. (1981). Likelihood of a model and information criteria. *Journal of Econometrics* 16: 3-14. [https://doi.org/10.1016/0304-4076\(81\)90071-3](https://doi.org/10.1016/0304-4076(81)90071-3)
- Barrio I.C., Villafuerte R., Tortosa F.S. (2011). Can cover crops reduce rabbit-induced damages in vineyards in southern Spain? *Wildlife Biology* 18: 88-96. <https://doi.org/10.2981/10-110>
- Barrio I.C., Bueno C.G., Villafuerte R., Tortosa F.S. (2013). Rabbits, weeds and crops: Can agricultural intensification promote wildlife conflicts in semiarid agro-ecosystems? *Journal of Arid Environments* 90: 1-4. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2012.10.016>
- Cabezas S., Moreno S. (2007). An experimental study of translocation success and habitat improvement in wild rabbits. *Animal Conservation* 10: 340-348. <https://doi.org/10.1111/j.1469-1795.2007.00119.x>
- Cabezas-Díaz S., Lozano J., Virgós E. (2009). The declines of the wild rabbit (*Oryctolagus cuniculus*) and the Iberian lynx (*Lynx pardinus*) in Spain: Redirecting conservation efforts. En: *Handbook of Nature Conservation* (Ed. Aronoff J.B.), pp. 283-310. Nova Science Publishers, Inc. New York, EE. UU.
- Cabezas-Díaz S., Virgós E. (2022). Latrine counts to estimate wild rabbit (*Oryctolagus cuniculus*) density as a tool for biodiversity conservation and management. *Ecological Indicators* 145: 109684. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109684>
- Calvete C., Estrada R., Villafuerte R., Osácar J.J., Lucientes J. (2002). Epidemiology of viral haemorrhagic disease and myxomatosis in a free-living population of wild rabbits. *Veterinary Record* 150: 776-782. <https://doi.org/10.1136/vr.150.25.776>
- Calvete C., Estrada R., Angulo E., Cabezas-Ruiz S. (2004). Habitat factors related to wild rabbit conservation in an agricultural landscape. *Landscape Ecology* 19: 531-542. <https://doi.org/10.1023/B:LAND.0000036139.04466.06>
- Calvete C., Capucci L., Lavazza A., Sarto M.P., Calvo A.J., Monroy F., Calvo J.H. (2022). Changes in European wild rabbit population dynamics and the epidemiology of rabbit haemorrhagic disease in response to artificially increased viral transmission. *Transboundary and Emerging Diseases* 69: 2682-2696. <https://doi.org/10.1111/tbed.14421>
- Chapuis J.L., Gaudin J.C. (1995). Utilisation des ressources trophiques par le lapin de garenne (*Oryctolagus cuniculus*) en garrigue sèche aménagée. *Gibier Faune Sauvage* 12: 213-230.
- Daniels M.J., Lees J.D., Hutchings M.R., Greig A. (2003). The ranging behaviour and habitat use of rabbits on farmland and their potential role in the epidemiology of paratuberculosis. *The Veterinary Journal* 165: 248-257. [https://doi.org/10.1016/S1090-0233\(02\)00238-1](https://doi.org/10.1016/S1090-0233(02)00238-1)

- Delibes-Mateos M., Delibes M., Ferreras P., Villafuerte R. (2008). Key role of European rabbits in the conservation of the western Mediterranean basin hotspot. *Conservation Biology* 22: 1106-1117. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2008.00993.x>
- Delibes-Mateos M., Ferreira C., Rouco C., Villafuerte R., Catalán Barrio I. (2014). Conservationists, hunters and farmers: the European rabbit *Oryctolagus cuniculus* management conflict in the Iberian Peninsula. *Mammal Review* 44: 190-203. <https://doi.org/10.1111/mam.12022>
- Delibes-Mateos M., Farfán M.A., Rouco C., Olivero J., Márquez A.L., Fa J.E., Vargas J.M., Villafuerte R. (2018). A large-scale assessment of European rabbit damage to agriculture in Spain. *Pest Management Science* 74: 111-119. <https://doi.org/10.1002/ps.4658>
- Devillard S., Aubineau J., Berger F., Bergerb F., Leonard Y., Roobrouckb A., Marchandean S. (2008). Home range of the European rabbit (*Oryctolagus cuniculus*) in three contrasting French populations. *Mammalian Biology* 73: 128-137. <https://doi.org/10.1016/j.mambio.2007.01.003>
- Díez C., Sánchez-García C., Pérez J.A., Bartolomé D.J., González V., Wheatley C.J., Alonso M.E., Gaudioso V.R. (2013). Behavioural activity of wild rabbits (*Oryctolagus cuniculus*) under semi-natural rearing systems: Establishing a seasonal pattern. *World Rabbit Science* 21: 263-270. <https://doi.org/10.4995/wrs.2013.1332>
- EUPVP (2024). Common Catalogue Information System. Disponible en: <https://ec.europa.eu/food/plant-variety-portal/> (Consultado: 11/10/2024)
- Ferreira C., Touza J., Rouco C., Díaz-Ruiz F., Fernández-de-Simón J., Ríos-Saldaña C.A., Ferreras P., Villafuerte R., Delibes-Mateos M. (2014). Habitat management as a generalized tool to boost European rabbit *Oryctolagus cuniculus* populations in the Iberian Peninsula: a cost-effectiveness analysis. *Mammal Review* 44: 30-43. <http://doi.org/10.1111/mam.12006>
- Frontera J., Seguí B., Gulías J., Cifre J. (2013). Ensayo de cultivos herbáceos con fines cinegéticos en la Marina de Lluçmajor (Mallorca). En: Los pastos: nuevos retos, nuevas oportunidades. (Ed. Olea L., Poblaciones M.J., Rodrigo S.M., Santamaría O.), pp. 433-440. Sociedad Española para el Estudio de los Pastos (SEEP).
- Galeano Díaz J.P., Sánchez Torres J.E., Garrido Farriña G.I., Domínguez Vara I.A., Morales Almaraz E. (2024). Histological and histochemical evaluation of the small intestine and caecal appendix of rabbits fed triticale-based diets with added xylanase. *World Rabbit Science* 32: 259-267. <https://doi.org/10.4995/wrs.2024.20929>
- Gaviley O.V., Katerynych O.O., Ionov I.A., Dekhtiarova O.O., Griffin D.K., Romanov M.N. (2024). Triticale: a general overview of its use in poultry production. *Encyclopedia* 4: 395-414. <https://doi.org/10.3390/encyclopedia4010027>
- Gibb A., Morgan Williams J. (1994). The rabbit in New Zealand. En: The European rabbit. The history and biology of a successful colonizer (Ed. Thompson H.V., King C.M.), pp. 158-204. Oxford University Press. New York, EE. UU. <https://doi.org/10.1093/oso/9780198576112.003.0006>
- Guerrero J. (1998). Respuestas de la vegetación y de la morfología de las plantas a la erosión del suelo. Valle del Ebro y Prepirineo aragonés. Publicaciones del Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón. Ed. Consejo de Protección de la Naturaleza en Aragón, Zaragoza. 257 pp.
- Homolka M. (1988). Diet of the wild rabbit (*Oryctolagus cuniculus*) in an agrocoenosis. *Folia Zoologica* 37: 121-128.
- Llobat L., Marín-García P.J. (2022). Application of protein nutrition in natural ecosystem management for European rabbit (*Oryctolagus cuniculus*) conservation. *Biodiversity and Conservation* 31: 1435-1444. <https://doi.org/10.1007/s10531-022-02426-5>
- MAPA (2024). Anuario de Estadística. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Disponible en: <https://www.mapa.gob.es/es/estadistica/temas/estadistica-digital/powerbi-cultivos.aspx> (Consultado: 1/09/2024)
- Marín-García P.J., Llobat L. (2021). What are the keys to the adaptative success of European wild rabbit (*Oryctolagus cuniculus*) in the Iberian Peninsula? *Animal* 11: 2453. <https://doi.org/10.3390/ani11082453>

- Moreno S., Villafuerte R., Delibes M. (1996). Cover is safe during the day but dangerous at night: the use of vegetation by European wild rabbit. *Canadian Journal of Zoology* 74: 1656-1660. <https://doi.org/10.1139/z96-183>
- Moseby K.E., De Jong S., Munro N., Pieck A. (2005). Home range, activity and habitat use of European rabbits (*Oryctolagus cuniculus*) in arid Australia: implications for control. *Wildlife Research* 32: 305-311. <https://doi.org/10.1071/WR04013>
- Myers K., Parer I., Wood D., Cooke B.D. (1994). The rabbit in Australia. En: *The European rabbit. The history and biology of a successful colonizer* (Ed. Thompson H.V., King C.M.), pp. 108-157. Oxford University Press. New York, EE. UU. <https://doi.org/10.1093/oso/9780198576112.003.0005>
- Nakagawa S., Schielzeth H. (2013). A general and simple method for obtaining R^2 from generalized linear mixed-effects models. *Methods in Ecology and Evolution* 4: 133-142. <https://doi.org/10.1111/j.2041-210x.2012.00261.x>
- QGIS Development Team (2020). QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation. Disponible en: <https://qgis.org> (Consultado: 26/05/2022)
- Rogers P.M., Arthur C.P., Soriguer R.C. (1994) The rabbit in continental Europe. En: *The European rabbit. The history and biology of a successful colonizer* (Ed. Thompson H.V., King C.M.), pp. 22-63. Oxford University Press. Oxford, UK. <https://doi.org/10.1093/oso/9780198576112.003.0003>
- Rouco C., Barrio I.C., Cirilli F., Tortosa F.S., Villafuerte R. (2019). Supplementary food reduces home ranges of European wild rabbits in an intensive agricultural landscape. *Mammalian Biology* 95: 35-40. <https://doi.org/10.1016/j.mambio.2019.01.006>
- Royo C., Villegas D., García del Moral L.F. (2004). Trítale in Spain. En: *Triticale improvement and production* (Ed. Mergoum M., Gómez-MacPherson H.), pp. 139-148. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Roma.
- Salama H.S., Safwat A.M., Elghalid O.H., Abd El-Hady A.M. (2021). Agronomic and in vitro quality evaluation of dual-purpose cereals clipped at variable ages and their utilization in rabbit feeding. *Agronomy* 11: 1147. <https://doi.org/10.3390/agronomy11061147>
- SIGPAC (2024). Sistema de Información Geográfica de Parcelas Agrícolas. Disponible en: <https://www.fega.gob.es/es/pepac-2023-2027/sistemas-gestion-y-control/sigpac> (Consultado: 30/09/2024)
- StataCorp. (2023). *Stata Statistical Software: Release 18*. College Station, TX: StataCorp LLC.
- Twigg L.E., Lowe T.J., Martin G.R., Wheeler A.G., Gray G.S., Griffin S.L., O'Reilly C.M., Robinson D.J., Hubach P.H. (2000). Effects of surgically imposed sterility on free-ranging rabbit populations. *Journal of Applied Ecology* 73: 16-39. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2664.2000.00471.x>
- Villafuerte R., Kufner M.B., Delibes M., Moreno S. (1993). Environmental factors influencing the seasonal daily activity of the European rabbit (*Oryctolagus cuniculus*) in a Mediterranean area. *Mammalia* 57: 341-347. <https://doi.org/10.1515/mamm.1993.57.3.341>
- Villafuerte R., Lazo A., Moreno S. (1997). Influence of food abundance and quality on rabbit fluctuations: conservation and management implications in Doñana National Park (SW Spain). *Revue d'Ecologie (La Terre et la Vie)* 52: 345-356. <https://doi.org/10.3406/rev.1997.2237>
- Villafuerte R., Delibes-Mateos M. (2019). *Oryctolagus cuniculus*. The IUCN Red List of Threatened Species 2019: e.T41291A45189779. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2019-3.RLTS.T41291A45189779.en>
- Virgós E., Cabezas-Díaz S., Malo A., Lozano J., López-Huertas D. (2003). Factors shaping European rabbit abundance in continuous and fragmented populations of central Spain. *Acta Theriologica* 48: 113-122. <https://doi.org/10.1007/BF03194271>
- Zuur A.F., Ieno E.N., Elphick C.S. (2010). A protocol for data exploration to avoid common statistical problems. *Methods in Ecology and Evolution* 1: 3-14. <https://doi.org/10.1111/j.2041-210X.2009.00001.x>

(Aceptado para publicación el 12 de febrero de 2025)

Evaluación de los retos y atributos que determinan la resiliencia de las ganaderías de la raza Latxa elaboradoras de queso

Joseba Lizarralde^{1,*}, Barbara Soriano², Alicia Prat-Benhamou^{3,4}, Roberto Ruiz¹, Daniel Martín-Collado^{3,4} y Nerea Mandaluniz¹

¹ NEIKER-Instituto Vasco de Investigación y Desarrollo Agrario, Basque Research and Technology Alliance (BRTA). Campus Agroalimentario de Arkaute, 01192 Arkaute, Álava, España.

² Universidad Politécnica de Madrid – CEIGRAM. C/ Senda del rey 13, 28040 Madrid, España.

³ Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentarias de Aragón (CITA). Avda/ Montañana 930, 50059 Zaragoza, España.

⁴ Instituto Agroalimentario de Aragón-IA2 (CITA-Universidad de Zaragoza). C. Miguel Servet, 177, 50013, Zaragoza, España.

Resumen

Las ganaderías de ovino de raza Latxa tienen que hacer frente a diferentes tipos de crisis y presiones a largo plazo. Comprender qué factores mejoran su resiliencia puede ayudar a fortalecer estos sistemas y mantener su funcionamiento. Por ello, el objetivo de este estudio es analizar la percepción de las personas ganaderas elaboradoras de queso y agentes del sector (técnicos e investigadores) del Latxa sobre los retos a los que se enfrentan y los atributos que les permiten ser más resilientes. Para ello, se realizaron entrevistas a personas ganaderas que fueron analizadas mediante análisis de contenido, y se realizó un grupo focal con agentes del sector. En cuanto a los retos más importantes, las personas ganaderas destacan el de exceso de burocracia y controles; los agentes del sector destacan la falta de relevo generacional, los cambios de hábitos de consumo y el bajo nivel de rentabilidad de las ganaderías. Respecto a los atributos de resiliencia, tanto las personas ganaderas como los agentes del sector destacaron la importancia de la diversidad de respuestas y la autonomía. Además, los agentes del sector también remarcan el capital humano y económico, el acoplamiento con los recursos naturales y la diversidad funcional, las vías de información, la dependencia a nivel local y el capital natural. Podemos concluir que las personas ganaderas y los agentes del sector tienen una percepción diferente de los retos que les afectan y los atributos que fortalecen su resiliencia. Ambas percepciones deben considerarse para desarrollar estrategias que permitan fortalecer la resiliencia de las ganaderías de oveja Latxa.

Palabras clave: Latxa, resiliencia, retos, atributos, percepción.

* Autor para correspondencia: jlizarralde@neiker.eus

Cita del artículo: Lizarralde J., Soriano B., Prat-Benhamou A., Ruiz R., Martín-Collado D., Mandaluniz N. (2025). Evaluación de los retos y atributos que determinan la resiliencia de las ganaderías de la raza Latxa elaboradoras de queso. ITEA-Información Técnica Económica Agraria 121(3): 223-241. <https://doi.org/10.12706/itea.2025.006>



Assessment of the challenges and attributes that determine the resilience of Latxa breed cheese-making dairy farms

Abstract

The Latxa sheep farms have to cope with different types of crises and long-term pressures. Resilience analysis can help to strengthen the system to cope with these challenges and maintain their functions. Therefore, the aim of this work is to analyse the perceptions of cheese producers' farmers and the stakeholders (technicians and researchers) of the Latxa sheep sector about the challenges they face and the attributes that allow them to be resilient. To this end, open interviews were conducted with farmers, which were analysed using the content analysis method, and a focus group was conducted with stakeholders where scoring exercises were carried out. The results show that farmers highlight the challenge of excessive bureaucracy and controls, while the stakeholder group identifies the lack of generational replacement, changes in consumption habits and low profitability of the farms. Moreover, resilience attributes such as response diversity and autonomy are key for farmers and the stakeholder group. The stakeholder group also highlight human and economic capital, coupling with natural resources, functional diversity, information exchange, local dependency and natural capital. We can conclude that farmers and stakeholders have a different perception of the challenges that affect them and the attributes that strengthen their resilience. This diversity of perceptions should be taken into account when developing strategies to strengthen the resilience of Latxa sheep farms.

Keywords: Latxa, resilience, challenges, attributes, perception.

Introducción

Los sistemas de pequeños rumiantes de Europa están sufriendo un declive (Paas *et al.*, 2021) y en España algunos sistemas de pequeños rumiantes se encuentran cerca del colapso (Soriano *et al.*, 2024). Las estadísticas reflejan una reducción de los censos de ovino (9 %) y de caprino (15 %) en Europa durante el periodo de 2013-2023 (Eurostat, 2023). Estos sistemas proveen a la sociedad de alimentos de calidad como carne, leche o queso, y también aportan múltiples servicios ecosistémicos, como, conservación de suelo, espacios ecosistémicos y modelización del paisaje (Bernués *et al.*, 2022). Además, las razas autóctonas de pequeños rumiantes están adaptadas a los territorios y garantizan la conservación de un reservorio genético, el uso eficiente de los recursos naturales y actividades como el pastoreo y la trashumancia (Ruiz *et al.*, 2010). Todo ello ha contribuido al patrimonio cultural que hemos heredado. Para evitar el declive y la desaparición de estos sistemas, es fundamental fortalecer su

resiliencia, es decir, mejorar su habilidad para superar diferentes retos para que puedan seguir manteniendo sus funciones (Meuwissen *et al.*, 2019).

Las ganaderías de ovino lechero de raza Latxa en el País Vasco y Navarra, basan su manejo en un sistema semi-extensivo y acoplado al territorio. Su producción láctea se destina a la elaboración de queso, mayormente de la Denominación de Origen Protegida (DOP) Idiazabal, y parte de esta producción se lleva a cabo de manera artesanal en las mismas ganaderías. Este sistema muestra un descenso de cerca del 10 % en el número de ganaderías entre 2009 a 2023 (MAPA, 2025a). A estas ganaderías les afectan diferentes retos que no son capaces de superar con éxito en todos los casos. En este sentido, Ruiz *et al.* (2010) identificaron retos como la incertidumbre económica debido a las fluctuaciones de los precios de los insumos y el bajo precio del cordero, la lana y de la leche comercializada a través de las queserías industriales. Pero también identificaron otros retos, como los

cambios en los hábitos de consumo, la falta de relevo generacional, los crecientes conflictos con la fauna salvaje o mayor competencia por el uso del suelo como consecuencia de la presión urbanística o construcción de infraestructuras no relacionadas con la actividad agraria (Ruiz et al., 2010).

En este contexto, el análisis de la resiliencia de los sistemas de pequeños rumiantes puede ayudar a identificar los mecanismos que faciliten a estos sistemas a hacer frente a los retos que les afectan. Estos retos pueden manifestarse como crisis, cuando afectan en el corto plazo a las funciones del sistema, o como presión a largo plazos, cuando afectan de manera continuada (Meuwissen et al., 2019) y pueden ser de diferente origen (ambiental, económico, institucional y social). Estas perturbaciones afectan a diferentes escalas a los sistemas agrícolas, a nivel ganadería, sector ganadero o sector agrícola. Autores como Meuwissen et al. (2019) han subrayado la necesidad de analizar la resiliencia a diferentes escalas y de tratar de obtener los efectos a diferentes escalas. Además, la resiliencia de un sistema es posible cuando existen ciertos atributos, es decir, algunas características cuya presencia hace que un sistema sea resiliente (Boahen et al., 2023). En este sentido, se han llevado a cabo diferentes trabajos para comprender cuáles son los atributos que influyen más en la resiliencia. Para ello autores como Cabell y Oelofse (2012) propusieron algunos atributos que pueden determinar la resiliencia, como diversidad funcional, diversidad de respuesta, autonomía, distribución en el espacio y tiempo, redundancia, vías de intercambio de información, redes de innovación, acoplamiento con recursos naturales, autorregulación del medio natural, dependencia a nivel local, experiencias superadas y organización del sector. En cambio, Paas et al. (2021) incluyeron a esos atributos otros relacionados con el capital (económico, financiero, humano, infraestructuras, natural y social). Centrándose en atributos de resiliencia, Reidsma

et al. (2020) identificaron que el capital de infraestructuras, la organización social, la diversidad y la producción acoplada al entorno local y natural son fundamentales. Prat-Benhamou et al. (2024) remarcaron la importancia de los atributos de diversidad de respuesta o la exposición a perturbaciones, entre otros.

Para analizar la presencia de los atributos de resiliencia en los sistemas ganaderos, se pueden utilizar aproximaciones cuantitativas basadas en indicadores (Slijper et al., 2022) y cualitativas basadas en la percepción de los agentes del sector (Spiegel et al., 2021). La aproximación cualitativa permite conocer la información de la mano de aquellos que son partícipes de la realidad estudiada (Jones y Tanner, 2017). En el caso de los sistemas ganaderos, las personas que gestionan ganaderías y otros agentes del sector, como personal técnico o investigadores, puede aportar información clave que nos ayuda a entender la situación del caso analizado y que es difícil de recabar a través de otras metodologías (Jones y d'Errico, 2018). Este tipo de análisis permite identificar coincidencias y divergencias en la percepción de cada uno de los grupos estudiados. Por ejemplo, Soriano et al. (2024) encontraron divergencias entre las percepciones sobre la resiliencia entre diferentes grupos de interés en la percepción de los retos y las estrategias a implementar para gestionarlos. Mientras que las personas ganaderas perciben como principales retos los económicos a corto plazo, los agentes del sector vuelcan su preocupación con las presiones ambientales en el largo plazo.

El objetivo de este estudio es realizar un análisis de la percepción de las personas ganaderas elaboradoras de queso y los agentes de interés ovino lechero de la raza Latxa en el País Vasco y Navarra. Centrándonos en los retos que se enfrentan y los atributos que les permiten ser más resilientes. En este estudio los agentes del sector engloban técnicos de ganadería, formadores de ganaderos e investigadores.

Material y métodos

Caso de estudio: sistema ovino Latxa

En el 2023 había 346 ganaderías registradas en la DOP Idiazabal, que reunían aproximadamente 120 mil ovejas Latxa distribuidas en los territorios de la Comunidad Autónoma del País Vasco (CAPV) y en la mitad norte de Comunidad Foral de Navarra (CFN) (MAPA, 2023). Ese mismo año, este grupo de ganaderías produjeron 1,3 t de queso Idiazabal (MAPA, 2023). En su mayoría, estas ganaderías tienen dedicación exclusiva y están especializadas en la producción de leche. Por lo general, tienen un marcado carácter familiar en el que 1-2 personas de la familia trabajan en la ganadería, y normalmente no se contrata mano de obra externa. En relación con la orientación productiva, aproximadamente el 60 % de las ganaderías venden la leche producida a la industria para su transformación a queso bajo la DOP Idiazabal, principalmente. Mientras que el 40 % restante las de ganaderías elaboran queso bajo la DOP en sus propias queserías artesanales. Además, algunas de este segundo tipo de ganaderías realizan un manejo mixto, ya que venden la leche a la industria durante un periodo de la lactación y elaboran queso en otro periodo. El número de ganaderías elaboradoras de queso o comercializadoras de leche varía ligeramente entre años dependiendo del precio de la leche y del queso.

La oveja Latxa es una raza autóctona y están muy bien adaptada al territorio y a la climatología de la zona. Gracias al plan de mejora genética se ha aumentado la producción de leche de estas ovejas. Actualmente la producción media anual por oveja es de 163 l en una lactación tipo (es decir, durante los primeros 120 días de lactancia), si bien estas cantidades pueden ser muy superiores en los rebaños que han hecho una mayor presión de selección (Juste et al., 2020). Respecto al cordero, se cría mediante lactancia natural se

sacrifica como lechal con un peso inferior a los 12 kg, pudiendo comercializarse con diferentes certificaciones. Además de la DOP Idiazabal, existen otras denominaciones ligadas a los productos obtenidos para proteger las características del sistema: DOP del Roncal para el queso e Indicación Geográfica Protegida (IGP) de Cordero de Navarra, además de otros sellos como el Cordero Lechal Vasco en la CAPV. Respecto a la elaboración del queso, existen 4 empresas principales que recogen la leche de las ganaderías y la transforman en queso bajo las denominaciones mencionadas.

En cuanto al manejo de la alimentación se trata de un sistema muy ligado al aprovechamiento de recursos locales tanto pastos de valle como de montaña. Además, los excedentes de pasto que se producen en primavera se suelen cosechar y conservar en las propias ganaderías como henificados o ensilados para la alimentación del rebaño durante las épocas de escasez (principalmente durante la estabulación invernal). Se trata de sistemas con una marcada estacionalidad en la producción de leche y su transformación, con cubriciones en verano, partos en invierno y ordeño en primavera-verano. Las ovejas se suplementan con concentrados y forraje principalmente desde el final de gestación y durante el periodo de ordeño. Los rebaños combinan esta alimentación administrada en pesebre durante la lactación con el pastoreo en las zonas de valle o en algunos casos minoritarios en montaña. Durante los meses de verano y otoño algunos rebaños realizan trasterminancia a los pastos de montaña. No obstante, es una práctica que se encuentra en retroceso en las zonas con depredadores y el tiempo de permanencia en la montaña depende de la climatología y alimento de los pastos (Ruiz et al., 2019).

El sector de la oveja Latxa se caracteriza por un alto grado de estructuración y una amplia diversidad de agentes que intervienen en su funcionamiento. En ambas comunidades autónomas, CAPV y CFN, existen asociaciones

de criadores cuyo objetivo principal es la mejora genética de la raza. Las personas ganaderas, por su parte, disponen del apoyo de centros de gestión que les ofrecen asesoramiento. Asimismo, se agrupan en cooperativas para la comercialización de productos como el cordero, la leche y el queso. Además, existe una entidad especializada en la formación de nuevos ganaderos, que facilita la incorporación de profesionales al sector.

Recogida de datos

Para la recogida de datos de la percepción de las personas ganaderas, se realizaron 6 entrevistas en profundidad con 5 preguntas abiertas a personas ganaderas elaboradoras de queso adscritos a la DOP Idiazabal. Las preguntas se diseñaron para obtener información acerca de la percepción de los retos que les afectan y los atributos que consideran que les ayudan a ser resilientes. Las entrevistas se realizaron por dos personas entrevistadoras previamente formadas, durante mayo y junio de 2022 y la duración de las entrevistas fue aproximadamente de 45 min. Las personas ganaderas podían responder de forma abierta a cada pregunta y los entrevistadores solo intervenían en el caso de que la persona entrevistada no respondía a la cuestión planteada. Las entrevistas fueron grabadas y posteriormente transcritas.

Con el fin de recoger información sobre la percepción de los agentes del sector sobre la resiliencia, se llevó a cabo un grupo focal en mayo de 2022 al que asistieron 7 participantes en el sector de ovino de raza Latxa, cubriendo perfiles de técnicos de ganadería, formadores de nuevos ganaderos y técnicos de las instituciones del sector. El grupo focal se realizó presencialmente con una duración de 3 h y fue grabado, previa autorización de los asistentes. Al inicio de la sesión, se explicó a las personas participantes los objetivos de la reunión y el concepto de la resiliencia apli-

cado a sistemas y ganaderías. En esta primera sección se discutió sobre los principales retos a los que se enfrenta este sector. Para ello, se utilizó una lista predefinida tomando como base los trabajos de Meuwissen *et al.* (2019) y Belanche *et al.* (2020) sobre crisis y presiones a largo plazo categorizadas en función de su tipología (ambiental, económica, institucional y social) que podrían afectar al sistema ganadero. Se explicaron los retos a todo el grupo, cada tipo de reto por cada temporalidad constaba de 3 retos identificados previamente que se detallan en la Figura 1, y se les invitó a discutir cómo afectaba cada uno de ellos al sistema de la oveja Latxa. Una vez discutidos los retos a considerar, los participantes valoraron la importancia de cada uno de ellos para el sistema de la oveja Latxa usando una escala del 1 (irrelevante) al 10 (extremadamente importante). A continuación, se expusieron y explicaron los atributos de resiliencia que influyen a la resiliencia de las ganaderías en base a los trabajos de Cabbell y Oelofse (2012) y Paas *et al.* (2021) y que se detallan en la Figura 2. Posteriormente cada participante los evaluó individualmente en una escala del 1 (irrelevante) al 10 (extremadamente importante).

La metodología, gestión y almacenaje de datos personales fue supervisada por el Comité de Ética en Investigación con Seres Humanos (CEISH) de CITA.

Análisis de datos

Para el análisis de las entrevistas a las personas ganaderas se utilizó el método de análisis de contenido deductivo. Es un método sistemático y objetivo que se centra en recopilar y describir la pregunta de interés (Elo y Kyngäs, 2008) y para ello se buscan y recopilan fragmentos, de textos en nuestro caso, que responder al objetivo buscado. Los fragmentos o códigos fueron clasificados usando el software Nvivo Release 1.7.1 (1534). Los retos se clasifi-

caron siguiendo el trabajo de Meuwissen et al. (2019), aunque se hizo una adaptación al caso de estudio (Tabla 1). Los códigos fueron clasificados según su temporalidad (crisis y presiones a largo plazo) y tipología (social, económica, medioambiental e institucional) del reto. Además, se realizó la codificación de los atributos de resiliencia basándonos en los trabajos de Cabell y Oleofse (2012), Paas et al. (2021) y Soriano et al. (2023) y se adaptaron los atributos al caso de ovino Latxa (Tabla 2). Realizada la codificación de los retos y atributos, se realizó un análisis de frecuencia de los códigos y se consideró que los retos y atributos eran remarcables cuando los mencionaron el 80 % o más de las personas participantes.

En análisis de la información recogida en el grupo focal se realizó a través del análisis de rankings (Paas et al., 2021), según el cual la selección de los retos y los atributos de resiliencia principalmente percibidos fueron aquellos cuya puntuación era igual o mayor a la puntuación de 8.

Resultados

De acuerdo con los resultados obtenidos, el 100 % de menciones de las personas ganaderas perciben la alta carga administrativa y los controles que reciben por parte de distintas instituciones (crisis institucional) (Figura 3). Por su parte, los agentes de sector identifican una mayor diversidad de retos que afectan al sector de la oveja Latxa. Entre ellos, destacan su preocupación por las presiones a largo plazo sociales y económicos. En el primer caso son debidas a la falta de relevo generacional y de mano de obra en las ganaderías (8,86), así como la presión a largo plazo social a una reducción del consumo de la carne de cordero (8,00). En el caso de la presiones económicas a largo plazo, en los agentes del sector coincidieron en la preocupa-

ción de la baja rentabilidad de las ganaderías (8,00) (Figura 1). Finalmente, cabe destacar que ningún reto ambiental fue destacado por ninguno de los dos grupos (menciones inferiores al 20 % por las personas ganaderas y puntuaciones inferiores a 6 en los agentes del sector).

En cuanto a los atributos de resiliencia, las personas ganaderas elaboradoras de queso y los agentes del sector destacaron como principales atributos la diversidad de respuesta y la autonomía. La diversidad funcional da la capacidad de elaboración y comercialización propia, además de tener acceso a distribuidores convencionales (100 % menciones de las personas ganaderas y 9,43 en los agentes del sector). La autonomía es la capacidad de disponer su independencia de proveedores externos, al ser un sistema ligado al pastoreo y con capacidad de elaboración de forrajes en la propia ganadería (83 % menciones de las personas ganaderas y 8,29 en los agentes del sector) (Figura 4). En el caso de los agentes del sector coincidieron con las personas ganaderas en los atributos resaltados, pero ampliaron esta visión con otros atributos de resiliencia: el capital humano (9,43) y económico (9,29), reservas económicas y de personal que pueden ayudar a mejorar el manejo de las ganaderías. Además, atributos como el acoplamiento con recursos naturales y locales (8,71) ayudan a reducir costes de alimentación o la diversidad funcional (8,43) y tener otros sistemas agrarios incorporados en las ganaderías que pueden ayudar a la resiliencia. Con menor puntuación, pero aun así siendo relevantes están tener vías de intercambio de información (8,14) para estar informados de las nuevas tendencias e innovaciones, tener dependencia a nivel local (8,00) para tener arraigo en el territorio donde se lleva la actividad y tener capital natural (8,00) para poder hacer uso de ello y mejorar la rentabilidad (Figura 2).

Tabla 1. Descripción de los códigos de los retos clasificados por temporalidad (crisis y presión a largo plazos) y tipología (ambiental, económico, institucional y social) basado en Meuwissen et al. (2019).
Table 1. Description of the challenges, classified by temporality (crisis and long-term pressure) and typology (environmental, economic, institutional and social) based on the work of Meuwissen et al. (2019).

Categorías			Descripción
Temporalidad	Tipología	Código	
Crisis	Ambiental	Aumento de la fauna	Conflictos con la fauna salvaje (transmisión de enfermedades, ataques al ganado o destrucción de recursos naturales).
		Enfermedades animales	Presencia de enfermedades que hacen peligrar la producción y el manejo de los animales.
		Sequía	Falta de agua debido a acontecimientos climáticos o periodos de temperaturas extremas.
		Aumento del precio de la energía	Aumento de los costes de energías (electricidad, carburantes, etc.) reduciendo los beneficios de la ganadería.
	Económico	Aumento del precio de los insumos	Aumento de los precios de los insumos reduciendo los beneficios de la ganadería.
		Exceso de burocracia y controles	Requerimientos administrativos que las personas ganaderas tienen que cumplir y limitan el tiempo del ganadero y crean una sensación de hartazgo.
	Social	Bajas médicas	Bajas médicas derivadas de la actividad ganadera que limitan el número de personal.
		Protestas sociales	Protestas sociales que afectan al sector (huelgas de camioneros).

Tabla 1. Descripción de los códigos de los retos clasificados por temporalidad (crisis y presión a largo plazos) y tipología (ambiental, económico, institucional y social) basado en Meuwissen et al. (2019) (continuación).
Table 1. Description of the challenges, classified by temporality (crisis and long-term pressure) and typology (environmental, economic, institutional and social) based on the work of Meuwissen et al. (2019) (continuation).

Categorías		Código	Descripción
Temporalidad	Tipología		
Presión a largo plazo	Ambiental	Cambio climático	Cambios climatológicos prolongados.
		Pérdida de biodiversidad	Perdida de especies (beneficios para la ganadería) debido a la presión humana, abandono o cambio climático.
	Económico	Dificultad para conseguir financiación	Las personas ganaderas tienen dificultades para conseguir financiación.
		Alto nivel de inversión inicial	Las personas ganaderas del invertir mucho capital para empezar con la actividad.
Institucional		Estabilidad o caída de los precios	Los precios de los productos se han reducido o se han mantenido durante mucho tiempo.
		Medidas que incrementan los costes	Legislación o procedimientos que dificultan la contratación debido al incremento de los costes.
		Medidas que limitan el acceso a la tierra	Competición por la tierra con otros sectores (agrícolas, fotovoltaico, etc.)
		Medidas que limitan fondos	Reducción de los fondos y PAC que limitan los ingresos.
Social		Desafección con la ganadería	Distanciamiento entre el mundo rural y urbano, cambio en hábitos de consume y campañas mediáticas.
		Falta de atractivo del sector	La actividad no es atractiva para las nuevas entradas.
		Falta de mano de obra	Dificultades para encontrar gente cualificada
		Falta de relevo generacional	Falta de nuevas incorporaciones al sector.

Tabla 2. Definición y explicación de los atributos de resiliencia.
 Table 2. Definition and explanation of the resilience attributes.

Atributos	Definición	Explicación
Diversidad funcional (Cabell y Oelofse, 2012 Paas et al., 2021, Soriano et al., 2023)	Los servicios que una ganadería provee a la sociedad	Las personas ganaderas regulan y mejoran la producción y los servicios ecosistémicos
Diversidad de respuesta (Cabell y Oelofse, 2012; Paas et al., 2021, Soriano et al., 2023)	Rango de respuestas ante un reto	Las personas ganaderas desarrollan diferentes estrategias para hacer frente a los retos: diferentes sistemas de producción, variedad de productos o consumidores
Autonomía (Cabell y Oelofse, 2012)	La persona ganadera tiene suficiente autonomía de influencias y control externo	Reducción de insumos externos y uso de recursos de la ganadería
Redundancia (Cabell y Oelofse, 2012; Paas et al., 2021, Soriano et al., 2023)	Los componentes clave de la ganadería están duplicados	Los equipos o agentes del sector están duplicados en caso de algún fallo
Distribución espaciotemporal (Cabell y Oelofse, 2012; Paas et al., 2021)	Heterogeneidad en la ganadería y cambios temporales	Ganado en lotes o producción estacional (por ejemplo, trastermitancia)
Vías de intercambio de información (Paas et al., 2021, Soriano et al., 2023)	Hay flujo de información y nuevas tecnologías del sector	Las personas ganaderas están informadas de los eventos y familiarizadas con los agentes del sector
Acoplamiento con los recursos naturales (Cabell y Oelofse, 2012; Paas et al., 2021)	Los recursos naturales están integrados en la producción de la ganadería	Las personas ganaderas utilizan los recursos de la ganadería para alimentar a los animales de una forma sostenible
Expuesto a perturbaciones (Cabell y Oelofse, 2012; Paas et al., 2021, Soriano et al., 2023)	La ganadería está expuesta a eventos que causan incertidumbre, pero sigue en activo	Las personas ganaderas lidian con retos (crisis y presión a largo plazo) que no afecta al funcionamiento de la ganadería.
Legislación acoplada a los recursos locales y naturales (Paas et al., 2021)	Las regulaciones institucionales permiten el funcionamiento de la ganadería y no crean dificultades	Las regulaciones permiten utilizar recursos naturales para la producción ganadera considerando las características de las ganaderías
Organización del sector (Cabell y Oelofse, 2012; Paas et al., 2021, Soriano et al., 2023)	Las personas ganaderas se pueden organizar según sus necesidades y deseos	Las personas ganaderas tienen relación entre ellos, con otros ganaderos del sector y están organizados en organismos
Capital económico (Cabell y Oelofse, 2012; Paas et al., 2021)	Las personas ganaderas tienen capital económico que les capacitan para invertir y pagar los salarios.	Las personas ganaderas ganan suficiente dinero para pagar los salarios e inversiones en la ganadería
Capital humano (Cabell y Oelofse, 2012)	Las personas ganaderas tienen acceso a trabajadores y personas cualificadas	Disponibilidad de trabajadores cualificados
Capital de infraestructuras (Paas et al., 2021)	La ganadería tiene infraestructura adecuada	Las personas ganaderas tienen instalaciones adecuadas

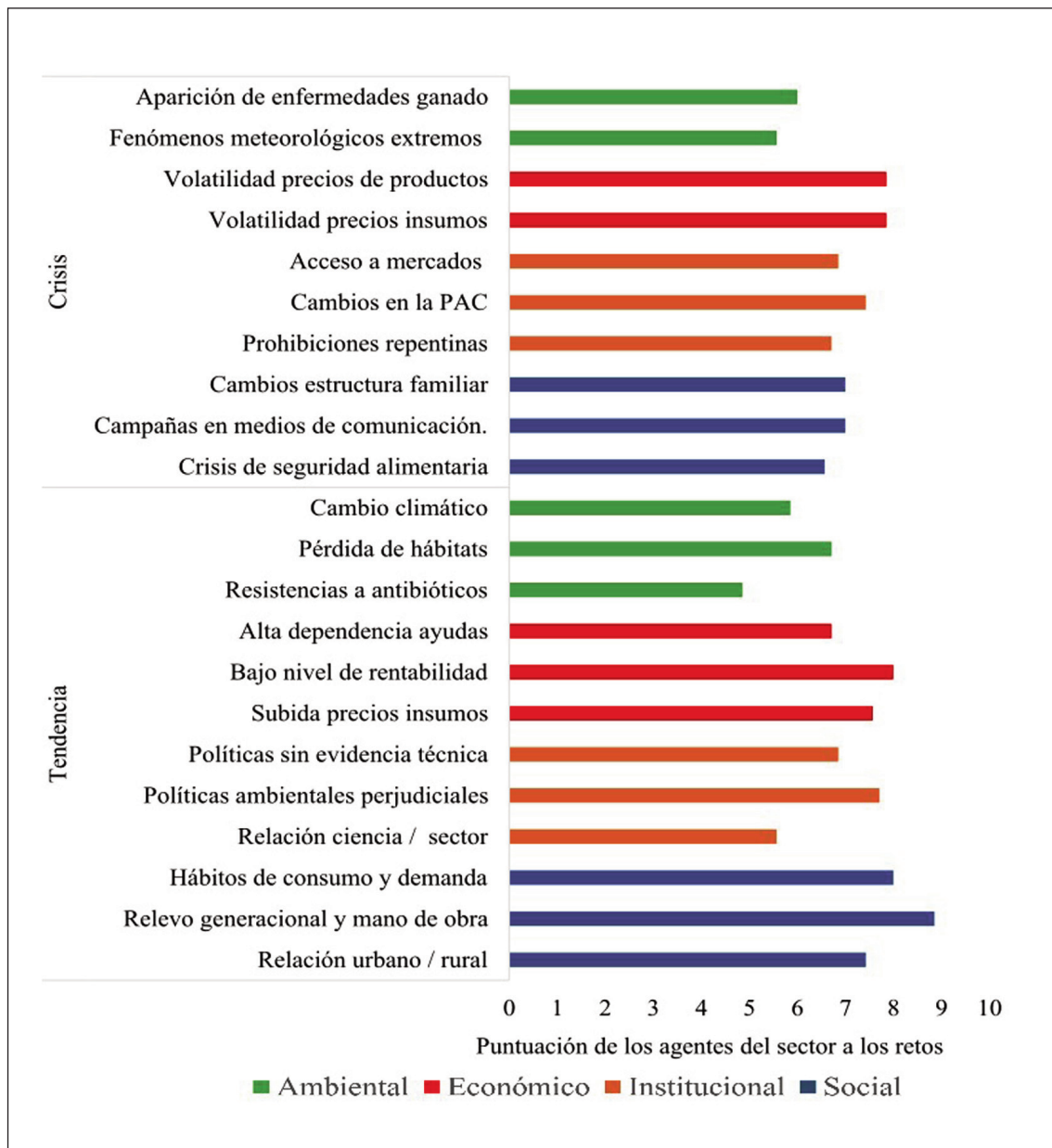


Figura 1. Puntuaciones dadas por los agentes del sector a los retos en base a su temporalidad (crisis y tendencia) y tipología (ambiental, económico, institucional y social).

Figure 1. Scores given by stakeholders to the challenges based on their temporality (crisis and tendency) and typology (environmental, economic, institutional, and social).

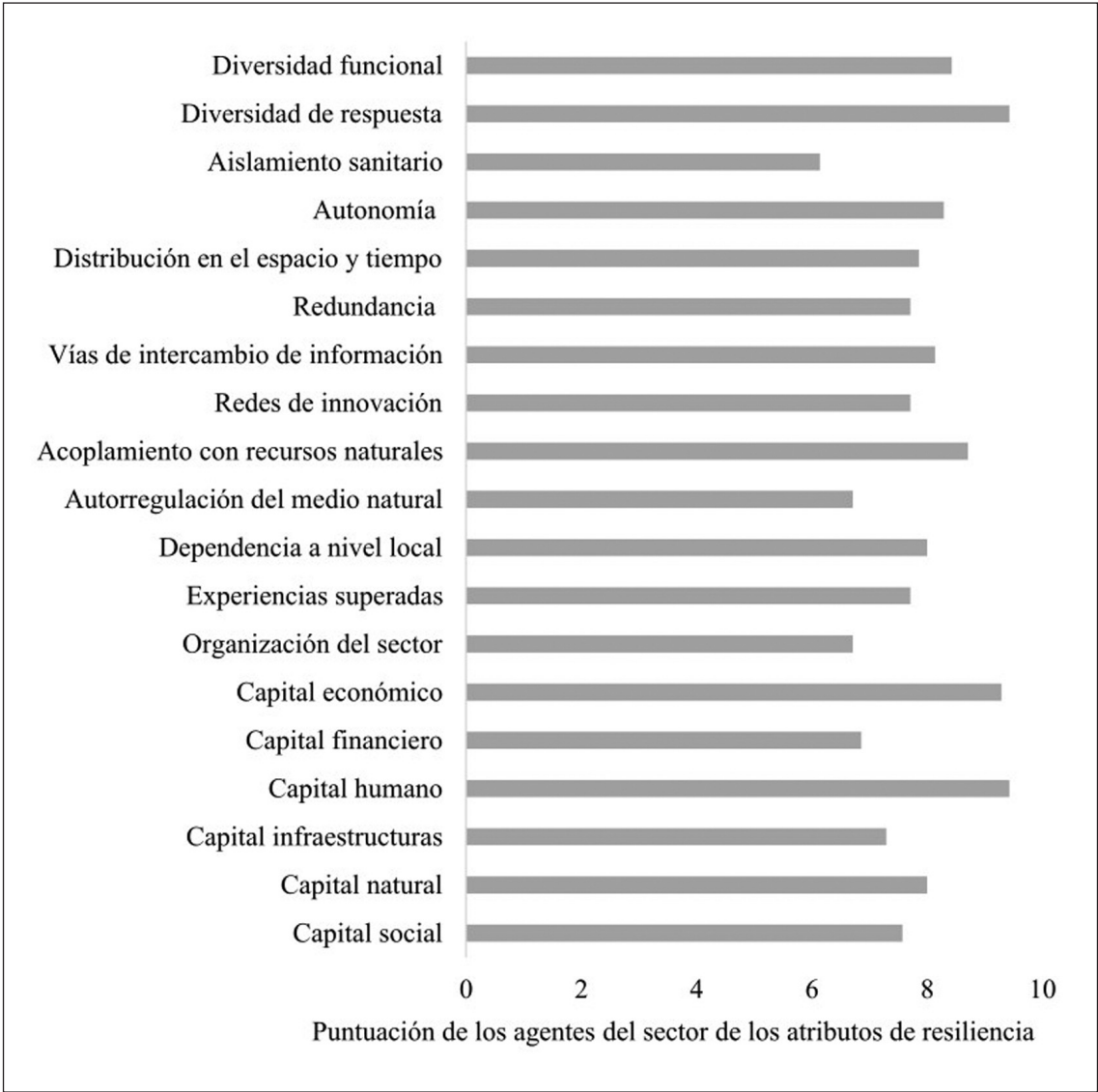


Figura 2. Puntuaciones dadas por los agentes del sector a los atributos de resiliencia.
Figure 2. Scores given by the stakeholders to the resilience attributes.

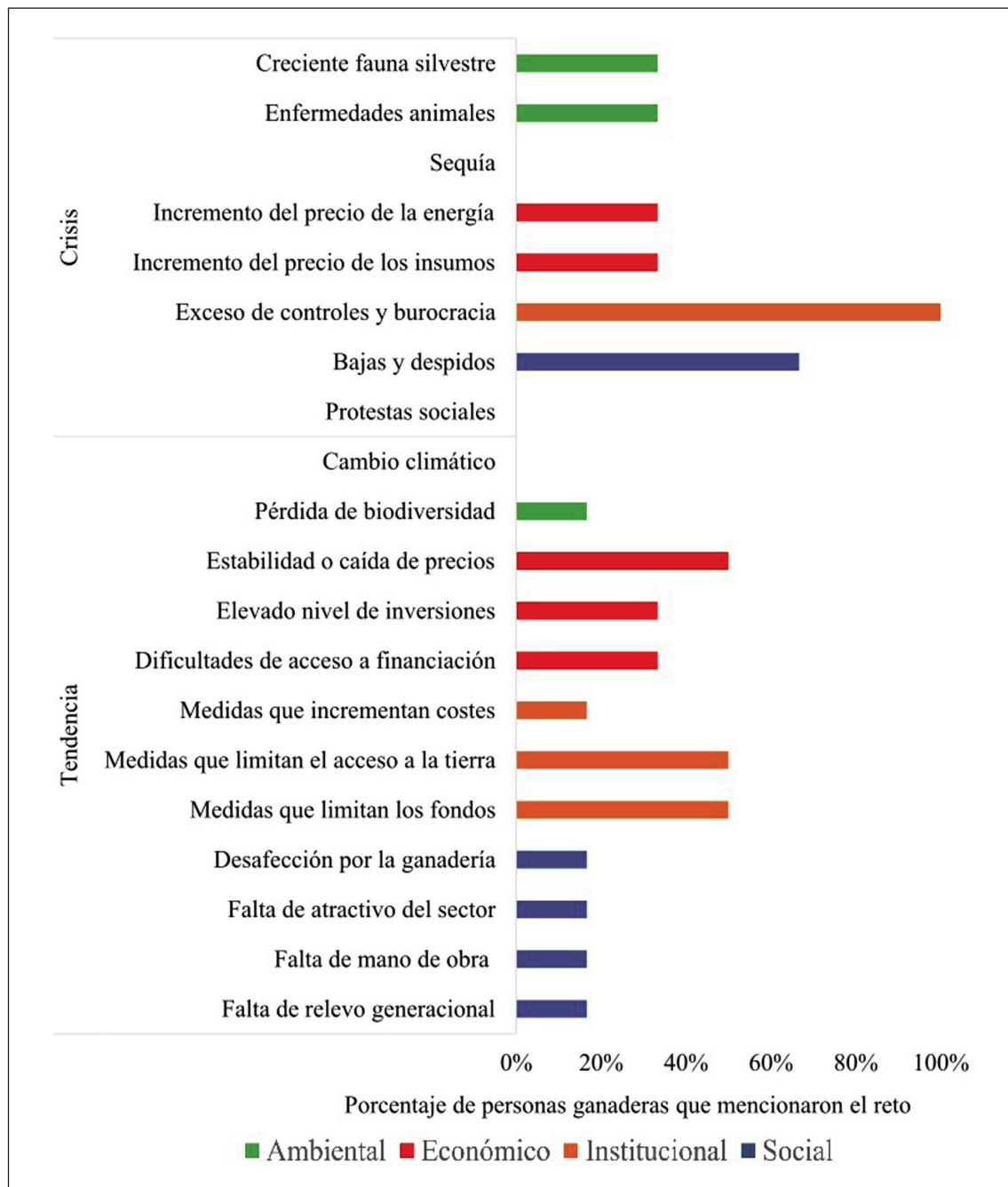


Figura 3. Porcentajes de personas ganaderas que mencionaron los retos en base a su temporalidad (crisis y tendencia) y tipología (ambiental, económico, institucional y social).

Figure 3. Percentage of the farmers that mentioned the challenge based on the temporality (crisis and tendency) and the typology (environmental, economic, institutional and social).



Figura 4. Porcentaje de personas ganaderas que mencionaron los atributos de resiliencia.
Figure 4. Percentage of the farmers that mentioned the resilience attribute.

Discusión

Las diferentes percepciones recogidas en este trabajo nos ayudan a tener una visión general del sector ovino lechero Latxa. Este estudio se ha desarrollado principalmente desde el marco teórico de la resiliencia basándonos en la percepción, sin profundizar en los enfoques vinculados a la sostenibilidad. La percepción de las personas ganaderas es para mejorar la resiliencia de sus ganaderías (Bertolozzi-Caredio et al., 2021), mientras que la

percepción de los agentes del sector puede mejorar de una forma más general al sector (Soriano et al., 2023). En este sentido y coincidiendo con la literatura, se observan divergencia entre las percepciones de las personas ganaderas que destacan retos y atributos de resiliencia que influyen directamente en su ganadería y los agentes del sector que tienen una visión sectorial más amplia (Soriano et al., 2023). Debido a ello, el análisis de la percepción es una herramienta útil para poder determinar cuáles son los puntos clave a la hora

de tomar decisiones de las personas (Slee et al., 2006) ayuda a encontrar puntos de vista comunes y dispares y añade información detallada de la visión de cada grupo. Además, estas metodologías de análisis de la percepción (cualitativos) pueden ser combinadas con aproximaciones cuantitativas para estudios más detallados de la resiliencia de los sistemas analizados (Prat-Benhamou et al., 2024).

Retos

En el caso del sistema de la oveja Latxa los retos identificados en estudios previos son la incertidumbre económica y el bajo precio de productos, así como cambios en los hábitos de consumo o la falta de relevo generacional (Ruiz et al., 2010). Aunque los retos de los sistemas ovinos han sido analizados por diferentes autores, Belanche et al. (2020) remarcaron que las personas ganaderas europeas de pequeños rumiantes se centran en retos económicos, pero que están fuera de su control debido al tipo de ganaderías y son complejos de resolver. Este resultado coincide con tendencias encontradas en diferentes sectores agrarios (Spiegel et al., 2021; Soriaño et al., 2023).

En nuestro estudio, las personas ganaderas manifestaron una percepción negativa de las tareas administrativas, las cuales consideran complejas y estresantes (Reissig et al., 2019). Esta percepción se acentúa en el caso de las ganaderías elaboradoras de queso, ya que los requerimientos administrativos y los controles sanitarios que se llevan a cabo incrementan la carga burocrática. Además, la carga de trabajo en estas ganaderías es mayor en comparación con aquellas que suministran leche a la industria láctea local. En esta línea, Castel et al. (2010) destacan que muchas personas ganaderas de caprino optaron por no elaborar queso debido a las exigencias asociadas a esta actividad. Una posible solución sería la integración de las inspecciones, lo

que permitiría concentrar las inspecciones y reducir la carga administrativa. Esta medida podría mejorar la eficiencia tanto para la administración como para las ganaderías.

En cuanto al agentes del sector remarcan la baja rentabilidad de las ganaderías como uno de los retos que afecta al sistema de estudio. Algunos autores manifiestan que las ganaderías lácteas de pequeños rumiantes tienen problemas de viabilidad económica (Pulina et al., 2018) y las fluctuaciones de los precios afectados por los mercados afectan a la rentabilidad de éstas (Belanche et al., 2020). Aunque las ganaderías elaboradoras de queso Idiazabal tienen una mayor rentabilidad económica comparando con las ganaderías de venta de leche, otros productos como la carne de cordero y la lana no obtienen suficiente rédito. Esta falta de rentabilidad juega un papel importante para asegurar el relevo generacional y mano de obra, otro reto remarcado por los agentes del sector. De acuerdo con diversos autores, otros factores que pueden estar afectando a la falta de relevo generacional y de mano de obra pueden ser la falta de acceso a la tierra y crédito (Eistrup et al., 2019), las expectativas de desarrollo de vida (Cavicchioli et al., 2018) o la voluntad de la familia implicada en la ganadería (Leonard et al., 2017). A esto hay que sumarle aspectos menos estudiados en el sector ganadero como los peligros físicos, químicos y biológicos (Hostiou et al., 2020) y/o los problemas de salud mental (Reissig et al., 2019). Finalmente, dentro del sistema ovino lechero Latxa, el queso Idiazabal tiene una buena acogida por los consumidores y todo el producto elaborado se comercializa sin mayor problema. En cambio, no ocurre lo mismo con la carne debido a los cambios de hábitos de consumo, ya que entre 2010 y 2023 se ha reducido el consumo de carne de ovino en la CAPV y en la CFN un 41 % y 38 %, respectivamente (MAPA, 2025b).

Atributos de resiliencia

En cuanto a los atributos de resiliencia se observan puntos en común en la percepción de las personas ganaderas y los agentes del sector como son la autonomía y la diversidad de respuestas. En el primer caso, de acuerdo con los participantes en el estudio, la capacidad de aislarse de factores externos es percibida como factor positivo que ayuda a la resiliencia de las ganaderías. Tal y como se remarca en los retos, los sistemas agrarios europeos son muy dependientes de los mercados y sus fluctuaciones (Belanche et al., 2020). Un atributo como la autonomía capacita a las ganaderías para poder reducir su dependencia frente a estos mercados. En el caso del sistema de oveja Latxa, prácticas como el aprovechamiento de los recursos pastables a diente o el almacenamiento de forrajes producidos en la propia ganadería capacitan a las personas ganaderas de autonomía alimentaria. De acuerdo con Ruiz et al. (2019), el 71 % de las necesidades anuales totales de materia seca de las ganaderías de la DOP Idiazabal estarían cubiertas por el consumo de pasto, forrajes u otros alimentos producidos en la zona protegido por la DOP. Además, en esta misma línea, los agentes del sector coinciden en que el capital natural como el acoplamiento ligado a los recursos naturales son atributos fundamentales para la resiliencia del sistema ovino de la raza Latxa. Este acoplamiento se da con el pastoreo de valle y los movimientos de ganado a los pastos de montaña, dos actividades tradicionales en este sistema. Estas actividades podrían verse comprometidas en la medida en que el sistema tienda hacia una mayor intensificación basada en un incremento de la alimentación comprada (Ruiz et al., 2010).

La diversidad de respuestas es otro atributo considerado por las personas ganaderas y los agentes del sector como importante para la resiliencia del sector. La diversidad provee de nuevas oportunidades para hacer frente a

las crisis (Stirling et al., 2007) reduciendo la vulnerabilidad de las ganaderías y del sector en general (Bouttes et al., 2018). En este caso, la elaboración de queso en la propia quesería y la comercialización directa al consumidor o mediante canales cortos disponen de una mayor capacidad de establecer el precio final del producto. Además, algunas personas ganaderas suelen integrar otras actividades ganaderas complementarias de menor carga de trabajo, como el vacuno de carne, y aprovechan sus canales para la comercialización de estos otros productos. Esto ayuda a las ganaderías a tener una amplia red de ingresos y reducir su vulnerabilidad a los mercados. No obstante, uno de los contrapuntos a esta diversidad es el incremento de la disponibilidad de otros capitales, como el humano (Darnhofer y Strauss, 2014). Cabe destacar que los agentes del sector también destacan otros atributos como la diversidad funcional que engloba tanto la provisión de productos derivados de las ganaderías como los servicios ecosistémicos que aportan a la sociedad. En este sentido, prácticas como el pastoreo ayudan a incrementar la biodiversidad (Bernués et al., 2022) y el mantenimiento de un paisaje característico de la zona de la CAPV y CFN.

Los atributos relacionados con los capitales permiten a las ganaderías amortiguar y compensar las pérdidas debidas a perturbaciones (Reidsma et al., 2020). El capital económico es un atributo identificado por parte de los agentes del sector, lo que coincide con otros autores (Perrin et al., 2020; Prat-Benhamou et al., 2024). Además, el capital humano es un atributo clave para los agentes del sector y de acuerdo con la literatura, la experiencia de los trabajadores (Cradock-Henry, 2021) y la disponibilidad de personas polivalentes (Perrin et al., 2020) ayudan a las ganaderías a enfrentarse a perturbaciones. Esto, por ejemplo, se pone de manifiesto en sistemas de producción estacionales como la oveja Latxa, ya que la carga de trabajo se concentra en de-

terminados periodos y las personas ganaderas hacen frente a esta situación con apoyo de mano de obra familiar. Como aspecto positivo de esta estacionalidad, durante las épocas en las que el rebaño no se ordeña y pastorea y pernocta en los pastos, las personas ganaderas tienen periodos con menos carga de trabajo para poder dedicar a otras actividades. Otro aspecto importante que destacar es el sentimiento de pertenencia que valoran los agentes del sector, el cual desempeña un papel importante en el refuerzo de la resiliencia (Bertolozzi-Caredio *et al.*, 2021).

Por otro lado, y coincidiendo con la literatura, los agentes del sector perciben como positivos la existencia de redes de conocimiento y procesos de aprendizaje (Šūmane *et al.*, 2018) y difusión de buenas prácticas, así como el hecho de estar a la vanguardia y poder hacer uso de las herramientas de la innovación. También destacan el atributo de dependencia al nivel local, lo que se asocia con mantener la capacidad local de organización social y política, en lugar de depender de la intervención externa (Berkes, 2007). Por ejemplo, el caso del queso con DOP Idiazabal, cuya comercialización se realiza a nivel local sin depender de grandes cadenas de distribución, muestra un fuerte vínculo con las poblaciones de la CAPV y la CFN.

Limitaciones metodológicas

Las mediciones subjetivas proporcionan una forma de analizar la resiliencia en diferentes contextos (Jones y d'Errico, 2018). El trabajo realiza dos aproximaciones diferentes para analizar la percepción de cada uno de los grupos. En el caso de las personas ganaderas, las entrevistas en profundidad han llevado a la identificación de un menor número de retos y atributos, al contestar de forma individual y no guiada. Por el contrario, la participación de los agentes del sector en el grupo focal puede facilitar la riqueza en las respuestas al partir de actividades guiadas y grupa-

les, en las que las ideas de unos participantes contribuyen a la generación de ideas en otros participantes. Aunque utilicemos dos metodologías diferentes, consideramos que los resultados obtenidos son complementarios a la hora de estudiar la percepción de la situación del sector ovino lechero Latxa. La diversidad de los participantes de las entrevistas y de los agentes del sector proveen de una visión global del sector. Este tipo de estudios pueden beneficiarse de la complementariedad de los enfoques objetivos, lo cual ayudaría a tener datos más allá de las percepciones de las personas. Cabe destacar que en nuestro caso nos hemos centrado en las personas ganaderas elaboradoras de queso, ya que son las ganaderías con atributos interesantes de abordar, como la transformación del producto y su comercialización. Finalmente, se debe tener en cuenta la temporalidad de la recogida de datos ya que las entrevistas y el grupo focal se realizó cuando comenzó la disputa bélica entre Rusia y Ucrania iniciada en 2021 lo que derivó en el aumento de los costes de energía y de insumos, lo que pudo influenciar las percepciones de ambos grupos.

Conclusión

Las ganaderías de ovino lechero de raza Latxa en particular, y el sistema en general, deben hacer frente a numerosos retos. Las personas ganaderas perciben como importantes los retos que les afectan en su trabajo diario, como el exceso de burocracia y controles. En cambio, los agentes del sector se centran en las presiones a largo plazo de tipo económico (baja rentabilidad) y social (falta de relevo generacional y de mano de obra o cambios en los hábitos de consumo).

En cuanto a los atributos de resiliencia, ambos grupos coinciden en la importancia de la diversidad de respuesta y la autonomía de las ganaderías. Además, los agentes del sector perciben otros atributos como la diversidad

funcional, vías de intercambio de información, acoplamiento con recursos naturales, dependencia a nivel local y capitales económico, humano y natural.

Tanto los retos y los atributos de resiliencia identificados afectan a la sostenibilidad del sistema ovino Latxa. A la hora de diseñar medidas para potenciar esta sostenibilidad y la capacidad de resiliencia es necesario tener en cuenta la percepción de las personas ganaderas y agentes del sector, que son complementarias y enriquecedoras. Por lo tanto, las medidas implementadas han de ser lo suficientemente diversas y flexibles como para abarcar las necesidades de las diferentes partes interesadas del sector.

Declaración de autoría

- Joseba Lizarralde: conceptualización, investigación, análisis formal, visualización y redacción.
- Barbara Soriano: conceptualización, análisis formal, visualización, redacción y supervisión.
- Alicia Prat-Benhamou: conceptualización, investigación, redacción y supervisión.
- Roberto Ruiz: redacción y supervisión.
- Daniel Martín-Collado: conceptualización, investigación y supervisión.
- Nerea Mandaluniz: conceptualización, investigación, visualización, redacción y supervisión.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido cofinanciado por una beca del Gobierno de España (PRE2020-095654), el Gobierno Vasco y el proyecto RUMIRES (PID2020-120312RA-I00 financiada por MCIN/AEI /10.13039/501100011033). Los autores agradecen su participación a las personas ganaderas y a los participantes de los agentes del sector.

Referencias bibliográficas

- Belanche A., Martín-Collado D., Rose G., Yáñez-Ruiz D.R. (2020). A multi-stakeholder participatory study identifies the priorities for the sustainability of the small ruminants farming sector in Europe. *Animal* 15(2): 100131. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2020.100131>
- Berkes F. (2007). Understanding uncertainty and reducing vulnerability: lessons from resilience thinking. *Natural hazards* 41: 283-295. <https://doi.org/10.1007/s11069-006-9036-7>
- Bernués A., Tenza-Peral A., Gómez-Baggethun E., Clemetsen M., Eik L.O., Martín-Collado D. (2022). Targeting best agricultural practices to enhance ecosystem services in European mountains. *Journal of Environmental Management* 316: 115255. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115255>
- Bertolozzi-Caredio D., Garrido A., Soriano B., Bardaji I. (2021). Implications of alternative farm management patterns to promote resilience in extensive sheep farming. A Spanish case study. *Journal of Rural Studies* 86: 633-644. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2021.08.007>
- Boahen S., Oviroh P.O., Austin-Breneman J., Mizingo E.W., Papalambros P.Y. (2023). Understanding resilience of agricultural systems: A systematic literature review. *Proceedings of the Design Society* 3: 3701-3710. <https://doi.org/10.1017/pds.2023.371>
- Bouttes M., San Cristobal M., Martin G. (2018). Vulnerability to climatic and economic variability is mainly driven by farmers' practices on French organic dairy farms. *European journal of agronomy*, 94, 89-97. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2018.01.013>
- Cabell J.F., Oelofse M. (2012). An indicator framework for assessing agroecosystem resilience. *Ecology and Society* 17(1): 18. <http://dx.doi.org/10.5751/ES-04666-170118>
- Castel J.M., Ruiz F.A., Mena Y., Sánchez-Rodríguez M. (2010). Present situation and future perspectives for goat production systems in Spain. *Small Ruminant Research* 89(2-3): 207-210. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2009.12.045>

- Cavicchioli D., Bertoni D., Pretolani R. (2018). Farm succession at a crossroads: The interaction among farm characteristics, labour market conditions, and gender and birth order effects. *Journal of Rural Studies* 61: 73-83. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2018.06.002>
- Cradock-Henry N.A. (2021). Linking the social, economic, and agroecological: a resilience framework for dairy farming. *Ecology and Society* 26(1): 3. <https://doi.org/10.5751/ES-12122-260103>
- Darnhofer I., Strauss A. (2014). Resilience of family farms: understanding the trade-offs linked to diversification. 11th European IFSA Symposium, farming systems facing global challenges: capacities and strategies, 1-4 abril 2014, Berlin, Alemania. pp. 1-4. <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=b4edff6f36dd066b45c9471b65bc0f09a1f99be3>
- Eistrup M., Sanches A.R., Muñoz-Rojas J., Pinto Correia T. (2019). A "young farmer problem"? Opportunities and constraints for generational renewal in farm management: an example from Southern Europe. *Land* 8(4): 70. <https://doi.org/10.3390/land8040070>
- Elo S., Kyngäs H. (2008). The qualitative content analysis process. *Journal of Advanced Nursing* 62(1): 107-115. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2648.2007.04569.x>
- Eurostat (2023). European Statistical Monitor. (<https://ec.europa.eu/eurostat/web/main/data/database>) (Consultado: 14/02/2025)
- Hostiou N., Vollet D., Benoit M., Delfosse C. (2020). Employment and farmers' work in European ruminant livestock farms: A review. *Journal of Rural Studies* 74: 223-234. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2020.01.008>
- Jones L., Tanner T. (2017). 'Subjective resilience': using perceptions to quantify household resilience to climate extremes and disasters. *Regional Environmental Change* 17: 229-243. <https://doi.org/10.1007/s10113-016-0995-2>
- Jones L., d'Errico M. (2018). Resilience isn't the same for all: Comparing subjective and objective approaches to resilience measurement. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change* 10(1): e552. <https://doi.org/10.1002/wcc.552>
- Juste R. A., Villoria M., Leginagoikoa I., Ugarte E., Minguñon E. (2020). Milk production losses in Latxa dairy sheep associated with small ruminant lentivirus infection. *Preventive veterinary medicine* 176: 104886. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2020.104886>
- Leonard B., Kinsella A., O'Donoghue C., Farrell M., Mahon M. (2017). Policy drivers of farm succession and inheritance. *Land Use Policy* 61: 147-159. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2016.09.006>
- MAPA (2023). Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Datos de las Denominaciones de Origen Protegidas (D.O.P.), Indicaciones Geográficas Protegidas (I.G.P.) y Especialidades Tradicionales Garantizadas (E.T.G.) de Productos Agroalimentarios AÑO 2023. (<https://www.mapa.gob.es/es/alimentacion/temas/calidad-diferenciada/Default.aspx>)
- MAPA (2025a). Ministerio de Agricultura. Pesca y Alimentación. Catalogo oficial de razas. <https://www.mapa.gob.es/es/ganaderia/temas/zootecnia/razas-ganaderas/razas/catalogo-razas/default.aspx> (Consultado: 05/02/2025)
- MAPA (2025b). Ministerio de Agricultura. Pesca y Alimentación. Alimentación, Consumo y tendencias en alimentación, Panel de consumo, Series anuales Catalogo oficial de razas. <https://www.mapa.gob.es/es/alimentacion/temas/consumo-tendencias/panel-de-consumo-alimentario/series-anuales> (Consultado: 05/02/2025)
- Meuwissen M.P.M., Feindt P.H., Spiegel A., Termeer C.J.A.M., Mathijs E., de Mey Y., Finger R., Balmann A., Wauters E., Urquhart J., Viganí M., Zawalińska K., Herrera H., Nicholas-Davies P., Hansson H., Paas W., Slijper T., Coopmans I., Vroege W., Ciechomska A., Accatino F., Kopainsky B., Poortvliet P.M., Candel J.J.L., Maye D., Severini S., Senni S., Soriano B., Lagerkvist C.J., Peneva M., Gavrilescu C., Reidsma P. (2019). A framework to assess the resilience of farming systems. *Agricultural Systems* 176: 102656. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.102656>
- Paas W.H., Coopmans I., Severini S., Van Ittersum M.K., Meuwissen M.P.M., Reidsma P. (2021). Participatory assessment of sustainability and resilience of three specialized farming systems. *Ecology and Society* 26(2): <https://doi.org/10.5751/ES-12200-260202>
- Perrin A., San Cristobal M., Milestad R., Martin G. (2020). Identification of resilience factors of organic dairy cattle farms. *Agricultural Systems* 183: 102875. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.102875>

- Prat-Benhamou A., Bernués A., Gaspar P., Lizarralde J., Mancilla-Leytón J.M., Mandaluniz N., Mena Y., Soriano B., Ondé D., Martín-Collado D. (2024). How do farm and farmer attributes explain perceived resilience?. *Agricultural Systems* 219: 104016. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2024.104016>
- Pulina G., Milán M.J., Lavín M.P., Theodoridis A., Morin E., Capote J., Thomas D.L., Francesconi A.H.D., Caja G. (2018). Invited review: Current production trends, farm structures and economics of the dairy sheep and goat sectors. *Journal of Dairy Science* 101(8): 6715-6729. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-14015>
- Reidsma P., Meuwissen M.P.M., Accatino F., Appel F., Bardaji I., Coopmans I., Gavrilescu C., Heinrich F., Krupin V., Manevska-Tasevska G., Peneva M., Rommel J., Severini S., Soriano B., Urquhart J., Zawalínska K., Paas W (2020). How do stakeholders perceive the sustainability and resilience of EU farming systems? *EuroChoices* 19(2): 18-27. <https://doi.org/10.1111/1746-692X.12280>
- Reissig L., Crameri A., von Wyl A. (2019). Prevalence and predictors of burnout in Swiss farmers–Burnout in the context of interrelation of work and household. *Mental Health & Prevention* 14: 200157. <https://doi.org/10.1016/j.mph.2019.200157>
- Ruiz R., Díez-Unquera B., Beltrán de Heredia I., Mandaluniz N., Arranz J., Ugarte E. (2010). The Latxa dairy sheep in the Basque Country: importance, challenges and opportunities for a traditional livestock activity. En *Global food security: ethical and legal challenges* (Ed. Romeo Casabona C.M., Escajedo San Epifanio L., Emaldi Cirión A.), pp. 138-140. Wageningen Academic. Leiden, The Netherlands https://doi.org/10.3920/9789086867103_020
- Ruiz R., Goiri I., Mandaluniz N., Arranz J., García-Rodríguez A., Molina M. (2019). Análisis de los rebaños de la CAPV adscritos a la DOP Idiazabal con relación a la utilización de alimentos de la zona protegida. XVIII Jornadas sobre Producción Animal, 7-8 mayo, Zaragoza, España. pp. 12-14.
- Slee B., Gibbon D., Taylor J. (2006). Habitus and style of farming in explaining the adoption of environmental sustainability-enhancing behaviour. Final Report, Countryside and Community Research Unit, University of Gloucestershire.
- Slijper T., de Mey Y., Poortvliet P.M., Meuwissen M.P.M. (2022). Quantifying the resilience of European farms using FADN. *European Review of Agricultural Economics* 49(1): 121-150. <https://doi.org/10.1093/erae/jbab042>
- Soriano B., Garrido A., Bertolozzi-Caredio D., Accatino F., Antonioli F., Krupin V., Meuwissen M.P.M., Ollendorf F., Rommel J., Spiegel A., Tudor M., Urquhart J., Vigani M., Bardaji I. (2023). Actors and their roles for improving resilience of farming systems in Europe. *Journal of Rural Studies* 98: 134-146. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2023.02.003>
- Soriano B., Paas W., Reidsma P., San Martín C., Kopaïnsky B., Herrera H. (2024). Overcoming collapse of farming systems: shifting from vicious to virtuous circles in the extensive sheep farming system in Huesca (Spain). *Ecology and Society* 29(4): 37 <https://doi.org/10.5751/ES-15717-290437>
- Spiegel A., Slijper T., de Mey Y., Meuwissen M.P.M., Poortvliet P.M., Rommel J., Hansson H., Vigani M., Soriano B., Wauters E., Appel F., Antonioli F., Gavrilescu C., Gradziuk P., Finger R., Feindt P.H. (2021). Resilience capacities as perceived by European farmers. *Journal of Agricultural Systems* 193: 103224. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2021.103224>
- Stirling A. (2007). A general framework for analysing diversity in science, technology and society. *Journal of the Royal Society interface* 4(15): 707-719. <https://doi.org/10.1098/rsif.2007.0213>
- Šūmane S.K., Kunda I., Knickel K., Strauss A., Tisenkopfs T., des los Rios I., Rivera M., Chebach T., Ashkenazy A. (2018). Local and farmers' knowledge matters! How integrating informal and formal knowledge enhances sustainable and resilient agriculture. *Journal of Rural Studies* 59: 232-241. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2017.01.020>

(Aceptado para publicación el 17 de julio de 2025)

Patrones de ingestión de agua en ganado bovino de lidia

Juan Manuel Lomillos^{1,*} y Marta Elena Alonso²

¹ Departamento de Producción y Sanidad Animal, Salud Pública Veterinaria y Ciencia y Tecnología de los Alimentos. Facultad de Veterinaria. Universidad Cardenal Herrera-CEU. C/ Tirant lo Blanc, 7. 46115 Alfara del Patriarca, Valencia, España.

² Departamento de Producción Animal. Facultad de Veterinaria de León. Universidad de León. Campus de Vegazana s/n. 24071 León, España.

Resumen

El agua es un bien escaso en muchas regiones y gestionar su administración para bebida de animales en ciertas zonas y épocas del año es crucial. Para estudiar el comportamiento de bebida y la utilización de bebederos artificiales por el ganado bovino extensivo, fueron instaladas varias cámaras de fototrampeo en el entorno del abrevadero de tres cercados de una explotación de lidia en León (España), donde se administraba concentrado dos veces al día salvo en el cercado 3.

El cercado 1 (12 ha) con 14 machos de 3-4 años, el cercado 2 (26 ha) con 20 hembras de 1-2 años y el cercado 3 (15 ha) con 20 hembras de 1-2 años. Se obtuvieron 1858 fotografías y 4866 videos durante un periodo de tiempo de cuatro meses (septiembre-diciembre) utilizando fototrampeo.

La frecuencia de los episodios de bebida y la presencia de los animales fue estable durante todo el periodo, observando un patrón circadiano en el bebedero, determinado por la administración de pienso concentrado, dado que, durante las 2 h posteriores a la ingesta, tanto de la mañana como de la tarde, se produjo la mayor parte de la bebida de agua, salvo en el cercado 3 sin suplementación, que registro un único periodo de bebida matinal. Igualmente, el consumo se vio influido por la radiación solar, la temperatura ambiental y la humedad relativa.

Se observaron diferentes patrones etológicos: agonísticos y sociales, siendo remarcable la baja frecuencia de patrones agonísticos, sinónimo de calma, teniendo en cuenta el carácter agresivo de la raza.

Palabras clave: Raza de lidia, bebedero, etología.

Water intake patterns in lidia cattle

Abstract

Water is a scarce resource in many regions, and managing its distribution for animal drinking in certain areas and seasons is crucial. To study the drinking behaviour and the use of artificial drinkers by extensive cattle, several camera traps were installed around the water troughs in three enclosures of a lidia farm in León (Spain), where concentrate feed was administered twice a day, except in enclosure 3.

* Autor para correspondencia: juan.lomillos@uchceu.es

Cita del artículo: Lomillos J.M., Alonso M.E. (2025). Patrones de ingestión de agua en ganado bovino de lidia. ITEA-Información Técnica Económica Agraria 121(3): 242-257. <https://doi.org/10.12706/itea.2025.007>



Enclosure 1 (12 ha) contained 14 males aged 3-4 years, enclosure 2 (26 ha) had 20 females aged 1-2 years, and enclosure 3 (15 ha) housed 20 females aged 1-2 years. A total of 1858 photographs and 4866 videos were captured over a four-month period (September to December) using camera trapping.

The frequency of drinking episodes and the presence of animals remained stable throughout the period, with a circadian pattern observed at the water trough, determined by the administration of concentrate feed. Most of the water drinking occurred within two hours after feeding, both in the morning and in the afternoon, except in enclosure 3, where no supplementation was provided, and only a single morning drinking period was recorded. Similarly, consumption was influenced by solar radiation, ambient temperature, and relative humidity.

Different ethological patterns were observed: agonistic and social behaviours, with a notable low frequency of agonistic patterns, indicative of calm, considering the aggressive nature of the breed.

Keywords: Lidia breed, drinking trough, ethology.

Introducción

El consumo de una cantidad adecuada de agua es esencial tanto para la salud y bienestar animal como para una producción óptima, por ello, es importante conocer todos los factores que influyen en la ingestión de agua, para poder llevar a cabo una correcta planificación de manera que los animales puedan satisfacer sus necesidades hídricas tanto fisiológicas como etológicas. Los escasos estudios de investigación llevados a cabo con relación a la ingesta de agua en razas bovinas en régimen de manejo extensivo hacen que todavía sigan empleándose técnicas tradicionales de manejo en cuanto al suministro de dicho nutriente para los animales (Coimbra *et al.*, 2010).

Son numerosos los factores que afectan al consumo de agua por los animales, algunos como el espacio de bebedero disponible por individuo, la cantidad y distribución de estos o la organización social interna del rebaño, pueden afectar el acceso al agua (Albright, 1993; Hötzel *et al.*, 2003). Los factores que influyen sobre la cantidad y la frecuencia de ingestión de agua son más numerosos: temperatura, humedad relativa ambiental, luminosidad (Hicks *et al.*, 1988; Beaver *et al.*, 1989; Ray, 1989), especie y raza animal (Lampkin *et al.*, 1958; Wilson, 1975), tamaño del animal (Pan-

dey *et al.*, 1989), ingesta y características de la materia seca ingerida (Hicks *et al.*, 1988; Seikine *et al.*, 1989), distancia al punto de agua (Sneva *et al.*, 1973) o etapa de producción (Beaver *et al.*, 1989). Igualmente, el diseño, la localización de los bebederos y la presentación del agua a la hora de su consumo también tienen mucha influencia sobre el comportamiento de ingestión de agua de los bóvidos (Meyer *et al.*, 2006).

Tradicionalmente se le ha dado más importancia al consumo de agua en animales productores de leche debido a que es el principal componente de esta, motivo por el cual la mayoría de los estudios corresponden a este tipo de animales (Brew *et al.*, 2011), sin embargo, el consumo hídrico también tiene gran trascendencia en animales dedicados a otras producciones, ya que la ingesta de alimento va muy estrechamente unida al consumo de agua, sobre todo cuando el concentrado posee un elevado porcentaje de materia seca (Grout *et al.*, 2006).

Por otro lado, los efectos del cambio climático sobre la disponibilidad de agua y el uso que se hace en la producción ganadera de la misma son motivo de creciente preocupación social, incrementando la presión para que se adopten prácticas agrícolas sostenibles y eficientes sin que afecten al bienestar animal.

Concretamente, en el ganado bovino extensivo es importante obtener información sobre las necesidades de agua de los animales y los factores que afectan al consumo de este, de cara a realizar una buena planificación (Ali *et al.*, 1994; Coimbra *et al.*, 2010).

En el caso del ganado extensivo y, más concretamente, en su máximo representante en España, el ganado bovino de lidia, un ineficiente consumo de agua puede repercutir negativamente en el rendimiento productivo del animal, sobre todo en momentos críticos, como el comprendido entre el destete y la tiente de las hembras (0,5-2 años) y durante el periodo de acabado en los machos previo a su lidia (3-4 años) (Lomillos *et al.*, 2012), por ello, el presente estudio analiza el comportamiento de ingestión de agua de bovinos de lidia (machos y hembras) empleando la técnica del fototrampeo. Todo ello con el objetivo de conocer el patrón de consumo hídrico con el fin de diseñar estrategias de manejo que permitan un mejor aprovechamiento de los recursos de las ganaderías, optimizando su rentabilidad y respetando las necesidades etológicas de los animales.

Material y métodos

Se instalan cámaras de fototrampeo en el entorno de bebederos durante los meses de septiembre a diciembre en una finca situada en la provincia de León, España (42° 31' 06,5" latitud N y 6° 17' 5" longitud W) que combina amplias praderas y robles adehesados. Los animales se encontraban alojados en 3 cercados:

- Cercado 1: extensión de 12 ha con 14 machos de 3 a 4 años, alimentados con 5-6 kg de concentrado por animal, en comederos individuales en dos periodos: de 10:00 a 11:00 y de 16:00 a 17:00, con forraje y pasto a libre disposición. Con un bebedero de hormigón de 5,6 × 5,1 × 0,5 m.

- Cercado 2: extensión de 26 ha con 20 hembras de 1 a 3 años, alimentadas con 1 kg de concentrado por animal, en comederos corridos, igualmente repartido en dos momentos: de 9:00 a 10:00 y de 15:00 a 16:00. Con un bebedero de hormigón de 5,6 × 2,5 × 0,5 m.
- Cercado 3: extensión de 15 ha con 20 hembras de 1 a 3 años sin suplementación alimentaria. Con un bebedero de hormigón de 2,45 × 1 × 0,5 m.

Las cámaras digitales utilizadas corresponden al modelo 119935 TRAIL SCOUT BUSHNELL® que se colocaron en los árboles de los alrededores de los bebederos a una distancia de 8 m. Fueron programadas para funcionar de forma continua (24 h/día), de modo que la toma de imágenes se realizara de forma automática por el sensor de movimiento IR con un intervalo de cuarenta segundos entre fotografías sucesivas, adaptando la metodología utilizada en anteriores investigaciones (Srbek-Araujo y Chiarello, 2005; Rowcliffe *et al.*, 2008; Sánchez-García *et al.*, 2012), obteniendo 1858 fotografías y 4866 videos.

El análisis de las fotografías se realizó a través de la observación visual e interpretación de los animales presentes en las fotografías, así como la fecha y hora de las mismas. La visualización de las fotografías se llevó a cabo mediante el programa informático Lenovo Photo Master®, recogiendo los datos numéricos en una hoja de cálculo del programa Microsoft Excel 2020® para WINDOWS® creada para tal efecto y en la cual se introducían los valores correspondientes a: fecha y hora, nº de animales presentes total, nº de animales bebiendo y nº de animales en el entorno del bebedero.

Se registraron los datos climáticos de los periodos y área de estudio: radiación solar (W/m²), temperatura ambiental (°C) y humedad relativa ambiental. Dichas cifras fueron tomadas de la base de datos agroclimáticos de InfoRiego, creada con datos climáticos recogidos por las estaciones de la red SIAR y por las del ITACyL.

Dada la importancia de considerar el impacto negativo del calor y el de la humedad relativa combinados para obtener resultados más exactos sobre el estrés térmico, se ha representado ambos datos climáticos en el Índice de Temperatura-Humedad (THI), calculado mediante la ecuación propuesta por Olivares *et al.* (2013) para el periodo de estudio:

$$\text{THI} = (1,8 \times T + 32) - (0,55 - 0,55 \times \text{HR}/100) \times (1,8 \times T - 26) \quad [1]$$

Donde "T" representa la temperatura ambiental y "HR" la humedad relativa.

El tratamiento descriptivo de los datos resulta, en este trabajo, más apropiado que un tratamiento estadístico debido a que las variables climáticas utilizadas no presentan una distribución normal ni existe una correlación lineal con los datos recogidos en la finca. Por ello, la relación entre los distintos factores y el grado de utilización de los bebederos es representada en figuras.

Resultados y discusión

Los resultados de funcionamiento de las cámaras utilizadas para el trabajo fueron satisfactorios. El fototrampeo es una herramienta muy útil en el estudio de los animales que se encuentran en grandes extensiones, o son esquivos, no sólo para detectar su presencia sino para analizar sus comportamientos e interacciones de forma natural. Anteriormente, los estudios etológicos se basaban en la observación directa, difícil y poco productiva pues causaba alteraciones en los animales, dada la presencia humana (en mayor o menor medida). Hoy, las cámaras trampa permiten una observación sin interferir en el comportamiento normal de los animales, si bien hay que mencionar las molestias que puede provocar el dispositivo flash, recomendable sólo cuando es estrictamente necesario y se requieren fotos de alta calidad (Lyra-Jorge *et al.*, 2008).

En el caso concreto del ganado de lidia, que desarrollan respuestas evasivas ante la presencia humana, la posibilidad de utilizar cámaras de fototrampeo abre una nueva puerta al conocimiento científico de su comportamiento en campo pudiendo complementarlo con otras metodologías como la monitorización GPS-GPRS (Alonso *et al.*, 2008; Lomillos *et al.*, 2017). La colocación de las cámaras en puntos concretos como rascaderos (Karanth y Nichols, 2011), puntos de agua (Ballouard *et al.*, 2016) o comida nos pueden aportar una información etológica muy valiosa (Zielinski y Kucera, 1995).

Estudio del patrón de bebida en machos (cercado 1)

En la Figura 1 se muestra el número de animales fotografiados en el bebedero consumiendo agua o en su entorno, realizando cualquier otro patrón de comportamiento: pastando, de paso, patrones agonísticos, sociales, etc., como ya se explicará posteriormente, en función de las horas del día.

El uso de los bebederos muestra que el horario de ingesta de agua es muy similar en los cinco meses de estudio, destacando dos picos de ingesta de agua durante todo el estudio bastante marcados, de manera que el 68,43 % de la suma de los animales bebieron durante los mismos. Estos picos correspondían a los intervalos de las 12:00 a las 14:59 y de las 18:00 a las 20:59. La existencia de un patrón circadiano con momentos de mayor utilización de los bebederos se hace evidente, suponiendo los periodos de las 12:00 a las 15:59 un 27,37 % y de las 18:00 a las 20:59 un 41,06 % del total, alcanzándose el máximo a las 14:00 y a las 19:00.

Los resultados son similares a otros trabajos donde la mayor parte del agua consumida a lo largo del día se produce pocas horas después de la ingesta de alimento (Gibson, 1981; Adams *et al.*, 1983). El 68,43 % de los episo-

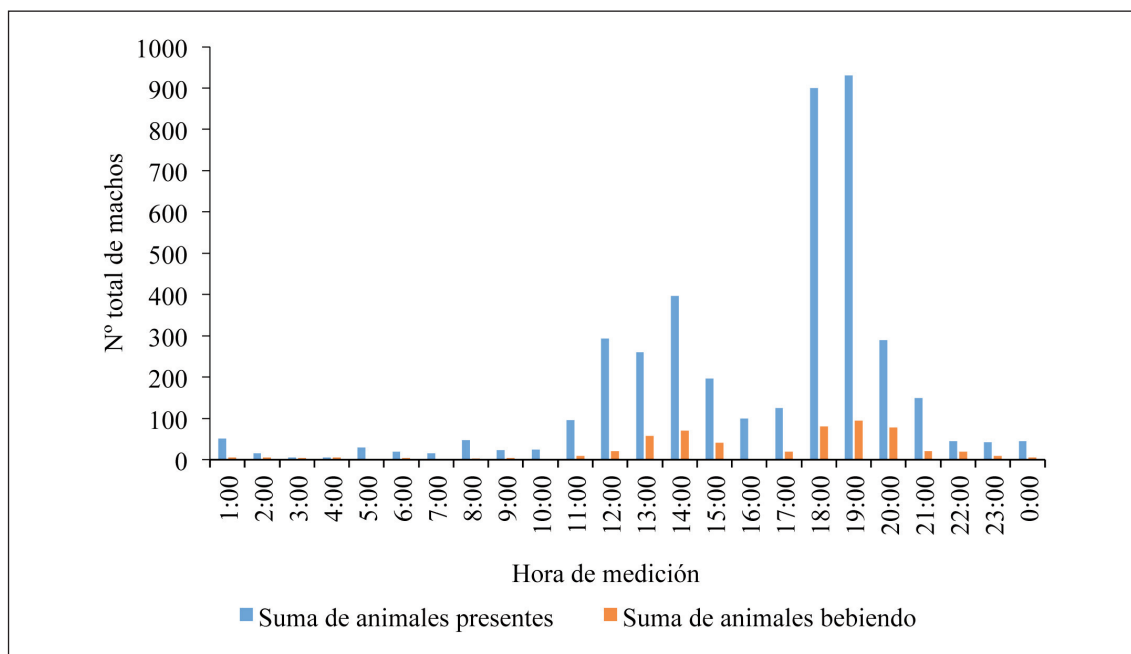


Figura 1. Número total de machos del cercado 1 durante el periodo completo de estudio bebiendo y presentes en el entorno del bebedero a lo largo del día.

Figure 1. Total number of males in enclosure 1 throughout the study period drinking and present in the vicinity of the water trough throughout the day.

dios de bebida tuvo lugar en las dos horas posteriores a los periodos de administración de concentrado (12:00-13:59 y 18:00-19:59), siendo este porcentaje superior a la información publicada por Andersson (1987). Por otra parte, la relación de ingesta de concentrado con un consecuente aumento de la osmolaridad del contenido ruminal podría generar deshidratación (Scott *et al.*, 2011), lo que podría incitar al consumo de agua para disminuir dicha osmolaridad.

El mayor consumo registrado de agua durante el periodo de la tarde se ha visto ya en anteriores estudios con ganado bovino extensivo, donde es muy común la administración de comida durante las primeras horas de la mañana y las últimas de la tarde incluso llegando a comer el doble de alimento por la tarde que por la mañana y además la mayo-

ría de la ingesta de agua se lleva a cabo en las horas vespertinas (Rossi *et al.*, 1998). Estos hallazgos sugieren que la potencia de saciedad de comida al atardecer es menor que en la mañana, hecho que pudiera estar relacionado con un incremento de la dilución del fluido ruminal posterior al aumento de la ingesta de agua durante el periodo de la tarde, ya que los osmorreceptores ruminales parecen estar implicados en el control de la alimentación (Carter y Grovum, 1990; Grovum, 1995).

Estudio del patrón de bebida en hembras (cercados 2 y 3)

En las Figuras 2 y 3 se presentan los datos de las vacas que fueron fotografiadas bebiendo o en el entorno próximo al bebedero, distribuidas por horas, durante el periodo de es-

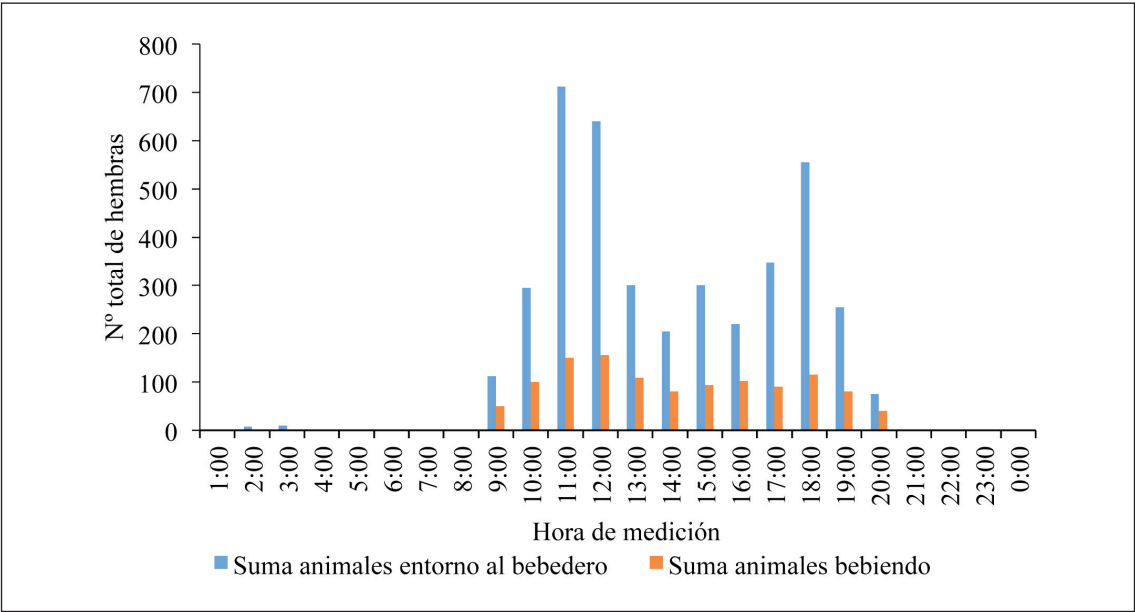


Figura 2. Número total de hembras del cercado 2 durante el periodo completo de estudio bebiendo y presentes en el entorno del bebedero a lo largo del día.
Figure 2. Total number of females in enclosure 2 throughout the study period drinking and present in the vicinity of the water trough throughout the day.

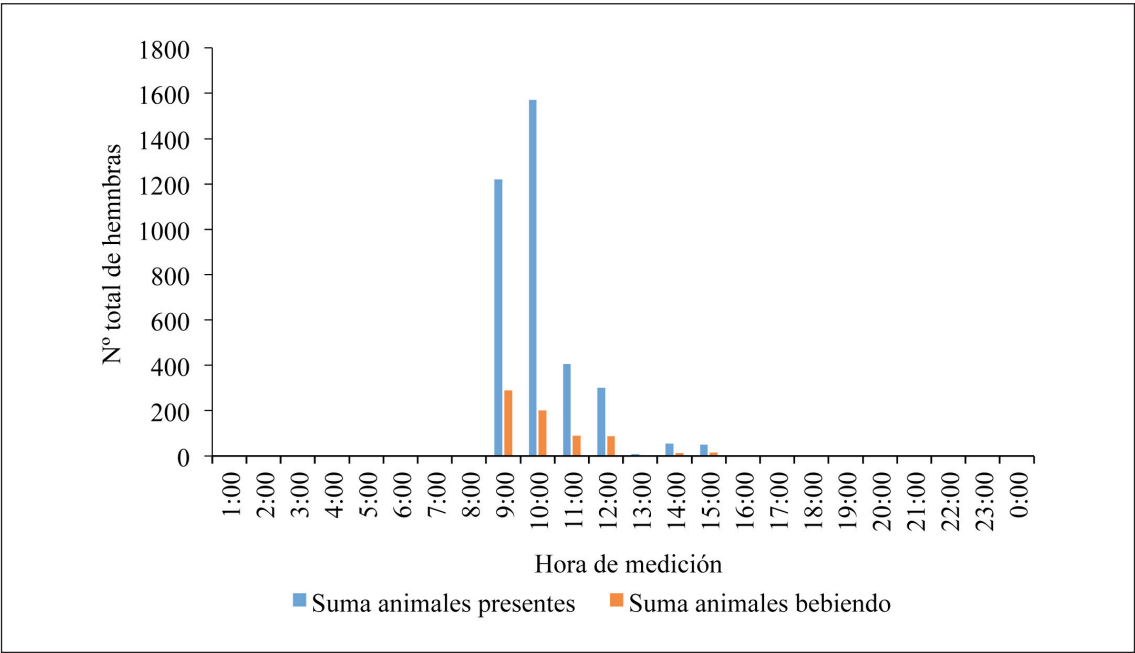


Figura 3. Número total de hembras del cercado 3 bebiendo y presentes en el entorno del bebedero durante las distintas horas del día en el periodo sin suplementación de concentrado.
Figure 3. Total number of females in enclosure 3 throughout the study period without supplementation drinking and present in the vicinity of the water trough throughout the day.

tudio. La existencia de un patrón circadiano con momentos de mayor utilización de los bebederos resulta evidente en ambas figuras, alcanzándose el valor máximo de animales bebiendo a las 11:00 y a las 18:00 en el caso del cercado 2 con suplementación de concentrado (Figura 2) y a las 10:00 en el cercado 3, sin suplementación (Figura 3).

Como se ha visto en el cercado 1 y se repite en el cercado 2, la mayor parte del agua ingerida a lo largo del día es consumida pocas horas después de la ingesta de alimento concentrado. Los episodios de bebida tuvieron lugar en las dos horas posteriores a los periodos de administración de concentrado demostrando la relación existente entre la ingesta de alimento (concentrado) y de agua (Scott *et al.*, 2011), por ello, resulta de gran importancia que los animales dispongan de agua después de la toma de la mañana para que no sea factor limitante de la ingestión de más alimento concentrado en la siguiente administración.

Igualmente, se comprueba que el ritmo circadiano de ingestión de agua se vio influido en gran medida por la suplementación con concentrado dado que en el cercado 3, sin suplementación (Figura 3), registra un único pico de bebida durante el período matinal, lo cual concuerda, en parte, con los resultados obtenidos por Rossi *et al.* (1999), que indican que bajo condiciones de alimentación *ad libitum*, los picos de ingesta de alimentos y de agua se producen en la primera hora de la fase de luz y la primera hora de la fase oscura. Sin embargo, en este caso no se observa ningún acontecimiento de ingesta de agua al inicio de la fase oscura, como ocurre en el estudio de Rouda *et al.* (1994), donde la mayoría de las vacas solo necesitan una única ingestión de agua al día, quizá influido por la no suplementación (MacLusky, 1959). Como se puede observar en la Figura 3, durante el pico de mayor ingesta de agua, se registra una gran diferencia entre los animales que beben y los animales registrados en la zona. Esto puede ser debido a las reducidas dimen-

siones del bebedero que no son suficientes para la cantidad de animales que pretender beber al mismo tiempo o bien a la presencia frecuente de hielo en el bebedero durante las primeras horas de la mañana, lo cual limita de forma muy importante el acceso al agua, y la eficacia de la ingestión, y dado que los animales se rigen en este caso principalmente por su ritmo circadiano más que por las características del agua, sería muy recomendable vigilar este aspecto. De igual manera se observa una posible relación entre el número de visitas a los abrevaderos, la duración del tiempo de bebida y probablemente con el volumen de agua consumido, aunque en este estudio no ha podido ser calculado (Lardner *et al.*, 2013).

Relación entre la radiación solar y el consumo de agua

La radiación solar media durante el estudio, representada en la Figura 4 es de 158 W/m², presentando un valor máximo de 341 W/m² a las 12:00 y un mínimo de 0 W/m² durante el periodo de noche. El tramo de día en el que se registra el mayor número de visitas los bebederos se producen durante las horas en las que la radiación solar supera el valor de 0 W/m².

En la Figura 4 está representado el número de animales y los datos ambientales tomados a cada hora durante los días de estudio, donde se observa un mayor número de entradas al bebedero durante la mañana y una actividad repartida durante la tarde, registrándose una actividad máxima a las 18:00 de los cercados 1 y 2.

A pesar de que la radiación solar fue mínima entre las 18:00 y las 7:00, se puede observar una gran actividad en el bebedero de los cercados 1 y 2 durante las primeras horas de la tarde, que registraron radiación solar mínima 18:00 y 19:00, posiblemente influida por la suplementación de pienso vespertina, como se ha comentado anteriormente.

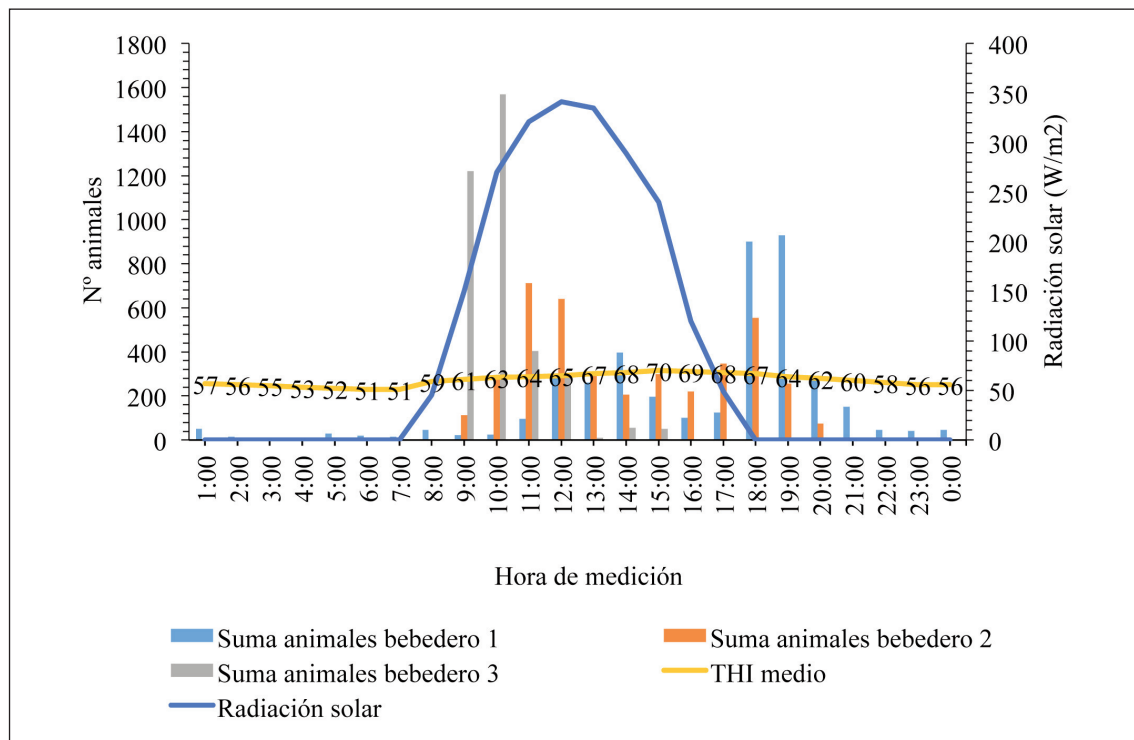


Figura 4. Presencia de animales en cada uno de los tres bebederos, radiación solar media y THI medio de la finca a cada hora durante el periodo de estudio.

Figure 4. Presence of animals in each of the three water trough, average solar radiation and average THI of the farm at each hour during the study period.

El valor medio de THI por hora es de 60,12; con un valor máximo de 70,37 a las 16:00, coincidiendo con la temperatura máxima y la humedad mínima, y un valor mínimo de 51,2 a las 6:00, coincidiendo con la temperatura mínima y la humedad máxima. Durante las horas diurnas el THI medio es de 61,8.

Como se observa, la mayoría de los animales ingieren agua durante las horas de mayor luminosidad y por tanto mayor temperatura (Mullick *et al.*, 1952; Roy *et al.*, 1969; Wilson, 1974), de acuerdo con anteriores estudios que han reflejado una correlación positiva entre el consumo de agua y la temperatura ambiente media diaria (Hyder *et al.*, 1968). Hicks *et al.* (1988) indicaron en su estudio que por cada grado que subía la temperatura

máxima diaria el consumo de agua aumentaba en 0,71 l, datos recogidos durante el verano que es cuando las temperaturas altas generan mayores ingestiones de agua para satisfacer el estrés térmico del animal. Si bien en nuestro estudio la actividad en el bebedero se ha registrado principalmente a lo largo de las horas en las que el régimen de insolación es superior a 0 W/m², esto indica de nuevo que la ingesta de agua es un comportamiento mayoritariamente diurno (Osborne *et al.*, 2002).

Estos comportamientos indican que los valores elevados de radiación acentúan las respuestas fisiológicas y etológicas, como la evaporación, refugiarse en la sombra o beber (Tucker *et al.*, 2008).

La distribución de la presencia de animales está condicionada principalmente por la administración de suplemento. Durante las horas posteriores a la administración es cuando los animales ingieren más agua al igual que sucedió en los estudios de Cardot *et al.* (2008) y Osborne *et al.* (2002) donde un 34,5 % del total de agua consumida al día fue ingerida en las 2 h posteriores a los episodios de suplementación. A pesar de ello, la temperatura visiblemente superior en la primera fase afecta al patrón de utilización del bebedero. Esto se debe a que en condiciones de "comfort", entre 5 y 21 °C (Meyer y Lebzien, 2004), el incremento de cada grado centígrado causa un aumento de la ingesta de entre 0,5 y 1,2 l (Murphy *et al.*, 1983). A lo largo del mes de septiembre la temperatura durante algunas horas alcanzó cifras superiores a 21 °C, aumentando la posibilidad de que los animales sufran estrés térmico (Ali *et al.*, 1994) y llegando a registrarse valores de THI próximos a la categoría de alerta. Así mismo, el grado de actividad en el abrevadero fue su-

perior con respecto a octubre, y los momentos de máxima actividad coinciden con los valores de THI más elevados como sucede en el trabajo de González *et al.* (2010), lo cual no se observa durante octubre y diciembre. Según nuestros resultados, la temperatura superior a 20 °C ejerce influencia sobre el comportamiento de ingesta de agua.

Otros patrones de comportamiento de los toros en su actividad relacionada con la ingesta de agua

Como puede observarse en las Figuras 5, 6 y 7, la actividad de los animales en los momentos de ingesta de agua o cuando se encontraban próximos al bebedero ha sido notable, siendo superior en el periodo vespertino en los machos con respecto a los picos de bebida del mediodía. Los principales patrones de comportamiento que se han observado han sido: agonísticos (lucha y amenaza) y sociales (mugidos, montas, lamidos, rascarse contra árboles, olfatear suelo, estructuras, árboles).

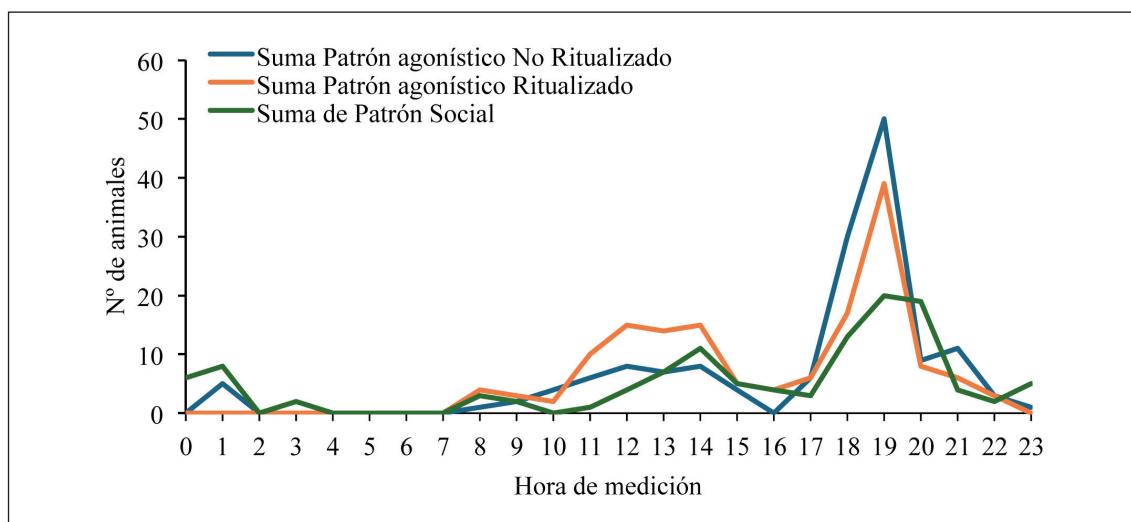


Figura 5. Patrones de comportamiento durante la ingesta de agua o en el entorno del bebedero a lo largo de las horas del día en el cercado 1.

Figure 5. Behaviour patterns during water intake or in the vicinity of the water trough throughout the day in enclosure 1.

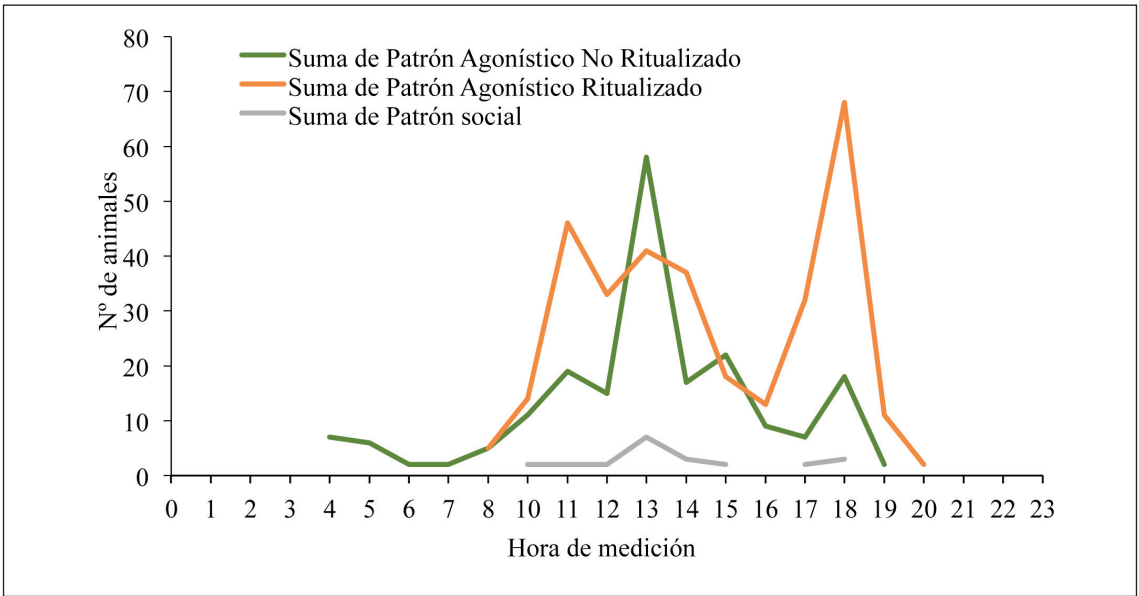


Figura 6. Patrones de comportamiento durante la ingesta de agua o en el entorno del bebedero durante las distintas horas en el cercado 2.

Figure 6. Behaviour patterns during water intake or in the vicinity of the water trough throughout the day in enclosure 2.

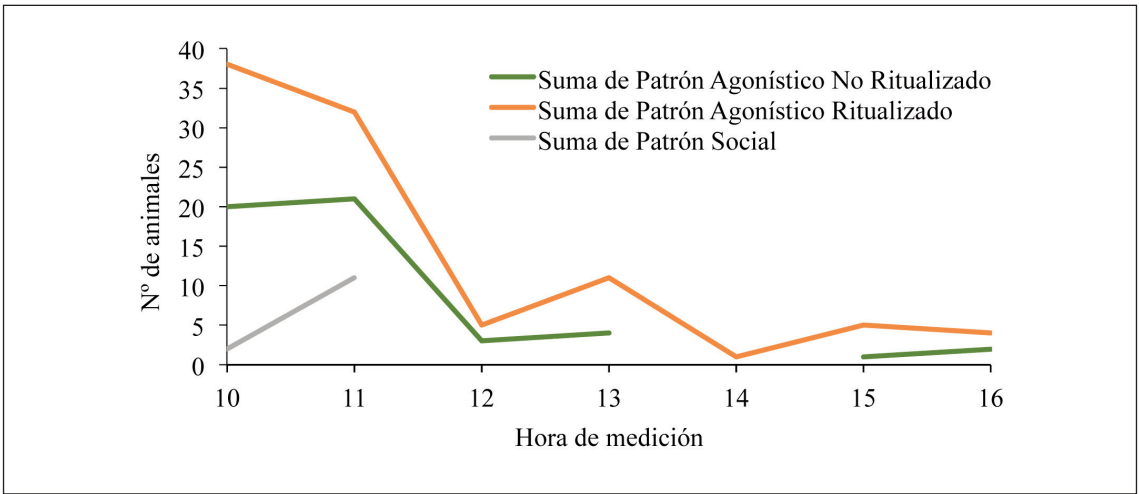


Figura 7. Patrones de comportamiento durante la ingesta de agua o en el entorno del bebedero durante las distintas horas en el cercado 3.

Figure 7. Behaviour patterns during water intake or in the vicinity of the water trough throughout the day in enclosure 3.

Dentro de los patrones agonísticos hemos hecho distinción entre los comportamientos agonísticos ritualizados, que son aquellos en los que no hay contacto físico, sino que los animales empleando su lenguaje corporal mediante amenazas y evitamientos afirman y mantienen el rango dentro de su jerarquía social, y los no ritualizados, que son aquellos en los que hay contacto físico (peleas, golpes y luchas).

La ingesta de agua se realiza normalmente por grupos de animales, rara vez se veía a uno solo en la zona del bebedero, tal y como indica Lardner *et al.* (2013), por lo que la interacción entre ellos también vino reflejada en las fotografías que registraron gran variedad de patrones etológicos.

La jerarquía social dentro del rebaño es uno de los factores importantes relacionado con la ingesta de agua (Bouissou, 1965), los animales que permanecen en los puestos superiores del rango social tienen ventajas en situaciones competitivas como por ejemplo en el acceso a la comida o bebida (Konggaard y Krohn, 1975), y sobre todo cuando éste está limitado (Hötzel *et al.*, 2003). Cuando el consumo de agua es restringido, es decir, no tienen acceso al agua de forma permanente, se pueden observar cambios comportamentales, como un aumento en el nivel de agresión, más tiempo empleado junto al abrevadero y la ingestión de toda el agua disponible en los primeros 60 min (Boxberger y Zips, 1979; Andersson y Lindgren, 1987). En nuestro trabajo, se observa un aumento de los patrones agonísticos durante los periodos de mayor ingesta de agua, aunque no creemos que exista un gran problema, ya que hemos captado momentos de bebida con hasta 6 animales

bebiendo al mismo tiempo, tanto en machos como en hembras (Figura 8). Las peleas no fueron abundantes puesto que, en nuestro caso, los animales disponían de agua a libre disposición durante todo el día, al contrario que en el estudio de Hötzel *et al.* (2003), donde sí constituían un problema.

En el cercado 3, el único sin suplementación alimentaria (Figura 7), la suma de patrones observados es fundamentalmente durante las mañanas que es cuando se ha comprobado que usan el bebedero.

Dada la difícil identificación individual de los toros, no es posible saber si los toros situados en una posición más elevada del rango social consumieron más agua que los subordinados, como indican Andersson y Lindgren (1987).

Muchas confrontaciones entre los animales causan posiblemente estrés en estos, por lo que, si el agua pudiera ser suministrada de manera que todos los individuos bebieran tranquilamente, esto implicaría una mejor gestión, por ello los bebederos con la mayor superficie de agua disponible pueden ser una buena solución (Coimbra *et al.*, 2010). En el caso de las vacas objeto de nuestro estudio, al ser un número más elevado, el mayor tiempo de espera podría afectar especialmente a los animales subordinados, tal y como sucede en vacuno lechero (McDonald *et al.*, 2020). La repercusión en el ganado bravo podría ser también importante, ya que no solo se ve afectado su bienestar, sino que la reducción en el tiempo de ingesta de alimento podría disminuir el potencial de crecimiento y desarrollo, impidiendo realizar el tentadero en condiciones óptimas, con la consiguiente pérdida de potencial genético para la ganadería (Lomillos *et al.*, 2013).

8A



8B



Figura 8. Seis animales bebiendo al mismo tiempo. 8A: machos; 8B: hembras.
Figure 8. Six animals drinking at the same time. 8A: males; 8B: females.

Conclusiones

1. El fototrampeo es un buen método para el estudio del comportamiento de animales en sistemas de producción extensivos, ya que las cámaras no influyen en la etología normal de los animales.
2. Se comprueba la existencia de un patrón circadiano con intervalos marcados de utilización de los bebederos por parte de los animales de la raza bovina de lidia estudiados, siendo ocasional el resto de episodios de bebida.
3. Se observa una clara relación entre los periodos de suplementación de la alimentación y los patrones de ingesta de agua, siendo notoria la influencia del aporte de concentrado y más intensa la actividad en las horas vespertinas.
4. La radiación solar, la temperatura ambiental y la humedad relativa influyen sensiblemente en el comportamiento de ingestión de agua del bovino de lidia.
5. No se detectan interacciones agonísticas elevadas entre de los animales por el acceso al agua, lo cual nos hace pensar que los bebederos estudiados tienen una posición y dimensiones correctas para su uso en ganado de lidia, existiendo espacio suficiente para la bebida de varios animales a la vez.

Declaración de autoría

- Juan Lomillos: conceptualización, curación de datos, análisis formal, redacción – borrador original y edición.
- Marta Elena Alonso: conceptualización, curación de datos, análisis formal, redacción – revisión y edición.

Agradecimientos

Queremos agradecer las facilidades dadas por la ganadería donde se realizó este estudio y el trabajo de los becarios de investigación: Gutiérrez, A, Apellaniz, B. y Bravo, V.M. del Departamento de Producción Animal de la Universidad de León, donde realizaron una labor investigadora que ha contribuido al presente artículo.

Referencias bibliográficas

- Adams G.B., Jones R., Forbes J.M. (1983). Voluntary intake and growth of lambs offered fresh food one or four times per day. *Animal Production* 36: 508.
- Albright J. (1993). Feeding behavior of dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 76: 485-498. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(93\)77369-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(93)77369-5)
- Ali S., Goonewardene L.A., Basarab J.A. (1994). Estimating water consumption and factors affecting intake in grazing cattle. *Canadian Journal of Animal Science* 74: 551-554. <https://doi.org/10.4141/CJAS94-077>.
- Alonso M.E., Lomillos J.M., Bartolomé D.J., García J.J., Aparicio Tovar M.A., Gaudioso V.R. (2008). Use of GPS position and GPRS communication technologies to record spatial behaviour in extensive, aggressive spanish cattle. *Processing of the 42nd congress of the ISAE*, 5-9 agosto, Dublin, Irlanda, pp. 171.
- Andersson M. (1987). Effects of number and location of water bowls and social rank on drinking behaviour and performance of loose-housed dairy cows. *Applied Animal Behaviour Science* 17: 19-31.
- Andersson M., Lindgren K. (1987). Effects of restricted access to drinking at feeding and social rank, on performance and behaviour of tied-up dairy cows. *Swedish Journal of Agricultural Research* 17: 77-83.
- Ballouard J.M., Bonnet X., Gravier C., Ausanneau M., Caron S. (2016). Artificial water ponds and camera trapping of tortoises, and other verte-

- brates, in a dry Mediterranean landscape. *Wildlife Research* 43 (7):533-543. <https://doi.org/10.1071/WR16035>.
- Beaver E.E., Williams J.E., Hannah S.M., Miller S.J. (1989). Influence of breed and environment on DM digestibility, water consumption, ruminal and blood parameters for Brangus and Angus steers. *Nutrition Reports International* 40(4): 831-842.
- Bouissou M.F. (1965). Observation sur la hiérarchie sociale chez les bovins domestiques. *Annales de Biologie Animale Biochimie Biophysique* 5: 327-339.
- Boxberger J., Zips A. (1979). Investigation of the intake of drinking water by dairy cattle with loose housing. *Landtechnik* 34(7/8): 361-364.
- Brew M.N., Myer R.O., Hersom M.J., Carter J.N., Elzo M.A., Hansen G.R., Riley D.G. (2011). Water intake and factors affecting water intake of growing beef cattle. *Livestock Science* 140: 297-300. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2011.03.030>.
- Cardot V., Le Roux Y., Jurjanz S. (2008). Drinking behaviour of lactating dairy cows and prediction of their water intake. *Journal of Dairy Science* 91(6): 2257-2264. <https://doi.org/10.3168/jds.2007-0204>.
- Carter R.R., Grovum W.L. (1990). A review of the physiological significance of hypertonic body fluids on feed intake and ruminal function: salivation, motility and microbes. *Journal of Animal Science* 68: 2811-2832. <https://doi.org/10.2527/1990.6892811x>.
- Coimbra P.A.D., Machado Filho L.C.P., Nunes P.A., Hötzel M.J., de Oliveira A.G.L., Cecato U. (2010). Effect of water trough type on the drinking behaviour of pasture-based beef heifers. *Animal* 4(1): 116-121. <https://doi.org/10.1017/S1751731109990930>.
- Gibson J.P. (1981). The effects of feeding frequency on the growth and efficiency of food utilization of ruminants: an analysis of published results. *Animal Science* 32: 275-283. <https://doi.org/10.1017/S0003356100027173>.
- González A.V., May V., Catracchia C.G., Herrero M.A., Flores M., Mazzini M. (2010). Influence of water temperatura and heat stress on drinking water intake in dairy cows. *Chilean Journal of Agricultural Research* 70(2): 328-336. <https://doi.org/10.4067/S0718-58392010000200017>.
- Grout A.S., Veira D.M., Weary D.M., Von Keyserlingk M.A.G., Fraser D. (2006). Differential effects of sodium and magnesium sulfate on water consumption by beef cattle. *Journal of Animal Science* 84: 1252-1258. <https://doi.org/10.2527/2006.8451252x>.
- Grovum W.L. (1995). Mechanisms explaining the effects of short chain fatty acids on feed intake in ruminants osmotic pressure, insulin and glucagon. En: *Ruminant Physiology: Digestion, Metabolism, Growth and Reproduction* (Ed. Engelhardt, W.V., Leonhard-Marek, S., Breves G, Giesecke D.) pp. 173-197. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart.
- Hicks R.B., Owens F.N., Gill D., Martin J.J., Strasia C.A. (1988). Water intake by feedlot steers. *Animal Science Research Report* 125: 208-212.
- Hötzel M.J., Machado Filho L.C.P., Teixeira D.L., Coimbra P.A.D., Yunes M.C., Dinon P.S.L., Lopes E.J.C., Munari R., Wolf F.M., Sudoski V. (2003). Effects of physiological state on water consumption of water-restricted dairy cows. 9th World Conference on Animal Production, Porto Alegre, pp. 232-234.
- Hyder D.N., Bement R.E., Norris J.J. (1968). Sampling requirements of the water-intake method of estimating forage intake by grazing cattle. *Journal of Range Management* 21: 392-397. <https://doi.org/10.2307/3896088>.
- Karanth K.U., Nichols J.D. (2011). Estimating tiger abundance from Camera Trap Data: field surveys and analytical issues. En: *Camera Traps in Animal Ecology* (Ed. O'Connell, A.F., Nichols, J.D., Karanth, K.U.), pp. 97-117 Springer, Tokyo. https://doi.org/10.1007/978-4-431-99495-4_7
- Konggaard S.P., Krohn C.C. (1975). Investigations concerning feed intake and social behaviour among group-fed cows under loose housing conditions. I. Factors influencing the individual beet intake when fed on a restrictive basis. *Beretning fra Statens Husdyrbrugsforsøg* 425, 25 pp.
- Lampkin G.H., Quarterman J., Kinder M. (1958). Observations on the grazing habits of grade and Zebu steers in a high altitude temperatu-

- re climate. *The Journal of Agricultural Science* 50: 211-218. <https://doi.org/10.1017/S0021859600031051>
- Lardner H.A., Braul L., Schwartzkopf-Genswein K., Schwan-Lardner K., Damiran D., Darambazar E. (2013). Consumption and drinking behavior of beef cattle offered a choice of several water types. *Livestock Science* 157: 577-585. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2013.08.016>.
- Lomillos J.M., Alonso M.E., Sánchez-García C., Gaudio V.R. (2012). Evolución del sector de la producción del toro de lidia en España. censos y ganaderías. *ITEA Información Técnica Económica Agraria* 108(2): 207-221.
- Lomillos J.M., Alonso M.E., Gaudio V.R. (2013). Análisis de la evolución del manejo en las explotaciones de toro de lidia. *Desafíos del sector. ITEA Información Técnica Económica Agraria* 109(1): 49-68.
- Lomillos J.M., Alonso M.E., García J.J., Gaudio V.R. (2017). Monitoring Lidia cattle with GPS-GPRS technology, a study on grazing behaviour and spatial distribution. *Veterinaria México OA* 4(4). <https://doi.org/10.21753/vmoa.4.4.405>.
- Lyra-Jorge M.C., Ciocheti G., Pivello V.R., Meirelles S.T. (2008). Comparing methods for sampling large- and medium-sized mammals: camera traps and track plots. *European Journal Wildlife Resources* 54: 739-744. <https://doi.org/10.1007/s10344-008-0205-8>.
- MacLusky D.S. (1959). Drinking habits of grazing cows. *Agriculture, London* 66: 383-386.
- McDonald P.V., von Keyserlingk M.A.G., Weary D.M. (2020). Hot weather increases competition between dairy cows at the drinker. *Journal of Dairy Science* 103: 3447-3458. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17456>.
- Meyer U., Lebzien P. (2004). Investigations on the protein requirement of fattening bulls of the spotted black and white German Holstein breed. *Landbauforschung Völkenrode* 54(3): 145-151.
- Meyer R.U., Stahl W., Flachowsky G. (2006). Investigations on the water intake of growing bulls. *Livestock Science* 103: 186-191. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2006.02.009>
- Mullick D.N., Murty V.N., Kehar N.D. (1952). Seasonal variations in the feed and water intake of cattle. *Journal of Dairy Science* 11(1): 42-49. <https://doi.org/10.2527/jas1952.11142x>
- Murphy M.R., Davis C.L., McCoy G.C. (1983). Factors affecting water consumption by Holstein cows in early lactation. *Journal of Dairy Science* 66(1): 35-38. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(83\)81750-0](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(83)81750-0).
- Olivares B.O., Guevara E., Oliveros Y., López L. (2013). Aplicación del índice de confort térmico como estimador del estrés calórico en la producción pecuaria de la Mesa de Guanipa, Anzoátegui, Venezuela. *Zootecnia Trop* 31(3): 209-223.
- Osborne V.R., Hacker R.R., Mc Bride B.W. (2002). Effects of heated drinking water on the production responses of lactating Holstein and Jersey cows. *Canadian Journal of Animal Science* 82(3): 267-273. <https://doi.org/10.4141/A01-055>.
- Pandey H.N., Nivsarkar A.E., Jana D.N., Joshi H.C., Nautiyal L.P. (1989). Drinking water requirement of lactating crossbred cows during summer under free choice feeding system. *Indian Journal of Animal Production and Management* 5: 61-66.
- Ray D.E. (1989). Interrelationships among water quality, climate and diet on feedlot performance of steer calves. *Journal of Animal Science* 67: 357-363. <https://doi.org/10.2527/jas1989.672357x>
- Rowcliffe J.M., Field J., Turvey S.T., Carbone C. (2008). Estimating animal density using camera traps without the need for individual recognition. *Journal of Applied Ecology* 45: 1228-1236. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2008.01473.x>
- Rossi R., Del Prete E., Rokitzky J., Scharrer E. (1998). Effects of a high NaCl diet on eating and drinking patterns in pygmy goats. *Physiology & Behavior* 63: 601-604. [https://doi.org/10.1016/S0031-9384\(97\)00490-3](https://doi.org/10.1016/S0031-9384(97)00490-3)
- Rossi R., Del Prete E., Rokitzky J., Scharrer E. (1999). Circadian drinking during ad libitum and restricted feeding in pygmy goats. *Applied Animal Behaviour Science* 61: 253-261. [https://doi.org/10.1016/S0168-1591\(98\)00191-9](https://doi.org/10.1016/S0168-1591(98)00191-9).

- Rouda R.R., Anderson D.M., Wallace J.D., Murray L.W. (1994). Free-ranging cattle water consumption in southcentral New Mexico. *Applied Animal Behaviour Science* 39: 29-38. [https://doi.org/10.1016/0168-1591\(94\)90013-2](https://doi.org/10.1016/0168-1591(94)90013-2)
- Roy C.R., Rao N., Sadhu D.P. (1969). Effect of climate on the metabolism of nutrients in growing Haryana cattle. 2. Water metabolism. *Indian Journal of Dairy Science* 22: 254-258.
- Sánchez-García C., Armenteros J.A., Alonso M.E., Larsen R.T., Lomillos J.M., Gaudioso V.R. (2012). Water-site selection and behaviour of red-legged partridge *Alectoris rufa* evaluated using camera trapping. *Applied Animal Behaviour Science* 137: 86-95. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2012.01.013>
- Scott P.R., Penny C.D., McRae A.I. (2011). Cattle medicine. Manson Publishing Ltd/ The Veterinary Press. V2. UK <https://doi.org/10.1201/b15179>
- Sekine J., Morita Z., Oura R., Asahida Y. (1989). Water-drinking frequency and quantity of water drunk by steers fed hay or fresh forage. *Animal Feed Science and Technology* 25(1-2): 207-211. [https://doi.org/10.1016/0377-8401\(89\)90121-1](https://doi.org/10.1016/0377-8401(89)90121-1)
- Sneva F.A., Rittenhouse L.R., Foster L. (1973). Stock-water restriction and trailing effects on animal gain, water drunk, and mineral consumption. Water-animal relations. Symposium held at Twin Falls, June 1973., Kimberly, Idaho, USA. pp. 34-48.
- Srbek-Araujo A.C., Chiarello A.G. (2005). Is camera-trapping an efficient method for surveying mammals in Neotropical forests? A case study in South-Eastern Brazil. *J Journal of Tropical Ecology* 21(1): 121-125. <https://doi.org/10.1017/S0266467404001956>.
- Tucker C.B., Rogers A.R., Schütz K.E. (2008). Effect of solar radiation on dairy cattle behaviour, use of shade and body temperature in a pasture-based system. *Applied Animal Behaviour Science* 109: 141-154. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2007.03.015>.
- Wilson A.D. (1974). Water consumption and water turnover in sheep grazing semi-arid pasture communities in New South Wales. *Australian Journal of Agricultural Research* 25: 339-347.
- Wilson A.D. (1975). Influence of water salinity on sheep performance while grazing on natural grassland and saltbush pastures. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 15: 760-765.
- Zielinski W.J., Kucera T.E. (1995). American Marten, Fisher, Lynx and Wolverine: Survey methods for their detection. General Technical ReportsPSW GTR- 157. Pacific Southwest Research Station, Forest Service, U.S. Department of Agriculture. Albany, CA, USA. 163 pp.

(Aceptado para publicación el 18 de julio de 2025)

Caracterización de los parámetros productivos, calidad de la canal y la carne de terneros frisonos

Rubén Domínguez-Valencia^{1,*}, Laura Purriños¹, Roberto Bermúdez¹, Francisco Bello², Luis García² y Francisco Estévez³

¹ Centro Tecnológico de la Carne, Avenida Galicia 4, Parque Tecnológico de Galicia, San Cibrao das Viñas, 32900 Ourense.

² Asociación Agraria de Galicia – ASAGA, Praza Carlos Casares Mouriño, 7 – Entrep. 15707 Santiago de Compostela, A Coruña.

³ Gudiagro S.L., Mesón de Erosa, A Gudiña, 32540 Ourense.

Resumen

La creciente demanda mundial de carne de vacuno está propiciando que se exploren diversas estrategias para poder aumentar la producción de carne. El presente estudio se centró en caracterizar los parámetros productivos y de crecimiento, las características de la canal y la composición química y características fisicoquímicas de la carne de terneros frisonos criados en intensivo y sacrificados a una edad temprana. Los resultados mostraron que los terneros, sacrificados a 258 días (8,6 meses) tuvieron un peso vivo de 317 kg, con ganancias diarias de 1,16 kg/día y un índice de conversión de 4,09. Las canales resultantes pesaron 161 kg, con un rendimiento del 50,7 %, una conformación "O" y un grado de engrasamiento "2". Por otro lado, la carne resultante fue muy magra (grasa 1,21 g/100 g), con un contenido proteico elevado (22,22 g/100 g). El pH de la carne mostró que el manejo durante el cebo y el sacrificio fue el correcto, no presentando defectos en ninguno de los casos. El color de la carne, con una tonalidad rosa intensa, y la textura, con valores de una carne "muy tierna" mostraron que estamos ante una carne atractiva para el consumidor. Finalmente, tanto el perfil de ácidos grasos como el contenido en colesterol estuvo en consonancia con los valores observados normalmente en vacuno. Como conclusión general, se puede afirmar que el sistema de cebo de terneros frisonos propuesto proporciona unos parámetros productivos aceptables, obteniendo una carne de excelente calidad.

Palabras clave: Terneros frisonos, ácidos grasos, índices productivos, composición química, parámetros fisicoquímicos, contenido en colesterol.

Characterization of the productive parameters, carcass and meat quality of Friesian calves

Abstract

The growing global demand for beef is leading to the exploration of various strategies to increase meat production. The present study focused on characterizing the productive and growth parameters, car-

* Autor para correspondencia: rubendominguez@ceteca.net

Cita del artículo: Domínguez-Valencia R., Purriños P., Bermúdez R., Bello F., Luis García L., Estévez F. (2025). Caracterización de los parámetros productivos, calidad de la canal y la carne de terneros frisonos. ITEA-Información Técnica Económica Agraria 121(3): 258-275. <https://doi.org/10.12706/itea.2025.008>



cass characteristics, chemical composition, and physicochemical characteristics of the meat of Friesian calves raised intensively and slaughtered at a young age. The results showed that the calves, slaughtered at 258 days (8.6 months) had a live weight of 317 kg, with daily gains of 1.16 kg/day and a feed conversion rate of 4.09. The carcasses weighed 161 kg, with a carcass yield of 50.7 %, an "O" conformation, and a degree of fattening "2". On the other hand, the meat was very lean (fat 1.21 g/100 g), with a high protein content (22.22 g/100 g). The pH of the meat showed that both the handling during fattening and slaughter were correct, with no defects in any of the cases. The colour of the meat, with an intense pink hue, and the texture, with values of a "very tender" meat, showed that this is an attractive meat for the consumer. Finally, both the fatty acid profile and the cholesterol content were in line with the values normally observed in beef. As a general conclusion, it can be stated that the proposed Friesian calf fattening system provides acceptable productive parameters, obtaining meat of excellent quality.

Keywords: Friesian calves, fatty acids, productive indices, chemical composition, physico-chemical parameters, cholesterol content.

Introducción

La demanda mundial de carne vacuna está aumentando, tanto de animales vivos como de carne. Se espera que las exportaciones de carne de la Unión Europea (UE) mejoren hasta el 2031, con un incremento del 0,6 % anual. A pesar de que la demanda aumenta, se prevé una caída del 8 % de la producción bruta de carne de vacuno de la UE entre 2021 y 2031, y su consumo podría bajar en Europa de 10,6 kg a 9,7 kg per cápita (Comisión Europea, 2021).

En la UE, la carne de vacuno se produce en dos tipos de explotaciones: i) explotaciones ganaderas especializadas con vacas nodrizas o bovinos jóvenes; y ii) granjas lecheras donde la producción de carne es un subproducto de la producción de leche, representando estas últimas dos tercios de la cabaña bovina (Domaradzki et al., 2017).

Las zonas montañosas del norte de España se dedican tradicionalmente a la producción de carne de vacuno utilizando principalmente razas autóctonas, incluidos animales cruzados para engorde intensivo, sacrificados entre los 8 y 9 meses de edad (Vieira et al., 2005). La producción de carne de vacuno en Galicia se compone principalmente de razas autócto-

nas (Rubia Gallega, Cachena, Vianesa, Caldelá, Limiá, Frieiresa, etc.) y de cruces industriales con estas y otras razas con la raza Frisona (Domaradzki et al., 2017). Sin embargo, la calidad de la canal y la carne se ve influenciada por factores como raza, sexo, edad, peso vivo, o alimentación entre otros (Gündüz y Çayıroğlu, 2024), por lo que determinar un sistema de producción rentable, sostenible y replicable es vital para asegurar la viabilidad de las explotaciones.

Es bien sabido que las edades y los pesos óptimos para el sacrificio varían ampliamente entre los tipos de razas de vacuno dependiendo de la rapidez con la que maduran, lo que se caracteriza por la acumulación de grasa durante el período de finalización. Así, las diferentes razas requieren diferentes sistemas de producción y esta combinación da como resultado productos diferenciados (Albertí et al., 2008).

En muchos países donde el ganado se cría principalmente para obtener leche se inseminan una parte de las vacas en los rebaños lecheros con semen de toros de aptitud cárnica. Los terneros mestizos de varios días de edad se venden a ganaderos para su engorde (Nogalski et al., 2022). Sin embargo, en el caso de los animales que no proceden

de cruces, y que no son usados para cría son vendidos a los productores de carne de vacuno (Nogalski et al., 2023) normalmente a precios reducidos.

Las crecientes demandas de los consumidores están creando interés en los terneros frisonos porque originan canales con menos grasa externa que los de muchas razas de carne tradicionales (Moon et al., 2015). Por tanto, el hecho de poder producir carne de calidad a partir de terneros frisonos ofrece una oportunidad para el sector de la producción de carne. Sin embargo, la raza Frisona se caracteriza por tener animales de maduración tardía cuya calidad de la canal mejora junto con un aumento en el peso vivo, por lo que se recomiendan engordes prolongados sin que esto produzca una deposición excesiva de grasa subcutánea (Nogalski et al., 2023). Esto choca frontalmente con los altos precios de los piensos y la alimentación usada en la cría de los terneros, ya que un cebo prolongado en intensivo (estabulados) no sería rentable. Así, la intensidad de la alimentación es un factor clave que afecta al rendimiento de los animales y a la calidad de la canal y la carne, siempre sin perder de vista el factor rentabilidad, ya que una intensidad de alimentación demasiado alta genera costos excesivos (Nogalski et al., 2018). De hecho, en el presente estudio, la alimentación supuso el costo más importante en el cebo de los terneros frisonos (53,4 %), seguido de la compra inicial de los animales (20,3 %), la mano de obra y la maquinaria (13,5 %), la compra de la cama (8,1 %) y finalmente los medicamentos y tratamientos veterinarios (4,7 %).

Por todo ello, el presente estudio se centró en caracterizar tanto los parámetros productivos y de crecimiento, como las características de la canal y la calidad de la carne de terneros frisonos criados en intensivo y sacrificados a una edad temprana.

Material y métodos

Aminales, manejo y alimentación

El estudio se realizó en una única explotación (A Gudiña, Ourense), permaneciendo los animales estabulados. Se monitorizaron a lo largo de todo el período de cría, incluyendo la etapa de destete y la de cebo, un total de 871 terneros (machos) de raza Frisona. Los animales se introdujeron en la etapa de destete con un peso aproximado de 50 kg, y se mantuvieron inicialmente en dicha etapa en torno a 2 meses. Durante la etapa de destete, se le administraron dos tomas de lactoreemplazante a los terneros, una por la mañana y otra por la tarde. Además, se les proporcionó paja y pienso *ad libitum*. El momento del destete se calculó en función del consumo de pienso. A partir de los 25 días se monitorizó el consumo de pienso diario de cada ternero, y a los que consumieron 1,5 kg de pienso/día se les retiró una de las dos tomas de lactoreemplazante. La segunda toma se retiró de forma gradual si los animales consumieron al menos 2,5 kg de pienso/día. Una vez finalizada esta etapa, se pasaron a cebo, donde permanecieron hasta el sacrificio. En este caso también se le proporcionó paja y pienso *ad libitum*. La composición química e ingredientes usados en las formulaciones de los piensos empleados en cada etapa se muestran en la Tabla 1. Los animales estudiados fueron sacrificados entre los meses de enero de 2023 y junio de 2024, ambos incluidos, y durante este período se monitorizaron los parámetros productivos de 50 animales/mes.

Para la determinación de los parámetros productivos, se pesaron los animales a la entrada de la explotación, al pasar a la etapa de cebo y el día previo al sacrificio. También se registraron los días de permanencia en cada etapa, así como los consumos de leche y pienso. Con todos estos datos se calcularon las ganancias medias diarias y el índice de conversión tanto de cada etapa por individual (destete y cebo) como de todo el proceso de cebo (total).

Tabla 1. Composición de los piensos comerciales empleados en el cebo de terneros frisonos.
 Table 1. Composition of commercial feed used to fatten Friesian calves.

Composición química	Destete	Cebo
Humedad (%)	11,6	12,4
Almidón (%)	41,6	45,2
Proteína bruta (%)	15,4	13
Materia grasa bruta (%)	4,3	5,5
Celulosa bruta (%)	3,9	6,8
Cenizas brutas (%)	5,9	5
Calcio (%)	0,87	0,6
Fósforo (%)	0,56	0,4
Sodio (%)	0,4	0,3
Vitaminas y oligoelementos		
Vitamina A (UI/kg)	7500	5650
Vitamina D3 (UI/kg)	2000	1500
Vitamina E (mg/kg)	25	19
Cobre (mg/kg)	2	2
Selenio (mg/kg)	0,1	0,08
Manganeso (g/kg)	0,02	0,02
Zinc (mg/kg)	40	30
Cobalto (mg/kg)	0,3	0,5
Yodo (mg/kg)	0,5	0,4
Sepiolita (g/kg)	0,6	0,5
Ácidos grasos (g/100 g ácidos grasos)		
C14:0	0,18	0,33
C16:0	14,93	22,99
C16:1n-7	0,20	0,16
C18:0	2,85	3,23
C18:1n-9	25,01	33,59
C18:1n-7	0,97	0,94
C18:2n-6	50,83	35,88
C18:3n-3	3,19	1,60
C20:0	0,38	0,40
C20:1n-9	0,37	0,25
SFA	19,19	27,51
MUFA	26,67	34,98
PUFA	54,15	37,50

Ingredientes: Pienso destete: Maíz, trigo, salvado de trigo, harina de extracción de soja tostada (molida), lías y solubles de grano (maíz), cebada, carbonato de calcio, aceite de soja, suero de leche en polvo, bicarbonato de sodio, cloruro de sodio, fosfato bicálcico, sales de ácidos grasos (palma), dulcoaroma; Pienso cebo: Maíz, lías y solubles de grano de maíz, paja de cereal tratada con sosa y melaza, harina de extracción de semilla de girasol, trigo, melaza de remolacha, carbonato de calcio, aceite vegetal de palma, harina de extracción de soja tostada (molida), cloruro de sodio, óxido de magnesio.

Sacrificio, clasificación de la canal y toma de muestras

Una vez que los animales cumplieron el período de cebo, fueron transportados al matadero el día antes del sacrificio, minimizando el estrés animal. Los animales fueron aturdidos, sacrificados y faenados en un matadero acreditado de acuerdo con la normativa vigente de la UE (Reglamento (CE) n° 1099/2009) relativo a la protección de los animales en el momento de la matanza. Las canales se enfriaron durante 24 h en una cámara convencional a 2 °C (humedad relativa: 98 %). Tras este período se realizó el pesaje de la canal (peso canal fría) y se procedió, por parte del matadero, a la evaluación de la conformación de la canal acorde a la clasificación SEUROP y el grado de engrasamiento mediante una escala numérica de 5 niveles (1-no graso; 5-muy graso) (Real Decreto 815/2018).

De todos los animales estudiados, se tomaron un total de 124 muestras para el estudio de la calidad de la carne. Estas fueron seleccionadas de modo aleatorio entre los animales sacrificados en los meses de junio de 2023 (n = 30), septiembre de 2023 (n = 32), abril de 2024 (n = 30) y junio de 2024 (n = 32).

De la media canal izquierda de los animales seleccionados se extrajo el chuletero entre la quinta y la décima costilla, y se envasó a vacío. Estos fueron transportados a la planta piloto del Centro Tecnológico da Carne en condiciones de refrigeración, donde permanecieron durante 7 días en cámara a 2 °C (maduración envasados al vacío). Una vez transcurrido este tiempo, se procedió a la extracción del músculo *longissimus thoracis et lumborum*, y se cortaron 5 filetes, uno de 2,5 cm de grosor y otros cuatro de aproximadamente 1,5 cm.

Estudio de calidad de la carne

Sobre los filetes de 1,5 cm se midieron inicialmente el color y el pH. Posteriormente, se

pizaron y homogeneizaron para realizar las determinaciones de la composición química, perfil de ácidos grasos y contenido de colesterol. Para la determinación de las pérdidas de aguas por cocción y la textura se empleó el filete de 2,5 cm.

El pH de las muestras se midió utilizando un pHmetro digital portátil (Hanna Instruments, Eibar, España) equipado con una sonda de penetración. Para medir el color de la carne en el espacio CIELab se usó un espectrofotómetro portátil (Konica Minolta CM-600d, Osaka, Japan), después de dejar atemperar y oxigenar las muestras durante 1 h. Se realizaron tres mediciones para cada muestra en áreas homogéneas y representativas, libres de grasa intermuscular. Los resultados de color se expresaron como luminosidad (L*), índice de rojo (a*) e índice de amarillo (b*).

La determinación de la humedad (ISO 1442:1997), la proteína (ISO 937:1978) y las cenizas (ISO 936:1998) se realizaron acorde a los procedimientos normalizados ISO, mientras que para la determinación de la grasa intramuscular se empleó el procedimiento oficial descrito por la AOCS (AOCS, 2005).

Para determinar las pérdidas de agua por cocción, los filetes se cocinaron envasados al vacío, y colocando las muestras en un baño de agua con control automático de temperatura (JP Selecta, Precisdg, Barcelona, España) hasta alcanzar una temperatura interna de 70 °C, controlada por termopares tipo K (Comark, PK23M, UK), conectados a un registrador de datos (Comark Dilligence EVG, N3014, Reino Unido). Después de la cocción, las muestras se enfriaron en un baño de agua circulante a 18 °C durante un período de 30 min y se registró el porcentaje de pérdida de agua por cocción.

Para el análisis de textura se usaron las muestras cocinadas en la determinación de las pérdidas de agua por cocción. De cada muestra de filete, correspondiendo a un animal diferente,

se cortaron 3 trozos de $1 \times 1 \times 2,5$ cm (alto $\times$ ancho $\times$ largo). Las muestras se cortaron perpendicularmente a la dirección de la fibra muscular, usando la célula de corte Warner-Bratzler, a una velocidad de 3,33 m/s, registrando los parámetros con un texturómetro (TA-XT2, Stable MicroSystems, Godalming, UK). Se registró de cada trozo la fuerza de corte (N/cm^2).

Perfil de ácidos grasos y contenido de colesterol

El perfil de ácidos grasos se determinó mediante cromatografía gaseosa. La grasa de cada muestra se extrajo con cloroformo-metanol (Domínguez et al., 2022). De la grasa extraída, 20 mg fueron transmetilados con una solución de metóxido sódico (0,5 M) (metilación básica) y otra de sulfúrico-metanol (10 %) (metilación ácida), y los ésteres metílicos de los ácidos grasos se extrajeron con hexano, siguiendo la metodología descrita por Domínguez et al. (2022). La separación, identificación y cuantificación de los diferentes ácidos grasos se realizó con un cromatógrafo de gases Agilent mod. 7890B (Agilent Technologies) equipado con un detector de ionización de llama (FID) y un automuestreador PAL RTC-120 (Pal System), usando una columna capilar DB-23 (60 m; 0,25 mm diámetro; 0,25 μm espesor del recubrimiento; Agilent Technologies). Todas las condiciones cromatográficas, incluyendo la rampa de temperaturas del horno fueron descritas por Domínguez et al. (2022). Se empleó helio como gas portador a 1,2 mL/min, mientras que la temperatura del detector se mantuvo a 280 °C. El tiempo total de análisis fue de 33 min. La adquisición de datos, el control del equipo y el análisis de datos se llevaron a cabo utilizando el software MassHunter GC/MS (Agilent Technologies). Los ésteres metílicos in-

dividuales se identificaron comparando sus tiempos de retención con los de los estándares. Los resultados se expresaron como g/100 g de ácidos grasos totales.

Finalmente, la determinación del contenido de colesterol se realizó mediante una saponificación en caliente y la cuantificación mediante cromatografía líquida siguiendo el procedimiento de López-Fernández et al. (2022). Para ello, 0,5 g de carne fueron saponificados durante 45 min a 85 °C usando una solución de KOH al 10 % en etanol-agua (55:45 v/v), desplazando el aire con nitrógeno para evitar procesos de oxidación. El colesterol se extrajo con hexano y se inyectó en el cromatógrafo. El equipo utilizado para la cuantificación del colesterol fue un HPLC modelo Alliance 2695 equipado con un detector de fotodiodos 996 (Waters, Milford, MA, USA). La separación del colesterol se realizó en una columna de sílica en fase normal (SunFire™ Prep Silica; 4,6 mm ID $\times$ 250 mm; 5 μm diámetro de partícula; Waters, Milford, MA, USA) en modo isocrático, empleando como fase móvil isopropanol-hexano (2:98 % v/v) a un flujo de 1 mL/min, y se empleó el software Empower 3™ (Waters, Milford, MA, USA) para el control del equipo, la adquisición de los datos y el tratamiento de los resultados. El colesterol fue detectado a 208 nm, y el tiempo total de análisis fue de 15 min. La identificación del colesterol se realizó por comparación del tiempo de retención con un estándar, y los resultados se expresaron como mg colesterol/100 g de carne.

Análisis estadístico

Los resultados fueron tratados empleando el software estadístico SPSS (V.19). Los resultados fueron expresados como medias y desviación estándar.

Resultados y discusión

Parámetros productivos y características de la canal

En la Tabla 2 se muestran los parámetros productivos y de crecimiento de los terneros frisonos empleados en este estudio. Los animales entraron en la etapa de destete con un peso medio de 48,2 kg, y permanecieron en

esta etapa un total de 69,9 días. El consumo de leche fue de 16,7 L/día mientras que el de pienso de 1,71 kg/día. Las ganancias medias diarias fueron 0,84 kg/día. El índice de conversión medio para esta etapa fue de 2,07.

El peso de entrada en la etapa de cebo fue de 107 kg, y el tiempo de permanencia en esta etapa fue de 163 días (~5,5 meses). El consumo de pienso medio se situó en torno a los 6 kg/día

Tabla 2. Parámetros productivos y de crecimiento y características de la canal de terneros frisonos.
Table 2. Productive and growth parameters and carcass characteristics of Friesian calves.

	Media	Desviación estándar
Número animales	871	–
Destete		
Días destete	69,9	13,9
Peso entrada destete (kg)	48,2	3,23
Consumo leche (L/día)	16,7	1,93
Consumo pienso destete (kg/día)	1,71	0,31
GMD-destete (kg/día)	0,84	0,19
IC (destete)	2,07	0,30
Cebo		
Días cebo	163	22,8
Peso entrada cebo (kg)	107	13,8
Consumo pienso cebo (kg/día)	6,04	1,58
GMD-cebo (kg/día)	1,31	0,24
IC (cebo)	4,59	0,69
Total		
Días sacrificio	258	23,1
Peso Vivo (kg)	317	41,2
GMD-total (kg/día)	1,16	0,19
IC (total)	4,09	0,49
Características de la canal		
Peso canal (kg)	161	20,6
Conformación	O (menos buena)	–
Grado de engrasamiento	2 (poco cubierto)	–
Rendimiento canal (%)	50,7	0,84

GMD: Ganancia media diaria; IC: índice de conversión.

y las ganancias medias diarias de la etapa de cebo en 1,31 kg/día, siendo el índice de conversión de esta etapa de 4,59.

A pesar de ser interesante observar los datos productivos y de crecimiento dividido por etapas, es mucho más importante tener la visión global de todo el proceso, incluyendo la etapa de destete y cebo conjuntamente. En este caso, los animales estuvieron un total de 258 días (8,6 meses) en la explotación, alcanzando un peso vivo antes del sacrificio de 317 kg. Las ganancias medias diarias se situaron en 1,16 kg/día, y el índice de conversión de todo el proceso de cría en 4,09.

Tras el sacrificio, las canales presentaron un peso medio de 161 kg, siendo su conformación "O" "menos buena" y el grado de engrasamiento "2" "poco cubierto". El rendimiento canal fue de 50,7 %.

Existen pocos estudios realizados en frisonas sacrificados a una edad tan temprana. De hecho, por norma general, el rango de sacrificio de estos animales oscila entre los 15 meses (Albertí et al., 2008) y los 24 meses (Dannenberger et al., 2006; Nogalski et al., 2023). A pesar de tener un peso inferior debido a que son animales de menor edad, las ganancias medias diarias de este estudio coinciden con las de Dannenberger et al. (2006) y Albertí et al. (2008), quienes observaron que frisonas sacrificados entre los 15 y 19 meses y con un peso que rondaban los 600 kg tuvieron unas ganancias medias diarias de 1,18 y 1,15 kg/día, respectivamente. Obviamente, el peso canal (320-347 kg) y el rendimiento (54,7-55,7 %) también fueron superiores, al igual que el grado de engrasamiento ("3" cubierto). Sin embargo, la conformación de la canal fue igual a la de los animales de este trabajo ("O" menos buena). De modo similar, un estudio realizado con frisonas machos sacrificados a los 297 días (10 meses) mostró canales de 230 kg, con conformaciones "O" y grados de engrasamiento "2" (Mendizabal et

al., 2017), coincidiendo con los resultados obtenidos en el presente estudio. Por el contrario, y como era esperable, cruces de Frisóna con Blanco Azul Belga sacrificados con pesos superiores a los 700 kg tuvieron ganancias diarias (1,2-1,3 kg/día), pesos canal (384-406 kg) y rendimientos (54,4-56,4 %) (Gündüz y Çayıroğlu, 2024) superiores a los obtenidos en este estudio. También frisonas criados en intensivo y sacrificados con 24 meses (720 días) y peso vivo de 673 kg resultaron en canales con 385 kg, rendimientos canal del 57,2 % y ganancias medias diarias de 1,59 kg/día (Nogalski et al., 2023), aunque cabe destacar que estas ganancias fueron solo monitorizadas los últimos 120 días de cebo. En este caso, la conformación de la canal también fue "O", mientras que el grado de engrasamiento se situó entre "2+" y "3-".

En frisonas sacrificados a 18 meses (Pfuhl et al., 2007), el consumo de pienso durante el cebo (entre los 5 y los 18 meses) fue ligeramente superior (7,14 kg/día) al de los animales de este estudio (6,04 kg/día) debido a que fueron cebados durante 10 meses más, lo que aumentó el consumo de pienso. También el peso vivo (588 kg), el de canal (356 kg) y el rendimiento canal (53,9 %) fueron superiores. Sin embargo, las ganancias medias diarias (1,19 kg/día), la conformación de la canal (O-) y el grado de engrasamiento (entre "1+" y "2-") fueron similares o incluso inferiores a los de este trabajo. Esto pone de manifiesto que, aunque se aumente significativamente la edad y el peso de sacrificio, no siempre repercute en una mejora de la conformación de la canal o su grado de engrasamiento. Datos similares fueron encontrados por Rezagholivand et al. (2021), quien a pesar de que el período de cebo de frisonas (15 meses), el peso de sacrificio (546 kg) y el de canal (273 kg) fue superior al del presente estudio, el rendimiento canal (49,9 %) fue inferior (50,7 %).

En frisonas en los cuales se monitorizaron los índices productivos en el período com-

prendido entre 4-6 meses y el final de cebo (15,7 meses) se observó que el consumo de pienso fue de 5,71 kg/día entre los ~5 y los ~9 meses de edad, aumentando hasta los 8,06 kg/día hasta el sacrificio (Rutherford et al., 2020). Teniendo en cuenta que los animales de este estudio fueron sacrificados con menos de 9 meses, los consumos del período de cebo (6,04 kg/día) concuerdan con los descritos por Rutherford et al. (2020). Estos autores también obtuvieron canales con clasificación "O" y grado de engrasamiento entre "2+" y "3-", con pesos canal en torno a 300 kg y rendimientos del 51,2 % (Rutherford et al., 2020). Con terneros frisonos sacrificados a edades comprendidas entre los 20 y los 26 meses, los autores observaron que las ganancias medias diarias (1,11; 1,28 y 1,50 kg/día), el peso canal (320, 410 y 522 kg) y el rendimiento canal (54,8; 56,7 y 58,2 %) aumentaron progresivamente con la edad de sacrificio (Wang et al., 2019), lo que nos permite explicar las variaciones observadas entre diferentes estudios.

Con respecto al índice de conversión, el hecho de sacrificar los animales a una edad mucho mayor –18 meses (Pfuhl et al., 2007) o 15 meses (Rezagholivand et al., 2021)–, resultó en índices de conversión más elevados (6,74 y 6,89; respectivamente) en comparación con los del presente estudio (4,09). En animales sacrificados entre los 20 y los 26 meses este índice aumentó hasta 7,89-8,91 (Wang et al., 2019). Por lo tanto, como era esperable, los animales sacrificados a una edad más temprana tienen un mejor índice de conversión, lo que estaría positiva e íntimamente ligado a la rentabilidad de la explotación.

Es esperable que los terneros de razas de aptitud lechera presenten una tasa de crecimiento (ganancias medias diarias) y de pesos vivos inferiores a otras de aptitud cárnica o sus cruces, lo que explica que este tipo de razas, como es el caso de la Frisona, crezcan más lentamente y engorden más tarde (Albertí et al., 2008). Además, el ganado vacuno de ap-

titud cárnica se caracteriza por su capacidad de transformar los nutrientes principalmente en proteínas, mientras que las razas lecheras, que tienen un estado hormonal y metabólico diferente, tienden a depositar más grasa intraabdominal, lo que explica que los terneros de raza Frisona obtengan la conformación de la canal de "menos buena". De hecho, esta clasificación de conformación "O" y el grado de engrasamiento "poco cubierto" es esperable para terneros livianos de tipo lechero (Mendizabal et al., 2017), como los de este estudio.

Obviamente, otro factor determinante que afecta al crecimiento y a las características de los terneros es la dieta suministrada durante la etapa de cebo (Albertí et al., 2008), por lo que las diferencias entre los estudios podrían estar también íntimamente ligadas al alimento y al sistema productivo empleado en el engorde de los animales. Asimismo, la mayor parte de los estudios comienzan la monitorización de los animales a una edad más elevada (>5 meses), o solo durante la última etapa de cebo (últimos meses), mientras que en el presente estudio se monitorizan a los animales desde que tienen pocos días de vida hasta el sacrificio, lo que también es fuente de posibles discrepancias entre los estudios, ya que los índices dependen de la etapa que se esté estudiando.

Calidad de la carne

En la Tabla 3 se muestra la composición química y los principales parámetros fisicoquímicos de la carne de los terneros frisonos estudiados. Se puede observar que la humedad se sitúa en valores de 75,46 g/100 g; siendo el contenido en proteína 22,22 g/100 g; las cenizas 1,09 g/100 g y la grasa 1,21 g/100 g. Los datos obtenidos eran esperables, ya que los contenidos de humedad, proteínas, grasa intramuscular y cenizas en la ternera que se describen en otros trabajos oscilan entre 73,8 y 77,5 %; 20,7 y 23,6 %; 0,4 y 2,5 %; 1,1 y 1,4 %;

Tabla 3. Composición química y parámetros físico-químicos de la carne de terneros frisones.
Table 3. Chemical composition and physicochemical parameters of meat from Friesian calves.

	Media	Desviación estándar
pH	5,67	0,19
Composición química (g/100 g)		
Humedad	75,46	0,97
Grasa	1,21	0,91
Proteína	22,22	0,71
Cenizas	1,09	0,05
Parámetros de color		
L*	44,95	3,64
a*	12,08	2,53
b*	14,48	1,85
Pérdidas por cocción (%)	27,12	4,75
Textura (N/cm ²)	23,49	6,08

Textura medida como fuerza de corte (test Warner-Bratzler).

respectivamente (Domaradzki et al., 2017), por lo que la composición química del presente estudio está en consonancia con la descrita en la bibliografía. Los datos de este trabajo también concuerdan con los obtenidos en frisones sacrificados entre 130 y 210 kg (Vavrišínová et al., 2019).

En terneros frisones sacrificados a 10 meses de edad, los autores describieron contenidos de grasa intramuscular de 1,2 g/100 g (Mendizabal et al., 2017), y en cruces de Frisona con Blanco Azul Belga sacrificados a los 24 meses varió entre 1,22 y 1,35 g/100 g (Gündüz y Çayiroğlu, 2024), lo que coincide con los valores de este estudio (1,21 g/100 g). Por el contrario, en animales sacrificados a una edad mucho más avanzada se observó que el porcentaje de grasa intramuscular aumentó hasta situarse en valores comprendidos entre el 4,87 % (sacrificados a 20 meses) y el 9,24 % (sacrificados a 26 meses) (Wang et al., 2019). La relación existente entre grasa y proteína es

inversamente proporcional, por lo que estos animales con mayor proporción grasa, mostraron un contenido menor de proteína (~19 %) (Wang et al., 2019) que en los del presente trabajo (22 %). Por lo tanto, en este estudio estamos ante una carne magra, que proporciona un aporte elevado de proteínas, lo que la posiciona como nutricionalmente buena.

El depósito graso intramuscular es de desarrollo más tardío que el subcutáneo (Mendizabal et al., 2017), por lo que posiblemente, el hecho de sacrificar los animales del presente estudio a una edad tan temprana (8,6 meses) determine que la deposición de grasa en el músculo estaría aun en sus estadios iniciales. Otra posible explicación está relacionada con que la raza Frisona es de aptitud lechera, lo que resulta en que la infiltración de grasa en el músculo es inferior. De hecho, en estudios previos, se observó que los toros de raza Frisona no metabolizan eficientemente los nutrientes para la acumulación de proteínas, lo

que resulta en que desvían esa energía ingerida hacia depósitos internos de grasa (Pfuhl et al., 2007). Así, se sabe que los frisones tienen un poder de infiltración de grasa que no suelen superar el 5 %, mucho menor que otras razas, como puede ser la Wagyu (38 % de infiltración) y la Hanwoo (20 % de infiltración) (Nogalski et al., 2023). Sin embargo, hay que tener en cuenta que el contenido de grasa intramuscular va afectar positivamente a otros atributos sensoriales de la carne, como son la jugosidad, el flavor o la terneza (Nogalski et al., 2022).

Por ello, además de la composición química, otras características no nutricionales que van a ser determinantes en la calidad de la carne son las características fisicoquímicas, incluido el pH, el color, las pérdidas de agua por cocción, o la textura, medida como la fuerza de corte Warner-Bratzler (Domaradzki et al., 2017; Gündüz y Çayiroğlu, 2024).

El pH de la carne de 5,67 confirmó que los animales no sufrieron estrés previo al sacrificio, y asegura que este factor no va a influir en la calidad de la carne. Otros estudios en animales sacrificados y alimentados de modo diferente han mostrado valores de 5,76 (Dannenberger et al., 2006); 5,4-5,7 (Yu et al., 2017); ~5,66 (Wang et al., 2019); 5,69 (Shabtay et al., 2021); ~5,55 (Nogalski et al., 2022); ~5,66 (Nogalski et al., 2023) o ~5,6 (Gündüz y Çayiroğlu, 2024), lo que está en consonancia con lo observado en el presente estudio. Existe cierta controversia sobre los factores que influyen en el pH, ya que algunos estudios indican variaciones entre animales sacrificados a diferentes edades o sistemas de producción, mientras que otros afirman que el pH es un factor que se ve poco influenciado por los sistemas de cría, la alimentación, o el sexo (Domaradzki et al., 2017), lo que explicaría las pocas variaciones entre estudios. Además, este rango de pH indica una glucólisis *post mortem* adecuada y, por tanto, un manejo correcto de los terneros durante el

cebo y antes del sacrificio (Domaradzki et al., 2017). De hecho, los valores de pH para carne de vacuno sin defectos se sitúan precisamente entre 5,5 y 6, considerándose como carnes PSE (pálidas, blandas y exudativas) las que tienen un valor inferior a 5,4, y las DFD (oscuras, firmes y secas) las que tienen un pH superior a 6.

El pH, además de ser un indicador de la calidad de la carne, también influye de modo directo en su color (Yu et al., 2017), ya que existe una correlación directa y negativa entre la coloración roja de la carne y el pH (Gagaoua et al., 2018). El color de la carne fresca es quizás el atributo que mayor influencia tiene sobre los consumidores y que va a determinar su intención de compra. El color de la superficie del músculo está definido por la estructura de la carne y por la concentración y el estado redox de sus pigmentos (principalmente mioglobina), que depende de numerosos factores *ante mortem* (raza, sexo, dieta, sistema de cría y edad) y *post mortem* (aturdimiento, sangrado, gestión de la cadena de frío y envasado) (Domaradzki et al., 2017). En este trabajo, los valores de luminosidad (L^*) fueron de 44,95; el índice de rojo (a^*) de 12,08 y el de amarillo (b^*) de 14,48. Con respecto al color, otros estudios en carne de frisón sacrificados a una edad mayor (Shabtay et al., 2021; Nogalski et al., 2022 y 2023; Gündüz y Çayiroğlu, 2024) describieron valores de L^* (32-38) y b^* (3-14) menores, mientras que los de a^* fueron superiores (15-18) a los valores del presente estudio. Estas diferencias se explican ya que es bien sabido que se produce un aumento de los pigmentos musculares totales con la edad, especialmente hasta los 24 meses (Domaradzki et al., 2017), lo que explica la mayor luminosidad y menor intensidad del índice de rojo de la carne de los terneros de este estudio con respecto al descrito en estudios con animales sacrificados a mayor edad.

Numerosos estudios indicaron que el aumento de la edad de sacrificio de los animales de granja oscurece la carne. Se propuso que el

valor L^* más bajo en la carne de vacuno probablemente se deba a un mayor contenido de mioglobina, ya que la concentración de mioglobina aumenta con la edad. Además, el cambio del tipo de fibra glicolítica al tipo oxidativo resulta en una mayor concentración de mioglobina muscular a medida que avanza la madurez, y explica que la carne sea más oscura y con valores de a^* y b^* mayores en los animales más viejos (Gagaoua et al., 2018).

De cualquier modo, es importante resaltar que la carne de vacuno que presenta mayor aceptabilidad por los consumidores es de color rojo cereza brillante, con valores de a^* iguales o superiores a 14,5; L^* superiores a 31,4 y b^* superiores a 6,3 (Holman y Hopkins, 2021). Los valores obtenidos en este estudio coinciden con los descritos como de mayor aceptabilidad, a excepción del índice de rojo que se situó en valores ligeramente inferiores. Por tanto, se puede concluir que el color de la carne de terneros frisonos del presente trabajo es el deseable y se aproxima a los valores apreciados por el consumidor.

Por otro lado, el sistema de manejo y cría de terneros puede influir no solo al color sino también a la textura. Entre todos los atributos de la textura de la carne, la terneza se ha considerado el principal factor que afecta la satisfacción del consumidor, y en especial en la carne de vacuno. La fuerza de corte de Warner-Bratzler se ha convertido en el método más utilizado para la evaluación objetiva de la terneza de la carne de ternera, produciendo la mejor correlación con la percepción de terneza en la boca del consumidor (Domaradzki et al., 2017). En este estudio, los valores medios de la fuerza de corte se situaron en 23,5 N/cm². Estos valores sitúan a las muestras como “muy tiernas”, según la clasificación que propone un estudio donde relaciona el valor de la fuerza de corte de Warner-Bratzler con la terneza de la carne (Belew et al., 2003). De hecho, todos los valores por debajo de 31,4 N/cm² serían carnes

“muy tiernas”, y entre 31,5 y 38,2 N/cm² “carnes tiernas”. Como hemos explicado antes, el contenido de grasa intramuscular también juega un papel importante en la textura y jugosidad de la carne, ya que a mayor contenido graso más tierna y jugosa es la carne. En nuestro caso, el hecho de ser una carne magra podría repercutir negativamente en la textura, pero como hemos comprobado, sucede todo lo contrario, resultando en una carne muy tierna. Al comparar con otros estudios, también observamos que los valores son inferiores (más tierna) que los descritos en frisonos sacrificados a edades más avanzadas, con valores de 52,3-61,5 N/cm² (Wang et al., 2019) en animales sacrificados entre los 20 y los 26 meses, 38,87-43,79 N/cm² en animales de 18 meses (Nogalski et al., 2022) o 31,97-33,94 N/cm² en animales de 24 meses (Nogalski et al., 2023). Una posible explicación a este hecho podría estar relacionada con que los animales usados en este estudio fueron sacrificados a una edad temprana, lo que influiría positivamente en la terneza de la carne. De hecho, la edad de sacrificio puede tener un impacto particularmente significativo en el caso de la carne de vacuno, con un marcado descenso en la terneza entre los 10 y 18 meses de edad, lo que puede estar asociado con cambios estructurales en el colágeno y un aumento en la proporción de enlaces cruzados termoestables, de modo que se solubiliza menos colágeno durante la cocción (Domaradzki et al., 2017).

Otro parámetro que está relacionado con la fuerza de corte son las pérdidas de agua por cocción. Las pérdidas por cocción se correlacionan negativamente con la jugosidad y la terneza evaluadas mediante paneles sensoriales o medición instrumental (Domaradzki et al., 2017). En este estudio, las pérdidas de agua por cocción se situaron en valores de 27,12 %, lo que coincide con los descritos en estudios previos, con valores de 28,7 % en animales sacrificados a 26 meses (Wang et al., 2019), y son superiores a los descritos en frisonos sacrifica-

dos a 12 meses (22,12 %; Shabtay et al., 2021). Por el contrario, otros estudios previos mostraron que en animales con mayor edad presentaron valores de pérdidas por cocción mayores (30,54-42,1 %), lo que podría estar relacionado con la menor terneza de esta carne (Nogalski et al., 2022 y 2023). Existe cierta controversia sobre la relación edad/pérdidas por cocción, aunque Florek et al. (2015) ha observado que las pérdidas por cocción aumentan a medida que aumenta la edad de los animales, lo que podría explicar porque la carne del presente estudio, con animales jóvenes, presentó valores tan bajos.

Perfil de ácidos grasos y contenido de colesterol

En la Tabla 4 se muestra el perfil de ácidos grasos y el contenido de colesterol de la carne de los terneros frisonos estudiados. El principal ácido graso fue el ácido oleico (C18:1n-9; 28,88 %), seguido del ácido palmítico (C16:0; 24,15 %), el ácido esteárico (C18:0; 18,46 %) y ácido alfa-linolénico (C18:2n-6; 10,40 %). La suma de estos representa más del 80 % del total de ácidos grasos. Si observamos los sumatorios de los ácidos grasos, podemos ver que los ácidos grasos saturados son mayoritarios, con valores medios del 46,30 %, seguidos de los ácidos grasos monoinsaturados (37,12 %) y finalmente los ácidos grasos poliinsaturados (16,58 %). Sin duda, los elevados contenidos de palmítico y esteárico, y en menor medida el de mirístico (C14:0; 2,07 %) y heptadecanoico (C17:0; 0,94 %) determinan este hecho, mientras que los valores de ácidos grasos monoinsaturados estarían ligados al alto contenido de ácido oleico, y también a los importantes valores de palmitoleico (C16:1n-7; 2,10 %), trans-vacénico (11t-C18:1; 3,11 %) y cis-vacénico (C18: 1n-7; 1,64 %). Del mismo modo, el contenido de ácidos grasos poliinsaturados está ligado al de ácido alfa-linoleico, aunque también se observan valores notables de ácido araquidónico (C20:4n-6; 3,25 %).

Este perfil coincide con estudios previos, donde en la mayoría de los casos, los ácidos grasos saturados son predominantes en la grasa intramuscular de vacuno (oscilando entre el 33,99 % y el 52,40 %), mientras que los ácidos grasos monoinsaturados constituyen entre el 29,38 % y el 51,0 % y rara vez presentan niveles más altos que las proporciones de saturados. Los ácidos grasos poliinsaturados tienen las proporciones más bajas y muestran la mayor variación (5,35-30,80 %) (Domaradzki et al., 2017). El perfil de ácidos grasos descrito en este estudio es similar al descrito en frisonos (Dannenberger et al., 2006; Shabtay et al., 2021) aunque con diferencias debidas principalmente a la dieta recibida en cada estudio.

Es importante destacar que la carne de vacuno puede ser una fuente importante de ácidos grasos biológicamente activos que tienen una variedad de beneficios nutricionales en la dieta, como los isómeros del ácido linoleico conjugado (CLA; principalmente 9c,11t-C18:2), el ácido trans-vacénico, o los omega 3 de cadena larga (DPA, C22:5n-3) (Domaradzki et al., 2017). La ingesta de trans-vacénico se relaciona con mejoras en la salud. Estudios recientes vinculan su ingesta con una mejor función de las células inmunitarias y la actividad antitumoral. En este estudio, a pesar de ser animales jóvenes, el contenido trans-vacénico asciende al 3,11 %. Además de lo ya mencionado, este ácido graso, que se forma en el rumen como resultado de una biohidrogenación parcial, es precursor de otro grupo importante de ácidos grasos conocido como ácido linoleico conjugado o "CLA". Se trata de un grupo de isómeros posicionales y geométricos del ácido linoleico, derivados del metabolismo del trans-vacénico. Este grupo está formado por múltiples combinaciones diferentes, pero en general el isómero predominante es el 9c,11t-C18:2. El CLA ha demostrado propiedades inmunomoduladoras, que influyen en la respuesta inmune del cuerpo contra las células cancerosas. Su in-

Tabla 4. Perfil de ácidos grasos (g/100 g de ácidos grasos) y contenido de colesterol (mg/100 g de carne) de la carne de terneros frisones.

Table 4. Fatty acid profile (g/100 g of total fatty acids) and cholesterol content (mg/100 g meat) of meat from Friesian calves.

	Media	Desviación estándar
C14:0	2,07	0,57
C14:1n-5	0,28	0,12
C15:0	0,34	0,07
C16:0	24,15	2,14
C16:1n-7	2,10	0,48
C17:0	0,94	0,24
C18:0	18,46	3,31
9t-C18:1	0,57	0,19
11t-C18:1	3,11	1,14
C18:1n-9	28,88	3,94
C18:1n-7	1,64	0,44
C18:2n-6	10,40	4,11
C18:3n-3	0,49	0,22
9c,11t-C18:2 (CLA)	0,35	0,17
C20:0	0,13	0,02
C20:1n-9	0,13	0,03
C20:2n-6	0,25	0,12
C20:3n-6	0,72	0,34
C20:4n-6	3,25	1,68
C22:5n-3 (DPA)	0,69	0,32
SFA	46,30	4,74
MUFA	37,12	3,56
PUFA	16,58	6,32
n-3	1,52	0,71
n-6	15,07	5,83
n-6/n-3	10,66	2,86
Colesterol (mg/100 g)	57,60	13,2

SFA: sumatorio de ácidos grasos saturados; MUFA: sumatorio de ácidos grasos monoinsaturados; PUFA: sumatorio de ácidos grasos poliinsaturados.

gesta también se asocia con un menor riesgo de diabetes y enfermedades cardiovasculares. En las muestras de carne de terneros frisonos de este estudio el contenido del isómero principal CLA es bajo (0,35 %) pero eso no quiere decir que tenga poca importancia. Por tanto, las complejidades de la relación entre el trans-vacénico y el CLA a nivel molecular subrayan el potencial de estos compuestos como agentes bioactivos con implicaciones para la prevención de determinadas enfermedades.

Otros ácidos grasos relevantes para la salud humana son los ácidos grasos omega 3. Este grupo de ácidos grasos tiene reconocidos beneficios en la prevención de múltiples enfermedades y contribuye positivamente al metabolismo. De hecho, el ácido alfa-linolénico (C18:3n-3), junto con el ácido alfa-linoleico (C18:2n-6) son considerados ácidos grasos esenciales para el ser humano, ya que no pueden ser sintetizados en el organismo y deben ser aportados por la dieta, y los ácidos poliinsaturados de cadena larga se forman por procesos de elongación y desaturación de estos (Domaradzki et al., 2017). Dentro de los omega 3, y en muestras de terneros frisonos, se identificaron principalmente el ácido alfa-linolénico (C18:3n-3) y el ácido docosapentaenoico (C22:5n-3; DPA). El contenido de DPA es relativamente alto (0,69 %), y es de gran importancia ya que es un ácido omega 3 de cadena larga, que tiene efectos bioactivos e interviene en múltiples procesos metabólicos. Los valores de ácido alfa-linolénico son bajos (0,49 %), aunque esto es de esperar en animales de cebo. Este ácido graso se encuentra en grandes cantidades en pastos y forrajes. En nuestro estudio, los animales fueron engordados con concentrados comerciales que, como se puede ver en la Tabla 1, tienen un alto contenido de linoleico (35,88 %) y un bajo contenido de linolénico (1,60 %). Esto explica el perfil de ácidos grasos obtenidos en las muestras de carne de este estudio. El hecho de que el pienso sea rico en ácido linoleico también favorece el metabo-

lismo de los ácidos grasos omega 6 en detrimento de los omega 3, y explica el ratio n-6/n-3 de 10,66. El valor que se toma como referencia para una dieta saludable es un ratio n-6/n-3 de 4 (Simopoulos, 2009), aunque hay que aclarar que este valor es difícil de encontrar en la carne. De hecho, los valores observados en frisonos alimentados con pienso oscilan entre 6,5 y 14,66 (Dannenberger et al., 2006; Shabtay et al., 2021), aunque otros estudios muestran valores inferiores, principalmente relacionado con el hecho de que los animales recibieron dietas ricas en ácidos omega 3 (Dannenberger et al., 2006; Nogalski et al., 2022). En resumen, y como era de esperar, el perfil de ácidos grasos de la carne presentó valores similares al perfil lipídico de la dieta suministrada a los animales. A la vista de los resultados obtenidos, se puede afirmar que el sistema de producción propuesto proporciona a la carne un perfil lipídico con múltiples ácidos grasos que tienen una importante actividad biológica.

Finalmente, el contenido de colesterol de la carne de los terneros fue de 57,6 mg de colesterol/100 g de carne. El contenido de colesterol es un parámetro que varía en función de múltiples factores, siendo la dieta un factor primordial. En este caso, la dieta de todos los animales fue la misma, por lo que afectó de forma similar a todo el grupo. Sin embargo, otros parámetros como el contenido de grasa de la carne también juegan un papel relevante en el contenido de colesterol. El colesterol es una molécula que está unida a las membranas celulares y es una parte importante de ellas. A medida que aumenta el contenido de grasa de la carne, el número de membranas celulares permanece inalterado, y lo que ocurre es que los glóbulos de grasa aumentan de tamaño. Por tanto, un aumento de la grasa implica una disminución del contenido de colesterol por el "efecto dilución" ya que, al aumentar la grasa, las membranas celulares, y por tanto el colesterol representan una cantidad proporcionalmente menor

dentro de la muestra total. En cualquier caso, los valores descritos en este estudio coinciden con los valores habituales que muestra la carne vacuna, situándose estos entre 47,6 y 58,5 mg/100 g (Domaradzki et al., 2017).

Conclusiones

El sistema de cebo de terneros frisonos propuesto, y su sacrificio a una edad de 8,6 meses proporciona unos parámetros productivos aceptables, al tiempo que aumenta la rentabilidad debido a los bajos índices de conversión. Tanto la conformación de la canal como el grado de engrasamiento es bajo, pero el esperado en una raza de aptitud láctea. El peso canal obtenido fue de 161 kg y el rendimiento canal de 50,7 %. La carne tiene una buena calidad fisicoquímica y nutricional. El hecho de sacrificar a los animales a una edad temprana hace que su carne se caracterice por ser muy magra, con el típico color rojo, muy tierna y con un perfil de ácidos grasos similar al descrito en la carne de vacuno. Por tanto, se puede concluir que estamos ante una carne de excelente calidad, lo que está en consonancia con la demanda actual de la sociedad de consumir alimentos nutritivos y de calidad. Finalmente, el engorde de ganado frisón en Galicia es una actividad rentable y una prometedora oportunidad para los emprendedores.

Declaración de contribución de Autoría

- Rubén Domínguez-Valencia: conceptualización, curación de datos, análisis formal, supervisión y redacción-borrador original.
- Laura Purriños: investigación, análisis formal, validación y redacción-revisión y edición.
- Roberto Bermúdez: análisis formal, investigación, validación y redacción-revisión y edición.

- Francisco Bello: conceptualización, administración del proyecto, supervisión y redacción-revisión y edición.
- Luis García: Análisis formal, investigación, validación y redacción-revisión y edición.
- Francisco Estévez: Conceptualización, curación de datos, investigación, supervisión, validación y redacción-revisión y edición.

Agradecimientos

Este estudio está enmarcado dentro del proyecto de investigación titulado “Ceba en Galicia: Optimización y protocolización de un sistema de engorde de ternero frisón rentable y replicable” (FEADER 2022/062B), concedido en la convocatoria de ayudas para la ejecución de proyectos de los grupos operativos de la Asociación Europea de Innovación del 2022, y financiado con fondos del Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural (FEADER) de la Unión Europea, de la Consellería do Medio Rural de la Xunta de Galicia y del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.

Esta investigación fue apoyada por GAIN (Axencia Galega de Innovación) (referencia IN607A2023/01).

Referencias bibliográficas

- Albertí P., Panea B., Sañudo C., Olleta J.L., Ripoll G., Ertbjerg P., Christensen M., Gigli S., Failla S., Concetti S., Hocquette J.F., Jailler R., Rudel S., Renand G., Nute G.R., Richardson R.I., Williams J.L. (2008). Live weight, body size and carcass characteristics of young bulls of fifteen European breeds. *Livestock Science* 114: 19-30. <https://doi.org/10.1016/J.LIVSCI.2007.04.010>.
- AOCS (2005) AOCS Official Procedure Am5-04. Rapid determination of oil/fat utilizing high temperature solvent extraction. American Oil Chemists Society, Urbana, IL, USA.

- Belew J.B., Brooks J.C., McKenna D.R., Savell J.W. (2003). Warner-Bratzler shear evaluations of 40 bovine muscles. *Meat Science* 64: 507-512. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(02\)00242-5](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(02)00242-5).
- Comisión Europea (2021). EU agricultural outlook for markets, income and environment 2021-2031. Publications Office of the European Union, Directorate-General for Agriculture and Rural Development. Luxembourg. <https://doi.org/10.2762/753688>.
- Dannenberger D., Nuernberg K., Nuernberg G., Ender K. (2006). Carcass- and meat quality of pasture vs concentrate fed German Simmental and German Holstein bulls. *Archives Animal Breeding* 49: 315-328. <https://doi.org/10.5194/AAB-49-315-2006>.
- Domaradzki P., Stanek P., Litwi czuk Z., Skalecki P., Florek M. (2017). Slaughter value and meat quality of suckler calves: A review. *Meat Science* 134: 135-149. <https://doi.org/10.1016/J.MEATSCI.2017.07.026>.
- Domínguez R., Purriños L., Pateiro M., Campagnol P.C.B., Reyes J.F., Munekata P.E.S., Lorenzo, J.M. (2022). Fatty acids. En: *Methods to Assess the Quality of Meat Products 1ª Ed.* (Ed. Lorenzo J.M., Domínguez R., Pateiro M., Munekata P.E.S.), pp. 41-52. Springer Nature, Nueva York, EEUU.
- Florek M., Domaradzki P., Stanek P., Litwi Czuk Z., Skalecki P. (2015). Longissimus lumborum quality of Limousin suckler beef in relation to age and postmortem vacuum ageing. *Annals of Animal Science* 15: 785-798. <https://doi.org/10.1515/AOAS-2015-0019>.
- Gagaoua M., Picard B., Monteils V. (2018). Associations among animal, carcass, muscle characteristics, and fresh meat color traits in Charolais cattle. *Meat Science* 140: 145-156. <https://doi.org/10.1016/J.MEATSCI.2018.03.004>.
- Gündüz T., Çayıroğlu H. (2024). Effects of maize silage withdrawal from finishing ration on weight gain, carcass yield and beef quality of Holstein Friesian × Belgian Blue crossbred bulls. *Czech Journal of Animal Science* 69: 219-229. <https://doi.org/10.17221/40/2024-CJAS>.
- Holman B.W.B., Hopkins D.L. (2021). The use of conventional laboratory-based methods to predict consumer acceptance of beef and sheep meat: A review. *Meat Science* 181: 108586. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2021.108586>.
- ISO 1442 (1997). International standards meat and meat products – Determination of moisture content. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
- ISO 936 (1998). International standards meat and meat products – Determination of ash content. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, Switzerland.
- ISO 937 (1978). International standards meat and meat products – Determination of nitrogen content. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
- López-Fernández O., Domínguez R., Ruiz-Capillas C., Pateiro M., Sosa-Morales M.E., Munekata P.E.S., Sant Ana A.S., Lorenzo J.M., Herrero A.M. (2022). Cholesterol. En: *Methods to Assess the Quality of Meat Products 1ª Ed.* (Ed. Lorenzo J.M., Domínguez R., Pateiro M., Munekata P.E.S.), pp. 65-72. Springer Nature, Nueva York, EEUU.
- Mendizabal J.A., Alberti P., Martínez del Pino L., Urrutia O., Gómez, I., Arana A., Beriain M.J., Purroy A. (2017). Caracterización de canales de terneros Frisones y Pirenaicos mediante la técnica de análisis de imagen. *Book of Abstracts of the XVII Jornadas sobre Producción Animal*, 30 y 31 de mayo, Zaragoza, Spain, pp. 684-686.
- Moon S.S., Seong P.N., Jeong J.Y. (2015). Evaluation of Meat color and physiochemical characteristics in forequarter muscles of Holstein Steers. *Food Science of Animal Resources* 35: 646-652. <https://doi.org/10.5851/KOSFA.2015.35.5.646>.
- Nogalski Z., Pogorzelska-Przybyłek P., Sobczuk-Szul M., Purwin C., Modzelewska-Kapituła M. (2018). Effects of rearing system and feeding intensity on the fattening performance and slaughter value of young crossbred bulls. *Annals of Animal Science* 18: 835-847. <https://doi.org/10.2478/AOAS-2018-0022>.
- Nogalski Z., Pogorzelska-Przybyłek P., Sobczuk-Szul M., Modzelewska-Kapituła M. (2022). Effects of rearing system and fattening intensity on the chemical composition, physicochemical properties and sensory attributes of meat from

- young crossbred (Holstein-Friesian × Hereford) bulls. *Animals* 12: 933. <https://doi.org/10.3390/ANI12070933>.
- Nogalski Z., Modzelewska-Kapituła M., Tkacz K. (2023). Effects of silage type and feeding intensity on carcass traits and meat quality of finishing Holstein-Friesian bulls. *Animals* 13: 3065. <https://doi.org/10.3390/ANI13193065>.
- Pfuhl R., Bellmann O., Kühn C., Teuscher F., Ender K., Wegner J. (2007). Beef versus dairy cattle: a comparison of feed conversion, carcass composition, and meat quality. *Archives Animal Breeding* 50: 59-70. <https://doi.org/10.5194/AAB-50-59-2007>.
- Real Decreto 815/2018, de 6 de julio, por el que se establecen disposiciones de aplicación relativas a la clasificación de las canales de vacuno y ovino y al registro y comunicación de los precios de mercado de determinadas categorías de canales y animales vivos. *Boletín Oficial del Estado*, num. 164, de 7 de julio de 2018, pp. 68273-68289.
- Reglamento (CE) n° 1099/2009 del Consejo, de 24 de septiembre de 2009, relativo a la protección de los animales en el momento de la matanza. *Diario Oficial de la Unión Europea*, num. 303, de 18 de noviembre de 2009, pp. 1-30.
- Rezagholidvand A., Nikkhah A., Khabbazan M.H., Mokhtarzadeh S., Dehghan M., Mokhtabad Y., Sadighi F., Safari F., Rajaei A. (2021). Feedlot performance, carcass characteristics and economic profits in four Holstein-beef crosses compared with pure-bred Holstein cattle. *Livestock Science* 244: 104358. <https://doi.org/10.1016/J.LIVSCI.2020.104358>.
- Rutherford N.H., Gordon A.W., Arnott G., Lively F.O. (2020). The effect of beef production system on the health, performance, carcass characteristics, and meat quality of Holstein bulls. *Animals* 10: 1922. <https://doi.org/10.3390/ANI10101922>.
- Shabtay A., Shor-Shimoni E., Orlov A., Agmon R., Trofimiyuk O., Tal O., Cohen-Zinder M. (2021). The meat quality characteristics of Holstein calves: the story of Israeli 'Dairy Beef.' *Foods* 10: 2308. <https://doi.org/10.3390/FOODS10102308>.
- Simopoulos A.P. (2009). Evolutionary aspects of the dietary Omega-6:Omega-3 fatty acid ratio: Medical implications. *World Review of Nutrition and Dietetics* 100: 1-21. <https://doi.org/10.1159/000235706>.
- Vavrišínová K., Hozáková K., Bučko O., Haščík P., Juhás P., (2019). The effect of the slaughter weight on carcass composition, body measurements and veal quality of Holstein calves. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis* 67: 1235-1243. <https://doi.org/10.11118/actaun201967051235>.
- Vieira C., García M.D., Cerdeño A., Mantecón A.R. (2005). Effect of diet composition and slaughter weight on animal performance, carcass and meat quality, and fatty acid composition in veal calves. *Livestock Production Science* 93: 263-275. <https://doi.org/10.1016/J.LIVPRODSCI.2004.11.020>.
- Wang H., Li H., Wu F., Qiu X., Yu Z., Niu W., He Y., Su H., Cao B. (2019). Effects of dietary energy on growth performance, rumen fermentation and bacterial community, and meat quality of Holstein-Friesians bulls slaughtered at different ages. *Animals* 9: 1123. <https://doi.org/10.3390/ANI9121123>.
- Yu Q., Wu W., Tian X., Hou M., Dai R., Li X. (2017). Unraveling proteome changes of Holstein beef *M. semitendinosus* and its relationship to meat discoloration during post-mortem storage analyzed by label-free mass spectrometry. *Journal of Proteomics* 154: 85-93. <https://doi.org/10.1016/J.JPROT.2016.12.012>.

(Aceptado para publicación el 24 de julio de 2025)

Desarrollo de un léxico sensorial y una rueda sensorial para mieles producidas en México

Blanca Isabel Sánchez-Toledano*

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Zacatecas. Kilómetro 24,5; Zacatecas-Fresnillo, Zacatecas, México. C.P. 98500.

Resumen

La apicultura en México tiene una gran importancia social y económica. Por ende, el análisis sensorial de la miel es crucial como un complemento a los análisis físico-químicos para definir la calidad, verificar la ausencia de defectos, evaluar los perfiles sensoriales establecidos y, además, entender la aceptación y preferencias de los consumidores. Por tanto, la utilización de descriptores específicos para analizar sensorialmente las mieles producidas en cada región es primordial. Esta investigación tuvo como objetivo desarrollar un léxico sensorial y establecer una rueda sensorial para la miel producida en diferentes regiones de México, mediante un análisis descriptivo que permita desarrollar los perfiles sensoriales de las muestras de miel y generar descriptores de aroma, sabor, gusto y sensación en boca. El trabajo planteó como hipótesis que el método de análisis debería ser diferenciador, con términos entendibles para describir y definir estándares para referenciar la miel por regiones. En este estudio, se seleccionaron muestras de miel representativas de diferentes regiones productoras. También, se creó un grupo de panelistas capacitados con quienes se utilizó el método sensorial descriptivo por consenso. Los resultados asociaron descriptores sensoriales específicamente para mieles producidas en México, pero además se desarrolló una rueda que resume las características sensoriales. La presente caracterización sensorial proporciona información valiosa para análisis sensoriales sobre la miel en México que permite tipificar adecuadamente el procedimiento de evaluación de la miel por regiones.

Palabras clave: *Apis mellifera*, atributos, calidad organoléptica, panel entrenado.

Development of a sensory lexicon and a sensory wheel for honeys produced in Mexico

Abstract

Beekeeping in Mexico is of great social and economic importance. Therefore, sensory analysis of honey is crucial as a complement to physical-chemical analyses to define quality, verify the absence of defects, evaluate established sensory profiles, and understand consumer acceptance and preferences. Therefore, the use of specific descriptors to sensorially analyze the honey produced in each region is essential. The objective of this research was to develop a sensory lexicon and establish a sensory wheel for honey produced in the various areas of Mexico, through a descriptive analysis that enables the development of sen-

* Autor para correspondencia: sanchez.blanca@inifap.gob.mx, toledano.blancaisabel@gmail.com

Cita del artículo: Sánchez-Toledano B.I. (2025). Desarrollo de un léxico sensorial y una rueda sensorial para mieles producidas en México. ITEA-Información Técnica Económica Agraria 121(3): 276-288.
<https://doi.org/10.12706/itea.2025.009>



sory profiles for honey samples and the generation of descriptors for aroma, flavor, taste, and mouthfeel. The study hypothesized that the analysis method should be distinctive, using understandable terms to describe and define standards for referencing honey by region. In this study, representative honey samples were selected from different producing regions. In addition, a group of trained panelists was created with whom the descriptive sensory method by consensus was used. The results associated sensory descriptors specifically for honeys produced in Mexico, but a wheel summarizing the sensory characteristics was also developed. This sensory characterization provides valuable information for sensory analyses of honey in Mexico, allowing for the proper classification of the honey evaluation procedure by region.

Keywords: *Apis mellifera*, attributes, organoleptic quality, trained panel.

Introducción

En 2024, México se ubicó como el séptimo productor mundial de miel, con una producción de 61.817 t (SIAP, 2025). La apicultura es la tercera actividad generadora de divisas en el país (\$ 2.522.534.377 MXN) que beneficia principalmente a pequeños productores (Dolores-Mijangos *et al.*, 2017). Magaña Magaña *et al.* (2016) mencionaron que existen factores que afectan la producción de miel como la deforestación, el uso de herbicidas e insecticidas, periodos de sequía prolongados, precipitaciones erráticas, entre otros derivados del cambio climático. Las principales regiones productoras en México son la Península de Yucatán, Norte, Golfo, Costa del Pacífico y Altiplano, cada una con floraciones únicas (SIAP, 2025). En consecuencia, la producción de miel es heterogénea ya que depende de características florísticas, suelo, clima de la región productora y de la misma trashumancia apícola (Luis-Rojas *et al.*, 2022; Cámara-Romero *et al.*, 2024). Por tanto, analizar la calidad sensorial de la miel es determinante porque define la aceptación y preferencia del producto por parte del consumidor, pero, además, es un factor clave para la identificación de la calidad, el origen y posible falsificación y adulteración de la miel que se oferta (Marcazzan *et al.*, 2018).

La evaluación sensorial de los alimentos es una disciplina integrada que permite establecer la calidad de los productos con base

en sus atributos. El análisis sensorial se refiere a la medición y cuantificación de las características de los productos alimenticios evaluables con los sentidos humanos. En este contexto, el control de calidad de la miel considera los atributos de apariencia, olor, gusto y textura (Najeeb *et al.*, 2022). Estas propiedades han sido estudiadas en antaño. Los primeros estudios registrados datan de 1979 en Francia (Piana *et al.*, 2004).

Para caracterizar la calidad sensorial de un alimento, a menudo se emplea el análisis sensorial descriptivo (Lawless y Civille, 2013). En el análisis sensorial descriptivo tradicional, el primer paso es desarrollar un léxico que contenga una lista de descriptores para descomponer la complejidad de la percepción sensorial en componentes individuales (atributos sensoriales) (Chambers *et al.*, 2004). Posteriormente, estos atributos se visualizan y escalan en una rueda sensorial para alimentos en la que los atributos sensoriales se categorizan y organizan jerárquicamente (Darici *et al.*, 2021).

Existe una creciente aplicación de nuevos métodos para la elaboración de perfiles sensoriales que permiten el uso de panelistas no capacitados o consumidores para obtener perfiles sensoriales de productos alimenticios (Varela y Ares, 2012). Sin embargo, para definir los descriptores utilizados en la evaluación sensorial es necesario apoyarse de catadores capacitados. El catador experto actúa como juez de las características sensoriales

del producto en cuestión, y basa sus decisiones en su experiencia, entrenamiento y una serie de datos de tipo analítico como la composición química y las propiedades físicas (Franco Pérez *et al.*, 2021). De igual manera, es primordial establecer un léxico sensorial apropiado para los consumidores, de modo tal que los términos sean entendibles y estandarizados para la elección del producto (Varela y Ares, 2012). Además, la definición de atributos claros proporcionará información valiosa para el análisis descriptivo de los atributos sensoriales que influyen fuertemente en la aceptación y preferencias del consumidor (Chambers, 2017).

Si bien, en el caso de México, se tienen caracterizadas las diferentes mieles producidas por cada región de acuerdo al origen floral, las evaluaciones sensoriales han sido conducidas con descriptores diseñados a nivel internacional. Así que, no obstante que existen estudios sobre léxicos y ruedas sensoriales de miel en otros países (Bruneau *et al.*, 2000; Anupama *et al.*, 2003; Galán-Soldevilla *et al.*, 2005; González *et al.*, 2010; Marcazzan *et al.*, 2018; Dobrinas *et al.*, 2022; Vázquez-Lecona *et al.*, 2025, entre otros), lo cierto es que, hasta ahora, un análisis sensorial descriptivo para la miel producida en México no ha sido definido. De ahí, que esta investigación bus-

có contribuir a disminuir el vacío que existe en la literatura sobre este tema.

El objetivo fue desarrollar un léxico sensorial y establecer una rueda sensorial para la miel producida en diferentes regiones de México, mediante un análisis descriptivo que permita desarrollar los perfiles sensoriales de las muestras de miel y generar descriptores de aroma, sabor, gusto y sensación en boca. Como hipótesis, se planteó que el método de análisis debe ser diferenciador, con términos fáciles de describir y definir estándares de referencia en miel para cada región de producción. Los resultados permitirán caracterizar adecuadamente el procedimiento de evaluación de miel producida en México.

Materiales y métodos

Tratamientos analizados

Los panelistas degustaron miel de las distintas regiones productoras de México con características aromáticas de interés (Tabla 1). Las muestras fueron seleccionadas cuidadosamente por un grupo de discusión formado por productores apícolas e investigadores expertos en apicultura (*n* = 25) cuidando que existiera

Tabla 1. Mielees evaluadas en el estudio.
Table 1. Honeys were evaluated in the study.

Tipo de miel	Lugar de producción	Clave de identificación
Miel de mezquite	Occidente	M1
Miel de aceitilla	Centro-Norte	M2
Miel de mezquite	Norte	M3
Miel de Tajonal	Golfo	M4
Miel de abeja de bosque mesófilo	Costa del pacífico	M5
Miel de abeja Apis melífera (multiflora)	Península de Yucatán	M6
Miel de palo dulce	Altiplano	M7

variabilidad en las características sensoriales (Kemp *et al.*, 2018). Por tanto, se obtuvo miel de diferentes regiones de México (occidente, centro-norte, norte, golfo, costa del pacífico, península de Yucatán y el Altiplano). La miel se conservó en el envase que cada apicultor usa para la comercialización del producto. Posteriormente, las muestras se almacenaron en un lugar oscuro y a temperatura ambiente hasta el momento del experimento.

Todas las pruebas sensoriales realizadas fueron validadas y aprobadas por un comité ético de ciencias sociales, en específico, por el Comité de Riesgos Institucionales (CRI/19-02-2025). Así, el estudio se condujo con base en los principios establecidos en la Declaración de Helsinki, especial énfasis se dio a la protección de la información personal, según lo exigen las normas mexicanas. Por lo tanto, los panelistas firmaron un formulario de consentimiento, mismo que fue leído en voz alta.

Conformación de panel entrenado

El estudio fue conducido en el Laboratorio de Análisis Sensorial del Campo Experimental Zacatecas del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. La instalación cuenta con 12 cabinas de degustación de acuerdo con el protocolo ISO-22000. De esta manera, se ofreció una atmósfera que permite un análisis funcional y objetivo del estudio.

La conformación del panel se realizó en tres etapas:

- Etapa 1. Iniciación: Los candidatos voluntarios fueron entrevistados para evaluar disponibilidad, interés y motivación, filtrando a través de algunas preguntas el tiempo disponible, estado de salud, alergias y preferencias alimenticias.
- Etapa 2. Preselección: Los individuos seleccionados fueron sometidos a capacitación sobre los principales sentidos y términos de

referencia utilizados en el análisis sensorial. Posteriormente, se realizaron diversas pruebas apoyadas por un antifaz que permitió sensibilizar los sentidos. En primer lugar, se identificaron sabores básicos (dulzor, acidez, amargor y salado) a través de diferentes mezclas sensoriales con sacarosa, ácido cítrico, cloruro de sodio y cafeína. Posteriormente, la identificación de olores se llevó a cabo utilizando reactivos específicos en un recipiente herméticamente cerrado y debidamente codificado con números aleatorios de tres cifras que contenía productos conocidos (e.g., agua destilada, zumo de manzana, almíbar en lata, salmuera, cacahuete molido con agua, avellana molido con agua, tomillo, laurel, orégano). De igual manera, se les capacitó sobre las diferentes texturas en los alimentos. Se presentaron muestras con texturas diferentes con el propósito de que el individuo intentara describir el tipo de textura, en caso de no saber asociarlo a una palabra en concreto. Las muestras preparadas fueron naranjas (producto fresco), zanahoria (producto fresco), manzana (producto fresco), coco (producto fresco), avellanas (producto seco), nuez (producto seco), espárragos (producto en conserva), piña en almíbar (producto en conserva), bombones (golosina) y algodón de azúcar (golosina). Dichas muestras se trocearon en tamaños iguales para todos los catadores y en cantidad suficiente para que lo pudieran probar varias veces si lo necesitaban. En cada prueba se consideró aprobado a aquellos individuos que obtuvieron el 80 % de respuestas correctas.

- Etapa 3. Selección de panelistas: Sólo 25 personas fueron reclutadas por sus sensibilidades olfato-gustativas y su capacidad de identificar objetivamente diferencias sutiles entre alimentos. Los panelistas completaron un total de 120 horas de capacitación en la metodología sensorial, inclu-

yendo escalamiento, y se familiarizaron con los atributos sensoriales específicos del producto (miel). Lo anterior se logró con ensayos prácticos que les permitió reconocer, a través del olfato, la vista y el gusto, tanto los atributos negativos como los positivos característicos del producto, así como discernir sus diferentes intensidades (Faleiros-Quevedo *et al.*, 2024).

Evaluación sensorial de las muestras de miel

Para el desarrollo del léxico, los panelistas utilizaron un método sensorial descriptivo por consenso (Chambers, 2017) utilizado en otros estudios (Dooley *et al.*, 2009; Leksrisonpong *et al.*, 2013). Los evaluadores fueron apercibidos para no fumar, comer y beber durante los 60 min previos a la evaluación. Del mismo modo, se les solicitó abstenerse de usar artículos de tocador perfumados o cualquier otro producto que pudiera generar olores en la sala de cata.

Para la evaluación sensorial se siguió la metodología propuesta por Piana *et al.* (2004). Los recipientes usados fueron homogéneos, transparentes, con tapa e inodoros los cuales fueron identificados con un código.

Cada uno de los panelistas fueron provistos con dos recipientes por cada muestra de miel con 40 g cada una. El primer recipiente contenía una disolución de la muestra de miel para evaluar el aroma. La dilución es especialmente aconsejable para evaluar las características olfativas y para evaluar la conformidad con un perfil botánico (Piana *et al.*, 2004). Las muestras se prepararon de la siguiente manera: una parte de la muestra se diluyó con agua inodora (destilada) en proporciones de una parte de agua por cinco partes de miel (en peso), de modo que el contenido final de agua de la mezcla fuera de aproximadamente el 16,67 %. La mezcla se homogenizó y, si aún quedaban partes cristalizadas, esta se calentó en un recipiente cerrado a

baño maría a 40 °C hasta que los cristales de azúcar se disolvieron completamente. Para evaluar el aroma, se utilizó el método retro-nasal, el cual consistió en analizar la percepción del olor que se produce al inhalar los vapores aromáticos que se desprenden de la miel en la cavidad bucal durante su consumo.

El segundo recipiente contuvo una muestra de miel sin diluir para evaluar el sabor y otros atributos diferenciadores. La instrucción fue tomar una pequeña cantidad de miel en una cuchara desechable, se la colocaran en boca y dejaron que la miel se disolviera antes de ingerirla lentamente, de modo tal que se pudieran percibir el sabor, la persistencia, cualquier regusto y otras sensaciones.

Entre cada muestra, el catador esperó unos minutos y comió un trozo de pan y manzana verde, además se enjuagó la boca con agua para limpiar el paladar. De igual manera, se le proporcionó un frasco con café para limpiar la nariz. Con base en estudios previos, la evaluación se programó por la mañana cuando los sentidos son más agudos (Severiano Pérez, 2025).

Desarrollo del léxico y rueda sensorial para mieles en México

Los panelistas identificaron los atributos preliminares, consecutivamente se aplicó un cuestionario con preguntas abiertas para generar una lista con términos iniciales en tres categorías: aroma, sabor y atributo diferenciadores. Los panelistas brindaron una definición de los descriptores y llegaron a un consenso para que la terminología fuese objetiva y fácil de entender. Los descriptores finales se analizaron categorizando similitudes y proximidades lo que permitió el diseño de la rueda sensorial.

Para cada atributo, en términos de porcentaje, se calificó con cinco puntos cuando el reconocimiento fue del 50 % o superior, cuatro

puntos entre el 49 y 40 %, tres puntos entre 39 y 30 %, dos puntos entre 29 y 20 % y un punto entre 19 y 10 %. Los atributos con reconocimiento menor al 9 %, no fueron considerados en esta investigación.

De igual manera, se generaron perfiles sensoriales de las diferentes muestras de miel, considerando los atributos que resultaron estadísticamente significativos en análisis previos. Dichos atributos fueron evaluados por medio de la escala dicotómica y se incluyeron aquellos que mostraron correlaciones significativas por el método de asociación de Spearman (López, 2013; Alsaqr, 2021; Jebb *et al.*, 2021).

Los datos fueron organizados y procesados en una base de datos estructurada en el programa Microsoft Excel (2025) versión 16,94 (25020927) y, posteriormente, los análisis correspondientes a cada sección se generaron mediante el Sistema Estadístico para Ciencias Sociales (SPSS) versión 29,0,0,0 (241).

Resultados y discusión

Léxico sensorial para mieles producidas en México

Como resultado de las sesiones de evaluación sensorial de las muestras de miel, se obtuvieron los atributos que mejor describen la miel de México. Las esencias sensoriales para el atributo aroma determinadas con mayor frecuencia por los panelistas durante la evaluación fueron: fruta madura (0,299), caramelo (0,286) y floral (0,258) (Tabla 2). La presencia de notas dulces y florales puede asociarse a una mayor percepción de calidad sensorial. En contraste, las esencias cuero y fermentación mostraron una baja incidencia general en la muestra total. Estos resultados soportan aquellos encontrados por Clicerí *et al.* (2024) con muestras de miel producidas en Italia y, donde se demostró que los atributos se concentraron en las categorías sensoriales afrutadas, florales y dulces.

Tabla 2. Valores promedio de las esencias relacionadas al olor o aroma de los tratamientos.
Table 2. Analysis of averages of attributes related to the smell or aroma of the treatments.

Esencia	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	Total
Floral	0,238	0,286	0,190	0,333	0,190	0,190	0,381	0,258 ^a
Frutas ácidas	0,286	0,381	0,048	0,095	0,286	0,238	0,143	0,211 ^b
Frutas maduras	0,286	0,238	0,429	0,333	0,190	0,286	0,333	0,299 ^a
Frutos secos	0,143	0,095	0,143	0,143	0,095	0,238	0,238	0,156 ^b
Vegetal	0,238	0,333	0,048	0,190	0,190	0,286	0,238	0,218 ^b
Amaderado	0,190	0,286	0,238	0,095	0,238	0,238	0,286	0,224 ^b
Tostado	0,095	0,143	0,619	0,048	0,190	0,286	0,095	0,211 ^b
Caramelo	0,333	0,381	0,381	0,286	0,190	0,238	0,190	0,286 ^a
Cuero	0,000	0,048	0,048	0,000	0,048	0,095	0,048	0,041 ^c
Fermentación	0,000	0,048	0,190	0,000	0,048	0,095	0,095	0,068 ^c

^{a, b, c}, Diferencias estadísticas al 95 %.

Se encontró que la esencia floral tuvo una correlación significativa y positiva (0,823) con el atributo olor. Sin embargo, se observaron tendencias interesantes: esencias como tostado, frutos secos, cuero y fermentación revelaron correlaciones negativas; entonces, estos tienden a estar asociados con valoraciones bajas para el atributo olor. Por el contrario, esencias como caramelo, vegetal, amaderado y frutas ácidas se asociaron positivamente con la percepción del olor, respaldando una mayor aceptación sensorial cuando estas esencias estén presentes (Tabla 3). Los resultados aquí presentados son semejantes a evaluaciones conducidas en Indonesia, donde la esencia dulce, el regusto dulce, el sabor a caramelo y la viscosidad de la miel fueron las

que tuvieron mayor presencia, no así el regusto agrio (Melina *et al.*, 2023). De igual manera, en la miel producida en Estonia, el olor estuvo dominado por esencias amaderadas y con olor a animales (Kivima *et al.*, 2021).

Análisis de atributos dicotómicos relacionados al sabor

El sabor dulce fue el más reportado (0,639), el atributo ácido tuvo una presencia intermedia (0,299) y el sabor amargo fue el menos reportado (0,156). Con estos hallazgos, se concluyó que las muestras de miel evaluadas presentaron un perfil gustativo predominantemente dulce, con baja presencia de notas menos deseadas como el amargor (Tabla 4).

Tabla 3. Correlaciones de Spearman para el atributo olor.
Table 3. Spearman correlations for the attribute odor.

Correlaciones del atributo olor	Coefficiente de correlación
Floral	0,823*
Frutas ácidas	0,145*
Frutas maduras	0,138
Frutos secos	-0,480*
Vegetal	0,459*
Amaderado	0,151*
Tostado	-0,655*
Caramelo	0,376*
Cuero	-0,392*
Fermentación	-0,380*

*Coeficientes de correlación significativos ($p < 0,05$).

Tabla 4. Percepción promedio del sabor en los tratamientos.
Table 4. Analysis of means of attributes related to the taste of the treatments.

Sabor	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	Total
Dulce	0,667	0,857	0,286	0,905	0,619	0,476	0,667	0,639 ^a
Ácido	0,381	0,286	0,429	0,095	0,333	0,286	0,286	0,299 ^b
Amargo	0,143	0,048	0,333	0,048	0,143	0,238	0,143	0,156 ^c

^{a, b, c}, Diferencias estadísticas al 95 %.

Los coeficientes de correlación de Spearman calculados para el atributo sabor (Tabla 5) mostraron asociaciones estadísticamente significativas con la sensación dulce. En este tenor, se observó una tendencia clara en la valoración del sabor, la cual fue positiva en presencia de notas dulces intensas (0,793) pero negativa cuando se identificaron componentes ácidos (−0,593) o amargos (−0,636). Los resultados revelaron sabores dulces y una menor percepción de sabores ácidos o amargos.

Tabla 5. Correlaciones de Spearman para la sensación de sabor.
Table 5. Spearman correlations for the attribute flavor.

Correlaciones del atributo sabor	Coefficiente de correlación
Dulce	0,793*
Ácido	−0,593*
Amargo	−0,636*

*Coeficientes de correlación significativos ($p < 0,05$).

Análisis de atributos diferenciadores dicotómicos para los tratamientos de miel

Las propiedades organolépticas con mayor expresión media fueron la persistencia (0,626), textura (0,565), regusto (0,551) y granulosidad (0,551). En contraste, las propiedades organolépticas menos frecuentes fueron las sensaciones trigeminales de astringencia (0,272) y picoso (0,177) (Tabla 6). Los hallazgos evidenciaron que las muestras de la miel empleadas en los diferentes tratamientos tienden a

una sensación táctil y de retrogusto prolongado, lo cual, influye positivamente en la percepción de calidad y en la complejidad del producto. En la miel producida en Polonia, la sensación picante apareció en la evaluación, sin embargo, esto no afectó negativamente la evaluación general (Starowicz *et al.*, 2021). Contrariamente, las evaluaciones de la miel producida en Australia indicaron un regusto intenso lo que indujo un desagrado entre los panelistas (Hunter *et al.*, 2021).

Tabla 6. Análisis de medias de atributos diferenciadores relacionados a los tratamientos.
Table 6. Analysis of means of differentiating attributes related to treatments.

Características organolépticas	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	Total
Persistencia	0,667	0,762	0,619	0,667	0,571	0,667	0,429	0,626 ^a
Regusto	0,524	0,571	0,762	0,476	0,286	0,524	0,714	0,551 ^a
Textura	0,619	0,667	0,524	0,571	0,381	0,571	0,619	0,565 ^a
Granulosidad	0,762	0,762	0,048	0,857	0,095	0,810	0,524	0,551 ^a
Sensaciones trigeminales	0,286	0,238	0,429	0,095	0,143	0,333	0,381	0,272 ^c
Refrescante	0,333	0,333	0,333	0,333	0,476	0,286	0,524	0,374 ^b
Picoso	0,190	0,095	0,286	0,048	0,190	0,333	0,095	0,177 ^c

^{a, b, c}, Diferencias estadísticas al 95 %.

El análisis de correlación detectó una asociación significativa entre la valoración global y las características organolépticas (Tabla 7). El picor tuvo una correlación significativa y negativamente fuerte (−0,898*). La percepción del picor afecta la aceptación general del producto. Similarmente, la astringencia presentó una correlación negativa baja (−0,291) aunque no significativa. También se observaron algunas tendencias de interés. Como, por ejemplo, la textura presentó la correlación positiva moderada con la valoración global

(0,593), lo cual sugiere que una textura agradable y densa puede influir positivamente en la percepción del producto. Del mismo modo, se observaron correlaciones moderadas con granulosidad (0,413) y persistencia (0,245). Al respecto, Cosmina *et al.* (2016) encontraron que la presencia de cristales en la miel era desagradable para los consumidores italianos. Sin embargo, la cristalización es una característica de pureza y calidad que ocurre naturalmente y que alude a la autenticidad de la miel (Nakib *et al.*, 2024).

Tabla 7. Correlaciones de Spearman para atributos diferenciadores.
Table 7. Spearman correlations for differentiating attributes.

Correlaciones del atributo valoración global	Coeficiente de correlación
Persistencia	0,245*
Regusto	0,156
Textura o viscosidad	0,593*
Granulosidad	0,413*
Sensaciones trigeminales	−0,291
Refrescante	0,211
Picoso	−0,898*

*Coeficientes de correlación significativos ($p < 0,05$).

Rueda sensorial para mieles producidas en México

Esta sección analizó los atributos resultantes para identificar patrones y relaciones entre los descriptores. Esta categorización ayudó a establecer una estructura jerárquica de los atributos que finalmente influyó en el diseño de la rueda sensorial (Figura 1). Cada sector de la rueda corresponde a una categoría específica, creando una representación completa y visualmente intuitiva de la interacción entre los diferentes atributos. Simultáneamente, la rueda sensorial se distribuyó

en tres niveles. El primero se asoció con las características principales y dominantes de los componentes analizados; mientras que el segundo se asoció con las conexiones entre los descriptores y el tercero con características específicas. En cuanto al color, se optó por colocar la gama de colores que presentan las mieles mexicanas. Los panelistas no tuvieron diferencias significativas en este atributo. Ciappini *et al.* (2022) también definieron las preferencias de consumidores argentinos en muestras de miel que van desde colores claros hasta oscuros.

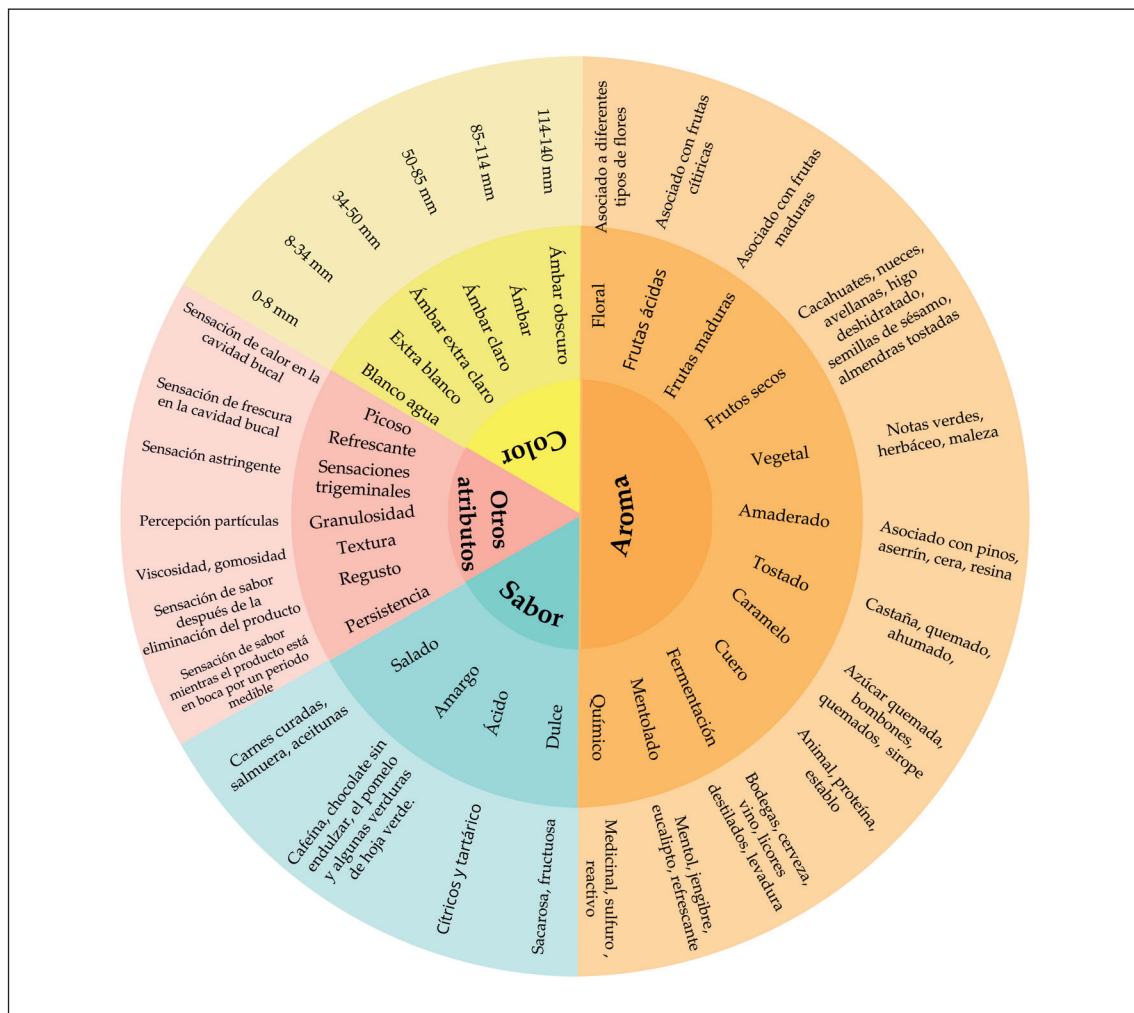


Figura 1. Rueda sensorial para mieles producidas en México.

Figure 1. Sensory wheel for honeys produced in Mexico.

Conclusiones

La calidad sensorial de la miel es heterogénea de acuerdo a las regiones productoras. Sin embargo, la creación de una rueda sensorial con catadores expertos y lenguaje sencillo permitirá evaluaciones prácticas e integrales. Los descriptores más importantes fueron el color, aroma, sabor y otros atributos diferenciadores. Los resultados pueden utilizarse

para evaluar la conformidad de la miel con los estándares sensoriales establecidos y para medir la intensidad de los atributos.

Se desarrolló un vocabulario sensorial que describe las características de las mieles mexicanas. Todos los atributos fueron discriminantes y no se encontraron atributos redundantes en el vocabulario definido. Sin embargo, la lista de términos podría estar incompleta debido al

número de mieles analizadas en este estudio. No obstante, este léxico podría contribuir a mejorar el control de calidad de las mieles mexicanas y reducir la brecha entre los estándares comerciales y la demanda real del consumidor. Por lo tanto, el uso de descriptores específicos en la evaluación sensorial junto con la tecnología de análisis químico de miel ayudará a establecer estándares de sabor, trazabilidad del producto y responsabilidad.

Como consideraciones futuras se recomienda validar los criterios propuestos en diversos estudios.

Declaración de autoría

Blanca Isabel Sánchez-Toledano: conceptualización, curación de datos, análisis formal, supervisión y redacción: BIST.

Agradecimientos

Esta investigación forma parte del proyecto PRONAI No. 319195 en la creación de un Laboratorio de Análisis Sensorial en el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Zacatecas.

Referencias bibliográficas

Alsaqr A.M. (2021). Remarks on the use of Pearson's and Spearman's correlation coefficients in assessing relationships in ophthalmic data. *African Vision and Eye Health* 80(1): a612. <https://doi.org/10.4102/aveh.v80i1.612>

Anupama D., Bhat K.K., Sapna V.K. (2003). Sensory and physico-chemical properties of commercial samples of honey. *Food Research International* 36(2): 183-191. [https://doi.org/10.1016/S0963-9969\(02\)00135-7](https://doi.org/10.1016/S0963-9969(02)00135-7)

Bruneau E., Barbier E., Gallez L.M., Guyot-Declerck C. (2000). La roue des arômes des miels. *Abeilles et Cie* 77: 16-23.

Cámara-Romero J., Cetzal-Ix W., Alaniz-Gutiérrez L., Rojas-Herrera A., Aparicio-López J., Rodríguez-Alviso C. (2024). Conocimiento socio-ecológico de la actividad apícola en la Costa Chica de Guerrero, México. *Revista Mexicana De Ciencias Pecuarias* 15(2): 360-375. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v15i2.6533>

Ciappini M.C., Pozzo L., Díaz P., Arias L.M. (2022). Sensory profile and preference map for Argentinian honeys of different floral origins. *AgriScientia* 39 (1): 133-152. <https://doi.org/10.31047/1668.298x.v39.n1.35250>

Cosmina M., Gallenti G., Marangon F., Troiano S. (2016). Reprint of "Attitudes towards honey among Italian consumers: A choice experiment approach". *Appetite* 106: 110-116. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2016.08.005>

Chambers E. (2017). Consensus methods for descriptive analysis. En: *Descriptive Analysis in Sensory Evaluation* (Ed. Kemp S.E., Hort J., Hollowood T.), pp. 213-236. John Wiley & Sons, Ltd.; Chichester, UK. <https://doi.org/10.1002/9781118991657.ch6>

Chambers D.H., Allison A.A., Chambers E. (2004). Training effects on performance of descriptive panelists. *Journal of Sensory Studies* 19: 486-499. <https://doi.org/10.1111/j.1745-459X.2004.082402.x>

Clicerì D., Menghi L., Marazzan G.L., Endrizzi I., Jaeger R., Gasperi F. (2024). Sensory dimensions of typicality and association with affective-related responses: A study on local multifloral honey. *International Journal of Gastronomy and Food Science* 38: 101055. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2024.101055>

Darici M., Özcan K., Beypinar D., Cabaroğlu T. (2021). Sensory lexicon and major volatiles of raki using descriptive analysis and GC-FID/MS. *Foods* 10: 1494. <https://doi.org/10.3390/foods10071494>

Dobrinás S., Soceanu A., Birghila S., Birghila C., Matei N., Popescu V., Constanda L.M. (2022). Chemical analysis and quality assessment of honey obtained from different sources. *Processes* 10(12): 2554. <https://doi.org/10.3390/pr10122554>

- Dolores-Mijangos G., Santiago-Cruz M.J., Arana-Coronado J.J., Utrera-Quintana F. (2017). Estudio del impacto de la actividad apícola en el Istmo de Tehuantepec, Oaxaca, México. *Agricultura Sociedad y Desarrollo* 14(2): 187-203.
- Dooley L.M., Adhikari K., Chambers E. (2009). A general lexicon for sensory analysis of texture and appearance of lip products. *Journal of Sensory Studies* 24: 581-600. <https://doi.org/10.1111/j.1745-459X.2009.00227.x>
- Faleiros-Quevedo M., Barbieri C., Motta A.C.I., Franco T.M. (2024). The role of qualitative tests in detecting adulterants in stingless bee honey: A promising approach for honey producers and consumers. *Brazilian Journal of Food Technology* 27: e2023059. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.05923>
- Franco Pérez A.F., Naranjo Armillo F.G., Moreira Rosales L.V. (2021). Análisis educativo sobre la valoración sensorial en catación de vinos. *Conrado* 17(78): 178-182.
- Galán-Soldevilla H., Ruiz-Pérez-Cacho M.P., Serrano Jimenez S., Jodral Villarejo M., Bentabol Manzanares A. (2005). Development of a preliminary sensory lexicon for floral honey. *Food Quality and Preference* 16(1): 71-77. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2004.02.001>
- González M.M., De Lorenzo C., Pérez R.A. (2010). Development of a structured sensory honey analysis: Application to artisanal Madrid honeys. *Food Science and Technology International* 16(1): 19-29. <https://doi.org/10.1177/1082013209351869>
- Hunter M., Kellett J., Toohey K., Naumovski N. (2021). Sensory and compositional properties affecting the likeability of commercially available Australian honeys. *Foods* 10(8): 1842. <https://doi.org/10.3390/foods10081842>
- Jebb A.T., Ng V, Tay L. (2021). A review of key Likert scale development advances: 1995-2019. *Frontiers in psychology* 12: 637547. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.637547>
- Kemp S.E., Ng M., Hollowood T., Hort J. (2018). Introduction to descriptive analysis. En: *Descriptive analysis in Sensory Evaluation* (Ed. Kemp S.E., Hort J., Hollowood T.), pp. 1-39. John Wiley & Sons, Ltd.; Chichester, UK. <https://doi.org/10.1002/9781118991657.ch1>
- Kivima E., Tanilas K., Martverk K., Rosenvald S., Timberg L., Laos K. (2021). The composition, physicochemical properties, antioxidant activity, and sensory properties of Estonian honeys. *Foods* 10(3): 511. <https://doi.org/10.3390/foods10030511>
- Lawless L.J.R., Civille G.V. (2013). Developing lexicons: A review. *Journal of Sensory Studies* 28: 270-281. <https://doi.org/10.1111/joss.12050>
- Leksrisompong P.P., Lopetcharat K., Guthrie B., Drake M.A. (2013). Preference mapping of lemon lime carbonated beverages with regular and diet beverage consumers. *Journal of Food Science* 78: S320-S328. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12028>
- López Soto P.J. (2013). Contraste de hipótesis. Comparación de más de dos medias independientes mediante pruebas no paramétricas: Prueba de Kruskal-Wallis. *Enfermería del Trabajo* 3(4): 166-171. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4698281> (consultado: 4 agosto 2025).
- Luis-Rojas S., García-Sánchez R.C., García-Mata R., Arana-Coronado O.A., Ramírez-Valverde B. (2022). Modelo de intervención y pronóstico de precios pagados al productor de la miel de abeja (*Apis mellifera* L.) en México. *Agrociencia* 56(3): 638-668. <https://doi.org/10.47163/agrociencia.v56i3.2807>
- Marcazzan G.L., Mucignat-Caretta C., Marchese C.M., Piana M.L. (2018). A review of methods for honey sensory analysis. *Journal of Apicultural Research* 57(1): 75-87. <https://doi.org/10.1080/00218839.2017.1357940>
- Magaña Magaña M.A., Tavera Cortés M.E., Salazar Barrientos L.L., Sanginés García J.R. (2016). Productividad de la apicultura en México y su impacto sobre la rentabilidad. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 5(7): 1103-1115. <https://doi.org/10.29312/remexca.v7i5.235>
- Melina M., Adawiyah D.R., Hunaefi D. (2023). Indonesian honey consumers' behavior and sensory preference for commercial trigona honey. *Jurnal Teknologi Dan Industri Pangan* 34(1): 86-97. <https://doi.org/10.6066/jtip.2023.34.1.86>
- Najeeb I.M.A., Norhayati M.K., Zaharah H., Mohd Isa N.S., Nur Nadrah M.R., Yusof H.M. (2022).

- Physicochemical properties, sensory acceptance and glycaemic index of processed stingless bee honey and processed honeybee honey. *Food Research* 6(6): 103-110. [https://doi.org/10.26656/fr.2017.6\(6\).745](https://doi.org/10.26656/fr.2017.6(6).745)
- Nakib R., Ghorab A., Harbane S., Saker Y., Ouelhad A., Rodríguez-Flores M.S., Seijo M.C., Escuredo O. (2024). Sensory attributes and chemical composition: the case of three monofloral honey types from Algeria. *Foods* 13(15): 2421. <https://doi.org/10.3390/foods13152421>
- Piana M.L., Persano Oddo L., Bentabol A., Bruneau E., Bogdanov S., Guyot Declerck C. (2004). Sensory analysis applied to honey: state of the art. *Apidologie* 35(1): S26-S37. <https://doi.org/10.1051/apido:2004048>
- Severiano Pérez P. (2025). Manual de evaluación sensorial. Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México. 218 p.
- SIAP – Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2025). Avance mensual de la producción pecuaria. Disponible en: https://nube.agricultura.gob.mx/avance_pecuario/ (Consultado: junio 2025).
- Starowicz M., Lamparski G., Ostaszyk A., Szmato-wicz B. (2021). Quality evaluation of polish honey: On-line survey, sensory study, and consumer acceptance. *Journal of Sensory Studies* 36(4): e12661. <https://doi.org/10.1111/joss.12661>
- Varela P., Ares G. (2012). Sensory profiling, the blurred line between sensory and consumer science. A review of novel methods for product characterization. *Food Research International* 48(2): 893-908. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.06.037>
- Vázquez-Lecona H.U., Ramírez-Rivera E.J., López-Espíndola M., Hernández-Martínez R., Herrera-Corredor A. (2025). Development of sensory lexicon for aromas of espadín mezcal (*Agave angustifolia*) based on analytical hierarchy process with trained panellists and mezcal masters. *International Food Research Journal* 32(1): 121-133. <https://doi.org/10.47836/ifrj.32.1.09>
- (Aceptado para publicación el 11 de agosto de 2025)

Identificación de los sistemas de vacuno leche representativos de España desde una perspectiva ambiental

Gregorio Salcedo^{1,*}, Daniel Salcedo-Rodríguez²

¹ CIFP "La Granja", Barrio Estación, 25B, 39792 Heras, Cantabria, España.

² INDRA, Dpto. Sistemas de información, Avda. de Bruselas 35, 28108 Alcobendas, Madrid, España.

Resumen

En España, el número de explotaciones de vacuno lechero ha disminuido, mientras que la producción de leche por granja ha aumentado, consolidándose la intensificación en el sector. Los objetivos de este trabajo fueron identificar y caracterizar una muestra de 237 explotaciones lecheras de España situadas en Galicia, Asturias, Cantabria, Navarra, Castilla y León y Cataluña a partir de los impactos ambientales, aplicando un análisis de componentes principales. Este identificó cuatro componentes que explican el 85,1 % de la varianza, clasificando cuatro tipologías: i) Intensivas baja base territorial (IntBbTe, 27 %); ii) Intensivas alta base territorial (IntAbTe, 55,2 %), iii) Extensivas baja base territorial (ExtBbTe, 3,3 %) y iv) Extensivas alta base territorial (ExtAbTe, 14,3 %). Las tipologías intensivas contienen mayor base territorial que las extensivas (44,8 vs. 32,1 ha⁻¹), superficie de cultivos forrajeros anuales (29,4 % vs. 0,67 %), carga ganadera (3,29 vs. 2,8 UGM ha⁻¹), compra de alimentos (50,3 % vs. 43,3 %) y producción de leche (14,3 vs. 7,8 t ha⁻¹). Por contra, el 60 % de los impactos ambientales por kilogramo de leche fueron inferiores en las intensivas y el 8 % similar a las extensivas. Los kilogramos de pienso por kilogramo de leche, los kilogramos de leche vaca y año, la eficiencia de utilización del N en el conjunto del rebaño y de la explotación explican la variabilidad de los impactos ambientales de forma robusta. Se concluye señalando que un cierto grado de intensificación en los sistemas extensivos, podría mejorar tanto la productividad como los impactos ambientales.

Palabras clave: Análisis de componentes principales, caracterización, vacas lecheras, impactos ambientales, península ibérica.

Identification of representative dairy cattle systems in Spain from an environmental perspective

Abstract

In Spain, the number of dairy cattle farms has decreased, while milk production per farm has increased, consolidating intensification in the sector. The objectives of this work were to identify, characterize and suggest mitigation measures for a sample of 237 dairy farms in Spain located in Galicia, Asturias, Cantabria, Navarra, Castilla y León and Cataluña based on environmental impacts, applying a principal component analysis. This identified four components that explain 85.1 % of the variance, classifying four typologies: i) Intensive low territorial base (IntBbTe, 27 %); ii) Intensive high territorial base (IntAbTe,

* Autor para correspondencia: gregoriosal57@gmail.com

Cita del artículo: Salcedo G., Salcedo-Rodríguez D. (2025). Identificación de los sistemas de vacuno leche representativos de España desde una perspectiva ambiental. ITEA-Información Técnica Económica Agraria 121(3): 289-324. <https://doi.org/10.12706/itea.2025.010>



55.2 %), iii) Extensive low territorial base (ExtBbTe, 3.3 %) and iv) Extensive high territorial base (ExtAbTe, 14.3 %). Intensive typologies contain higher land base than extensive typologies (44.8 vs. 32.1 ha⁻¹), annual forage crop area (29.4 % vs. 0.67 %), livestock load (3.29 vs. 2.8 LU ha⁻¹), feed purchase (50.3 % vs. 43.3 %) and milk production (14.3 vs. 7.8 t ha⁻¹). In contrast, 60 % of the environmental impacts per kilogram of milk were lower in intensive farms and 8 % were similar to those in extensive farms. The kilograms of feed per kilogram of milk, kilograms of milk per cow per year, and the efficiency of N utilization in the herd and farm as a whole explain the variability of the environmental impacts in a robust way. It is concluded that a certain degree of environmental

Keywords: Principal component analysis, characterization, dairy cows, environmental impacts.

Introducción

El sector vacuno lechero español es, dentro de las producciones ganaderas, el tercero en importancia económica, por detrás del porcino y del vacuno de carne (MAPA, 2023a). Según esta fuente, en España existen dos modelos de producción lechera bien diferenciados. Uno basado en “unidades de pequeña dimensión y muy atomizado”, situado principalmente en las comunidades autónomas (CC. AA.) de la cornisa cantábrica; y otro más “intensivo”, basado en el regadío y caracterizado por la compra de alimentos, con explotaciones de mayor dimensión que se beneficiaban de economías de escala, pero que presentan una gran dependencia de materias primas procedentes del exterior y un mayor impacto ambiental. Este segundo modelo se identifica con el que se desarrolla en zonas de producción más intensivas de la España seca.

El Anuario de Estadística Agraria (MAPA, 2021) señaló para España una producción de leche de vaca equivalente a $7,4 \times 10^6$ t; concentrándose el 39,5 % en Galicia; el 12,3 % en Castilla y León; el 10,05 % en Cataluña; el 7,67 % en Asturias; el 6,09 % en Cantabria y el 3,34 % en Navarra. El rendimiento por vaca se incrementó en España en un 41,7 % durante las dos últimas décadas (de 5495 a 9424 kg/año), similar al incremento del 40 % registrado en Europa (de 5409 a 7574 kg; Eurostat, 2023). Al mismo tiempo, el número de vacas lecheras descendió en España un

27,6 % (390.000 cabezas), una reducción superior al 14,5 % observado en Europa (AHDB Dairy, 2016; Eurostat, 2016; Britt *et al.*, 2018). Estos cambios han reducido el número de explotaciones (FAO, 2018; Clay *et al.*, 2020), concentrando el censo en menos explotaciones con más animales (Freidberg, 2009) y más eficientes (McGregor y Houston, 2017), consolidándose la intensificación del sector, con importantes cambios en la utilización del suelo agrícola, aumentando la superficie dedicada a cultivos forrajeros del 10 % en 1989 al 25 % en 2016, principalmente maíz (MAPA, 2023), con una estrecha relación entre la producción de biomasa y el porcentaje de superficie dedicado este cultivo (Salcedo, 2020).

La producción lechera proporciona beneficios saludables y económicos (FEN, 2021) a la sociedad (representando el 13,2 % de la producción ganadera y el 5,2 % del valor de la producción agraria; MAPA, 2023b), pero también genera impactos negativos al medio ambiente (Peterson y Mitloehner, 2021); como emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), pérdidas de nitrógeno (N) y consumo de recursos naturales (Styles *et al.*, 2017). Bajo este contexto surgió el concepto de intensificación sostenible, definido como un proceso mediante el cual se incrementa la producción sin generar impactos ambientales adversos (Garnett *et al.*, 2013; Pretty y Pervez, 2018). Los sistemas integrados de cultivo y ganadería se han descrito como una alternativa a la producción ganadera especializada

por contribuir potencialmente a la sostenibilidad general de los agroecosistemas (Sneessens *et al.*, 2019).

Las principales fuentes de gases de efecto invernadero (GEI) y contaminantes del aire en los sistemas lecheros incluyen la fermentación entérica, el almacenamiento de estiércol, la aplicación de fertilizantes orgánicos e inorgánicos, la utilización de combustibles fósiles y la producción de alimentos (Amon *et al.*, 2021). Minimizar estos impactos ambientales en la producción de leche y asegurar la seguridad alimentaria son los principales ejes de la Política Agraria Europea (Comisión Europea, 2020), junto con la mejora de la rentabilidad de las explotaciones (Foresight, 2011).

Según Thoma *et al.* (2013), más del 70 % de las emisiones asociadas a un kilogramo de leche tiene lugar en la propia explotación, siendo el metano entérico, el manejo del estiércol y la producción de alimentos los más destacados. El 30 % restante lo forman la compra de fertilizantes, alimentos, plásticos, energía, etc. Muchas explotaciones lecheras de América del Norte, Nueva Zelanda y algunas de la Unión Europea de 27 países (UE-27) utilizan la pradera como estrategia de intensificación lechera (Oenema y Oenema, 2021) y, al igual que las intensivas estabuladas, sufren presión por la emisión de gases de efecto invernadero, amoníaco y pérdidas de N y P (Gerber *et al.*, 2011; Westhoek *et al.*, 2014). El amoníaco (N-NH_3) procede principalmente de las excretas de los animales y su posterior aplicación en campo, afectando a la calidad del aire (Hristov *et al.*, 2019) y provocando acidificación del ecosistema (Audsley *et al.*, 1997), afectando a las plantas, los animales y los seres vivos. El N y P no utilizado por los cultivos puede acumularse en el suelo, contaminar las aguas subterráneas por nitratos y generar procesos de eutrofización en las aguas superficiales (Knowlton y Cobb, 2006; Stokal *et al.*, 2016).

Peterson y Mitloehner (2021) señalan que los sistemas lecheros pueden producir de forma

sostenible adoptando diferentes estrategias, como reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, el consumo de agua, mejorar la calidad del suelo, el bienestar animal, la salud de los animales y fomentar la biodiversidad. La Comisión Europea (2021) propuso la implantación de prácticas agrarias orientadas a reducir los impactos ambientales en las explotaciones de leche, entre otras: la rotación de cultivos, la siembra de cultivos de cobertura y captura, la gestión de los residuos de cultivos, mejorar la eficiencia de los fertilizantes, el manejo del pastoreo, el empleo de abonos verdes, la siembra de cultivos intercalados, la manipulación de las dietas, el empleo de fertilizantes minerales de bajas emisiones de amoníaco y técnicas de aplicación, el tratamiento y almacenamiento del estiércol, el uso de inhibidores de la nitrificación, minimizar el laboreo, etc. Incluir los impactos ambientales en la evaluación de los sistemas lecheros se presenta como un paso más de mitigación en el sector ganadero, contribuyendo a la optimización de los recursos.

El objetivo principal de este trabajo fue identificar y caracterizar las tipologías de los sistemas lecheros de España a partir del análisis de componentes principales basado en variables relacionadas con los impactos ambientales. El análisis de tipología propuesto puede facilitar la toma de decisiones a la hora de seleccionar medidas de mitigación y sostenibilidad aplicables en una gran parte del territorio nacional.

Material y métodos

Área de estudio

Las CC.AA. y el número de explotaciones analizadas fueron: Asturias ($n = 15$), Cantabria ($n = 175$), Cataluña ($n = 4$), Castilla y León ($n = 10$), Galicia ($n = 25$) y Navarra ($n = 8$), lo que suma un total de 237 explotaciones e implica

18.970 vacas lecheras, que representan el 2,34 % del censo en España (MAPA, 2021). La información recopilada procede de diversos proyectos de investigación financiados por el INIA, el Ministerio de Economía, Industria y Competitividad, y el Gobierno de Cantabria (INIA-RTA: N° 2015-00058-C06 y 02) y N° 12-00065; Proyecto FPI2015-0016; 05-640.02-2174; 05-640.02-2174 y 2015CPD10001), desarrollados entre 2014 y 2018, así como del Grupo Leche Pascual, que aportó datos en el año 2022.

Recogida de la información

Los datos fueron proporcionados directamente por los ganaderos mediante entrevistas personales, siguiendo el protocolo definido por Salcedo y Salcedo-Rodríguez (2022). Dichas entrevistas incluyeron aspectos relacionados con: i) la localización, ii) la base territorial y la distribución forrajera, iii) la fertilización, iv) la composición y manejo del rebaño, v) la alimentación de los animales, vi) la producción y composición química de la leche, y vii) el consumo de energía.

Marco de modelización

El marco de modelización utilizado fue el modelo DairyCant (Salcedo y Salcedo-Rodríguez, 2022), empleado para calcular los impactos ambientales recogidos en la Tabla 1. Este modelo evalúa, a escala de explotación, aspectos relacionados con la nutrición del ganado; la fertilización de los cultivos; la producción de leche y forraje; los balances y eficiencias de nitrógeno (N) y fósforo (P) de la explotación. Además, estima las pérdidas de N-NH_3 , NO_x , NO_3 , N_2O del suelo, así como, las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a la leche, carne y los forrajes. También calcula diversas huellas ambientales como:

- Carbono parcial (HP):
 $\sum (\text{CH}_4 + \text{CO}_2 + \text{N}_2\text{O})$ [1]

- Carbono total (HT):
 $\sum (\text{HP} + \text{uso indirecto del suelo} - \text{secuestro de carbono})$ [2]

- Hídrica (HH_t) (Salcedo *et al.*, 2022):
 $\sum (\text{agua verde} + \text{agua azul} + \text{agua gris})$ [3]

- Energética directa (HE_d):
(fósil + electricidad) [4]

- Energética indirecta (HE_i): asociada a la compra de bienes y labores contratadas (Bos *et al.*, 2014)

- Nitrógeno total (HN_t): $[\sum \text{N ha}^{-1}$
(compra alimentos + fertilizantes + fijación biológica + deposición atmosférica + compra animales)]
/ kg N leche ha^{-1} [5]

- Nitrógeno reactivo (HN_r)
(Sutton *et al.*, 2011):
 $(\text{N} + \text{NH}_4 + \text{N}_2 + \text{N}_2\text{O} + \text{NO} + \text{NO}_3^-)$
/ kg N leche ha^{-1} [6]

Y se calculan los impactos potenciales en acidificación ($\text{SO}_{2e} = 1$; $\text{NO}_x = 0,7$ y $\text{NH}_3 = 1,89$; (Audsley *et al.*, 1997) y eutrofización ($\text{NO}_{3e} = 1$; $\text{NO}_x = 1,35$; $\text{NH}_3 = 3,64$ y $\text{PO}_4^- = 10,45$; (Weidema *et al.*, 1996).

El modelo permite asimismo estimar la composición química de la hierba de prado a partir de datos meteorológicos, de manejo y fertilización. En cuanto a los forrajes utilizados, su composición procede de la propia base de datos del modelo.

Unidad funcional

La unidad funcional utilizada fue un kilogramo de leche estandarizada por grasa y proteína al 4 % y 3 %, respectivamente (FPCM, por sus siglas en inglés), medida a la salida de la granja, conforme a la definición del IDF (2022), mediante la siguiente ecuación:

- FPCM (kg/día) = producción de leche
 $(\text{kg/día}) \times (0,1226 \times \text{grasa} (\%) + 0,0776 \times \text{proteína} (\%) + 0,2354)$ [7]

Tabla 1. Estadística descriptiva de los impactos ambientales por kilogramo de leche corregido por grasa y proteína (n = 237 explotaciones).

Table 1. Descriptive statistics of environmental impacts per kilogram of milk corrected for fat and protein (n = 237 farms).

Variable	Unidad	Media	Mínimo	Máximo	DE ¹
Huella carbono parcial, HP	kg CO _{2e}	1,19	0,6	4,0	0,41
Huella carbono total, HT	kg CO _{2e}	1,30	0,65	4,12	0,39
Huella carbono asignada a leche, HTasig	kg CO _{2e}	1,14	0,39	3,98	0,38
Huella carbono kg ⁻¹ PV ² vendido	kg CO _{2e}	7,83	3,93	24,8	2,34
CO ₂ de la soja	kg CO ₂	0,16	0	0,5	0,10
Uso indirecto del suelo (iLUC)	kg CO _{2e}	0,05	0	0,32	0,06
Secuestro de carbono (SC)	kg CO ₂	-0,096	-0,66	-0,03	0,058
Acidificación potencial	g SO _{2e}	12,8	-24,6	37,4	7,97
Eutrofización potencial	g NO _{3e}	43,6	-53	142	23,4
Ocupación territorio total	m ²	2,16	0	6,5	1,13
Ocupación territorio On-farm	m ²	1,24	0	6,29	1,10
Ocupación territorio Off-farm	m ²	0,91	0	4,93	0,59
Huella hídrica total	litros	1093	346	3609	469
Huella hídrica verde	litros	935	232	3177	4336
Huella hídrica, azul más gris	litros	158	54	435	52,3
Huella energética total	MJ	4,03	1,86	11,66	1,41
Huella energética directa	MJ	1,65	0,21	7,67	1,11
Huella energética indirecta	MJ	2,39	0,61	10,0	0,95
Huella nitrógeno total	g N	19,9	5,5	46,6	6,24
Huella nitrógeno reactivo	g N	4,56	0,98	16,7	2,28
N-NH ₃	g N	2,69	0,27	7,29	1,49
Surplus N	g N	13,4	1,29	53,1	6,15
Surplus P	g N	1,16	-2,59	10,93	1,60
Riesgo ambiental N ³	Entradas÷Salidas	3,56	1,01	9,52	1,18
Riesgo Ambiental P ³	Entradas÷Salidas	2,95	0,02	10,24	1,44

HP: $\Sigma (\text{CH}_4 + \text{CO}_2 + \text{N}_2\text{O})$; HT: $\Sigma (\text{HP} + \text{iLUC} - \text{secuestro de carbono})$. HTasig (HT - CO_{2e} asignado a carne). iLUC: uso indirecto del suelo (Audsley *et al.*, 2009). SC: (Salcedo y Salcedo-Rodríguez, 2022). DE: Desviación estándar. PV: peso vivo. Entradas N kg ha⁻¹ o P kg ha⁻¹ ÷ Salidas N kg ha⁻¹ o P kg ha⁻¹.

El factor 1.031 g/L de leche fue utilizado para convertir kilogramos a litros.

La asignación de los coproductos (leche y carne) fue estimada a partir del peso vivo y leche vendida según las ecuaciones del IDF (2015):

- Factor asignado a leche:

$$F = 1 - (6,04 \times \text{Relación leche/carne}) \quad [8]$$

donde la carne es el peso vivo vendido.

- Factor de asignado a carne:

$$FA_{\text{carne}} = 1 - FA_{\text{leche}} \quad [9]$$

Análisis estadístico

El análisis tipológico se desarrolló en de tres etapas: revisión y selección de las variables, análisis de componentes principales (ACP) y análisis clúster (Köbrich *et al.*, 2003). En la primera etapa, se seleccionaron 25 indicadores ambientales (Tabla 1). Seguidamente se analizó la matriz de correlaciones para descartar las variables correlacionadas y la de menor coeficiente de variación de cada par con dependencia lineal. Como resultado de este proceso, se seleccionaron 12 variables: i) surplus N; ii) surplus P; iii) riesgo ambiental N; iv) riesgo ambiental P; v) huella de N total; vi) huella de N reactivo; vii) emisiones de amoníaco; viii) huella de carbono de la leche; ix) huella de carbono de un kilogramo de peso vivo vendido; x) huella hídrica total; xi) potencial de acidificación y xii) potencial de eutrofización.

En una segunda etapa, se realizó un ACP para reducir el número de variables y resumir la mayor parte de la variabilidad. Una vez seleccionados los componentes, se aplicó la rotación ortogonal varimax para relacionar más fácilmente las variables iniciales con los componentes obtenidos (Uriel y Aldás, 2005; Gelasakis *et al.*, 2012). La prueba de esfericidad de Bartlett y el índice de Kaiser-Mayer-Olkin (KMO) fueron aplicados para verificar la adecuación del

análisis de componentes principales (Uriel y Aldás, 2005; Gelasakis *et al.*, 2012).

En una tercera etapa, las explotaciones fueron clasificadas en grupos utilizando un análisis clúster con los componentes seleccionados. Se empleó un análisis clúster jerárquico basado en las distancias euclidiana, euclidiana al cuadrado y Manhattan, junto con el método de Ward, el cual optimiza la variabilidad dentro de los clústeres (Köbrich *et al.*, 2003; Uriel y Aldás, 2005). El número óptimo de clústeres fue seleccionado a partir de la regla de “Elbow” (Gelasakis *et al.*, 2012). Como resultado, se obtuvieron cuatro agrupaciones, las cuales fueron testadas mediante análisis discriminante y análisis de varianza. Como solución final, se seleccionó la agrupación jerárquica con la distancia euclidiana, debido a que la función discriminante clasificó correctamente el mayor porcentaje de explotaciones y generó diferencias significativas entre grupos en la mayor proporción de variables. Finalmente, para caracterizar y comparar los grupos identificados, se llevó a cabo un análisis de varianza (ANOVA) con el test de Tuckey. Todos los análisis estadísticos fueron desarrollados con el software SPSS 15.0.

Resultados

Características técnico-productivas de las explotaciones

Las características técnico-productivas de las explotaciones por CC. AA. se presentan en la Tabla 2. La mayor base territorial corresponde a las explotaciones de Castilla y León y Cataluña ($P < 0,05$) con 82,8 y 75,8 ha, respectivamente, dedicadas principalmente a cultivos forrajeros anuales (CFA). Por el contrario, las explotaciones con menor superficie se localizan en Cantabria y Asturias ($P < 0,05$).

Tabla 2. Características técnico-productivas y climáticas entre Comunidades.
 Table 2. Technical-productive and climatic characteristics between Communities.

Comunidad Autónoma	Conjunto	CyL	Cat	Gal	Can	Ast	Nav
n	237	10	4	25	175	15	8
<i>Datos climáticos y altitud</i>							
Altura sobre nivel del mar, m	292	809 ^c	326 ^a	546 ^b	210 ^a	301 ^a	559 ^b
Precipitación anual, L m ⁻²	1225	415 ^a	677 ^b	1314 ^d	1302 ^d	845 ^c	1247 ^d
Temperatura media, °C	13,0	11,2 ^a	15,5 ^c	11,4 ^a	13,3 ^b	11,9 ^a	13,7 ^b
Temperatura máxima, °C	20,5	29,9 ^c	29,9 ^c	14,9 ^a	20,8 ^b	16,1 ^a	21,7 ^b
Temperatura mínima, °C	6,27	-1,92 ^a	-0,14 ^{ab}	7,47 ^c	7,09 ^c	2,08 ^b	5,79 ^b
<i>Superficie total</i>							
Superficie total, ha	42,5	82,8 ^c	75,8 ^c	62,2 ^{ab}	37,1 ^a	34,3 ^a	44,1 ^{ab}
Pradera, %	74,8	0,3 ^a	0 ^a	56,5 ^b	84,3 ^c	73,3 ^{bc}	59,5 ^b
Superficie pradera verde, %	39,5	0 ^a	0 ^a	27,1 ^{ab}	44,3 ^b	44,6 ^b	34,6 ^b
Superficie pradera ensilado/heno, %	50,5	10 ^{ab}	0 ^a	43,1 ^{bc}	55,9 ^c	55,3 ^c	27,8 ^{abc}
Maíz, ha	9,3	10,8 ^{ab}	18,5 ^{ab}	25,3 ^b	6,4 ^a	9,6 ^{ab}	12,6 ^{ab}
Cultivos forrajeros anuales, %	24,3	92,7 ^b	95,4 ^b	39,6 ^a	15,8 ^a	23,4 ^a	40,5 ^a
Producción forraje, t MS ha ⁻¹	7,4	8,63 ^{ab}	10,8 ^b	7,89 ^a	7,13 ^a	7,15 ^a	8,62 ^{ab}
<i>Animales</i>							
UGM, n°	133	294 ^b	323 ^b	152 ^a	119 ^a	88 ^a	163 ^a
Carga ganadera, UGM ha ⁻¹	3,20	3,37	3,81	2,57	3,26	2,60	3,87
Vacas lecheras, n°	80	169 ^b	193 ^b	101 ^a	71 ^a	55 ^a	97 ^a
Reposición, %	39,1	34,0	31,5	38,6	39,6	39,8	38,5
<i>Alimentos</i>							
Producción propia, %	50,9	26,1 ^a	26,4 ^a	57,2 ^b	51,3 ^b	56,2 ^b	52,8 ^b
Pienso comprado, t MS ha ⁻¹	8,3	12,9 ^{bc}	14,3 ^c	6,7 ^a	8,3 ^{ab}	6,0 ^a	10,2 ^{abc}
Forraje comprado, t MS ha ⁻¹	2,93	6,89 ^b	4,42 ^{ab}	1,33 ^a	3,03 ^a	1,95 ^a	2,31 ^a
Pienso, t MS VL ⁻¹ año ⁻¹	3,41	4,74 ^b	4,56 ^b	3,39 ^a	3,35 ^a	3,04 ^a	3,16 ^a
Pienso, kg MS kg ⁻¹ leche	0,45	0,42	0,47	0,35	0,49	0,32	0,38
<i>Fertilización inorgánica</i>							
N, kg ha ⁻¹	38	40 ^a	38 ^a	103 ^b	23 ^a	53 ^a	104 ^b
P, kg ha ⁻¹	18	15,5 ^{ab}	0 ^a	34,5 ^b	15,7 ^{ab}	21 ^{ab}	22 ^{ab}
K, kg ha ⁻¹	10	16	0	14	10	17	3
<i>Fertilización orgánica</i>							
Purín fresco, t ha ⁻¹	61,5	77,8	72,5	51,9	62,1	52,2	71,4
C del purín, t ha ⁻¹	3,71	4,74	4,92	2,68	3,88	2,57	3,52
N, kg ha ⁻¹	325	399	414	265	330	274	363
P, kg ha ⁻¹	22	24	24	19	23	18	25
K, kg ha ⁻¹	261	211	251	193	278	230	264

Tabla 2. Características técnico-productivas y climáticas entre Comunidades (continuación).
 Table 2. Technical-productive and climatic characteristics between Communities (continuation).

Comunidad Autónoma	Conjunto	CyL	Cat	Gal	Can	Ast	Nav
n	237	10	4	25	175	15	8
<i>Eficiencia explotación</i>							
NUE _{EX} , %	31,6	26,8 ^a	33,4 ^{abc}	27,8 ^{ab}	31,5 ^{ab}	40,6 ^c	35,1 ^{bc}
PUE _{EX} , %	60,2	32,7	54,7	34,7	66,1	61,1	51,4
<i>Eficiencia suelo</i>							
NUE _{SU} , %	67,5	61,3 ^{ab}	57,6 ^a	63,1 ^{ab}	68,8 ^{ab}	62,7 ^{ab}	74,1 ^c
PUE _{SU} , %	94	54,7	114	65	99	111	94
<i>Producción y composición de la leche</i>							
Leche FPCM, t año ⁻¹	795	1978 ^b	2037 ^b	1143 ^a	641 ^a	657 ^a	1085 ^a
Leche FPCM, t ha ⁻¹	13,2	29,7 ^b	27,2 ^{ab}	18,4 ^a	16,9 ^a	18,2 ^a	25,5 ^{ab}
Leche FPCM, t VL ⁻¹	6,67	9,14 ^c	8,21 ^{bc}	8,24 ^{bc}	6,16 ^a	7,54 ^{abc}	7,05 ^{ab}
Leche, kg FPCM d ⁻¹	25,1	34,1 ^c	30,7 ^{bc}	31,2 ^{bc}	23,2 ^a	28,5 ^{abc}	26,4 ^{ab}
Grasa bruta, %	3,75	3,66	3,70	3,74	3,77	3,73	3,71
Proteína bruta, %	3,19	3,28 ^b	3,30 ^b	3,28 ^b	3,17 ^a	3,22 ^{ab}	3,21 ^{ab}
Urea, mg dL ⁻¹	17,6	19,3 ^c	18,8 ^{bc}	17,2 ^{ab}	17,6 ^{abc}	16,4 ^a	18,2 ^{abc}
CLA, % AGs	0,58	0,57 ^b	0,38 ^a	0,53 ^b	0,59 ^b	0,57 ^b	0,63 ^b
Ω6/Ω3	3,99	4,21	4,48	4,44	3,95	3,58	3,75
<i>Eficiencia alimentación</i>							
Kg leche kg ⁻¹ MS ingerida _{VL}	1,25	1,48 ^b	1,5 ^b	1,51 ^b	1,18 ^a	1,36 ^{ab}	1,44 ^b
Kg leche kg ⁻¹ MS ingerida _{CR}	0,88	1,09 ^b	1,05 ^b	1,14 ^b	0,81 ^a	1,04 ^b	1,04 ^b
Kg MS kg ⁻¹ leche FPCM _{CR}	0,87	0,72 ^a	0,70 ^a	0,71 ^a	0,93 ^b	0,79 ^{ab}	0,74 ^a
NUE _{VL} , %	25,9	28,1 ^{ab}	30,1 ^b	32,4 ^b	24,2 ^a	28,9 ^{ab}	29,4 ^{ab}
NUE _{CR} , %	19,0	22,4 ^b	23,6 ^b	23,7 ^b	17,4 ^a	23,5 ^b	22,1 ^{ab}
PUE _{VL} , %	31,7	34,6 ^{ab}	38,3 ^b	39,1 ^b	29,7 ^a	37,0 ^b	24,4 ^{ab}
PUE _{CR} , %	18,1	19,9 ^{ab}	22,0 ^b	23,9 ^b	18,6 ^a	22,5 ^b	20,7 ^b
<i>Energía</i>							
Gasóleo, L ha ⁻¹	289	334	343	236	295	234	348

CyL: Castilla y León. Cat: Cataluña. Gal: Galicia. Cant: Cantabria. Ast: Asturias. Nav: Navarra. t: toneladas. MS: materia seca. UGM: unidad de ganado mayor. VL: vaca lechera. FPCM: leche estandarizada por grasa al 4 % y proteína al 3 %. C: carbono. CLA: ácido linoleico conjuntado. NUE_{VL}: eficiencia utilización del N en las vacas lecheras. NUE_{EX} y PUE_{EX}: eficiencia de utilización del N y P en la explotación. NUE_{SU} y PUE_{SU}: eficiencia de utilización del N y P en el suelo. NUE_{VL} y PUE_{VL}: eficiencia utilización del N y P en las vacas lechera. NUE_{CR} y PUE_{CR}: eficiencia utilización del N y P en el conjunto del rebaño. medias con diferente letra dentro de la misma fila difieren ($P < 0,05$).

La pradera constituye la base principal de la alimentación forrajera en las explotaciones de la cornisa Cantábrica ($P < 0,05$), aunque se reserva una parte de la superficie para CFA, especialmente maíz en sucesión con raigrás italiano o cereales de invierno. La producción forrajera media del conjunto de explotaciones fue de $7,4 \text{ t MS ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, registrándose los menores rendimientos en Galicia, Asturias y Cantabria (Tabla 2).

Las unidades de ganado mayor (UGM), el número de vacas lecheras (VL), así como la compra de alimentos en t MS ha^{-1} y de pienso en $\text{t VL}^{-1} \text{ año}^{-1}$, fueron significativamente superiores en las explotaciones de Castilla y León y Cataluña ($P < 0,05$). Por el contrario, el porcentaje de forraje de producción propia fue mayor en las explotaciones del norte peninsular ($P < 0,05$).

El volumen de purín no difirió entre CC. AA., con una media de $61,5 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, que contienen 325 kg N - 22 kg P - 261 kg K y 3711 kg C año (Tabla 2). La compra de fertilizante nitrogenado fue mayor en las explotaciones de Galicia y Navarra ($P < 0,05$), mientras que la de fósforo destacó en Galicia ($P < 0,05$).

La mayor producción de leche por explotación se registró en Castilla y León (1978 t año^{-1}), y la menor en Cantabria (641 t año^{-1}). Los rendimientos por hectárea oscilaron entre $29,7$ y $16,9 \text{ t año}^{-1}$, y entre $9,14$ - $6,16 \text{ t vaca}^{-1} \text{ año}^{-1}$ (Tabla 2).

La eficiencia bruta en vacas lecheras, expresada como $\text{kg de leche por kg de materia seca ingerida (MSI)}$, fue de $1,25 \text{ kg kg}^{-1}$ en promedio, mientras que en el conjunto del rebaño fue de $0,88 \text{ kg kg}^{-1}$, con diferencias significativas entre Comunidades (Tabla 2). En ambos casos, aquella eficiencia puede aumentar $0,00011 \text{ kg kg}^{-1}$ en las VL ($r^2 = 0,57$; $P < 0,001$) y disminuir $0,000087 \text{ kg kg}^{-1}$ en CR ($r^2 = 0,59$; $P < 0,001$) al aumentar un kilogramo la producción de leche corregida por grasa y proteína vaca y año.

De igual forma, las eficiencias de utilización de nitrógeno (NUE) y fósforo (PUE) de la dieta fueron diferentes entre Comunidades ($P < 0,05$) tanto en vacas lecheras (NUE_{VL} , PUE_{VL}), como en el conjunto del rebaño (NUE_{CR} , PUE_{CR}); a nivel de explotación (NUE_{EX} , PUE_{EX}) y del suelo (NUE_{SU} - PUE_{SU}).

Análisis de componentes principales

La prueba de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) arrojó un valor de $0,702$, indicando la adecuación de los datos al análisis de componentes principales. El test de esfericidad de Bartlett (Bartlett, 1951) fue significativo ($P < 0,000$), con un valor de Chi-cuadrado de $2883,552$. Se seleccionaron los cuatro primeros componentes principales, todos con autovalores mayores que 1 , según el criterio de Köbrich *et al.* (2002) y Uriel y Aldás (2005), que explican en conjunto el $85,1 \%$ de la variabilidad original (Tabla 3).

El primer componente principal describe el "Balance de nutrientes en la explotación", explica el $29,9 \%$ de la variabilidad total, presentando correlaciones positivas con todas las variables empleadas (ver matriz de componentes principales rotados). Puntuaciones elevadas de este componente se corresponden con explotaciones de mayores entradas de N y P, lo que sugiere un perfil de granjas intensivas con baja base territorial y elevada carga ganadera (clasificadas como IntBbTe).

El segundo componente hace referencia a la "Eficiencia de la explotación", explica el $24,1 \%$ de la variabilidad total mostrando altas comunalidades (Tabla 3). Las explotaciones con puntuaciones elevadas tienen una menor huella de carbono asociada a la mayor la producción de forraje y leche, consideradas como explotaciones intensivas con alta base territorial (IntAbTe).

El tercer componente principal, que representa la "Gestión del N del purín", explica el $18,0 \%$ de la varianza. Explotaciones con

Tabla 3. Componentes principales rotados (CP_r) tipificación indicadores ambientales por kilogramo de leche corregido por grasa y proteína (IDF, 2015).

Table 3. Rotated principal components (CPr) typing environmental indicators per kilogram of milk corrected for fat and protein (IDF, 2015).

	Matriz componentes rotados ¹			
	CP1	CP2	CP3	CP4
Surplus N _(0,889)	0,916			
Riesgo ambiental N _{explotación (0,888)}	0,862			
Riesgo ambiental P _{explotación (0,868)}	0,854			
Surplus P _(0,822)	0,726			
Huella nitrógeno total FPCM _(0,759)	0,724			
Huella carbono total FPCM _(0,921)		0,919		
Huella carbono kg ⁻¹ peso vivo _(0,912)		0,916		
Huella hídrica total _(0,785)		0,862		
N-NH ₃ g kg ⁻¹ FPCM _(0,901)			0,910	
Huella nitrógeno reactivo _(0,881)			0,902	
Eutrofización potencial _(0,795)				0,810
Acidificación potencial _(0,798)				0,723
Autovalor	4,84	2,36	1,95	1,06
Varianza, %	29,9	24,1	18,0	13,0
Varianza acumulada, %	29,9	54,0	72,1	85,1

() : comunales. ¹: saturaciones de las variables en cada factor, varían entre -1 y 1. CP: componentes principales.

puntuaciones más altas en este componente señalan volúmenes de purín inferiores que no requieren intervenciones tecnológicas, considerándose este grupo como explotaciones extensivas con alta base territorial y baja producción de leche (ExtAbTe).

El cuarto componente, representando el “De-terioro ambiental del ecosistema”, explica el

13,0 % de la variabilidad en los procesos de producción. Las explotaciones que presentan puntuaciones elevadas en este componente se clasifican como explotaciones extensivas con baja base territorial (ExtBbTe), caracterizadas por una fuerte dependencia de la pradera, alta fertilización nitrogenada y una elevada suplementación con pienso por litro de leche.

Análisis de conglomerados y definición de la tipología

La agrupación óptima fue la de 4 cuatro grupos utilizando la distancia euclidiana, conformados por el Grupo I: 64 explotaciones (27 %); Grupo II: 131 explotaciones (55,2 %), Grupo III: 8 explotaciones (3,3 %) y el Grupo IV: 34 explotaciones (14,3 %). La representación gráfica se muestra en la Figura 1, y en la Figura 2, el número de explotaciones de cada grupo entre CC. AA. El análisis discriminante clasificó de manera correcta el 94,9 % de las explotaciones. En las Tablas 4 y 5 se presentan las diferencias y similitudes de los grupos identificados.

En base a esta información, se definieron las siguientes tipologías. En términos generales, se detectan dos grandes sistemas de produc-

ción lechera: intensivos y extensivos, cada uno subdividido en dos tipologías: i) Intensivas con baja base territorial (Grupo I: IntBbTe) o con alta base territorial (Grupo II: IntAbTe) y ii) Extensivas con alta base territorial (Grupo III: ExtAbTe) o con baja base territorial (Grupo IV: ExtBbTe).

Los Grupos I y II (intensivos) concentran el 82,2 % de las explotaciones, mientras que los Grupos III y IV (extensivos) representaron el 17,8 % (Tabla 4). En general, la superficie total fue similar entre ambos grupos (42,8 vs. 42,8 ha); por contra, la dedicada a cultivos forrajeros anuales (CFA) fue superior en los primeros ($P < 0,05$), con porcentajes medios del 29,4 % vs. 0,67 %, respectivamente. De igual forma, la carga ganadera (3,29 vs. 2,8 UGM ha⁻¹), la producción de leche (14,3 vs. 7,8 t ha⁻¹) y la compra de alimentos (50,3 % vs. 43,3 %) fueron

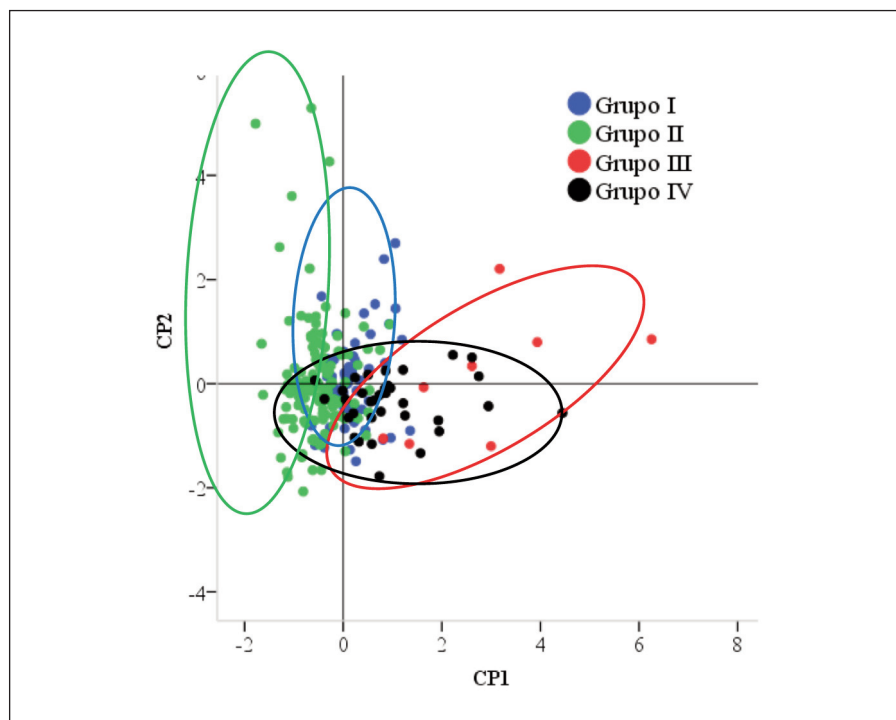


Figura 1. Posición de las explotaciones conforme a la puntuación para CP1 y CP2.
Figure 1. Position of the farms according to the score for CP1 and CP2.

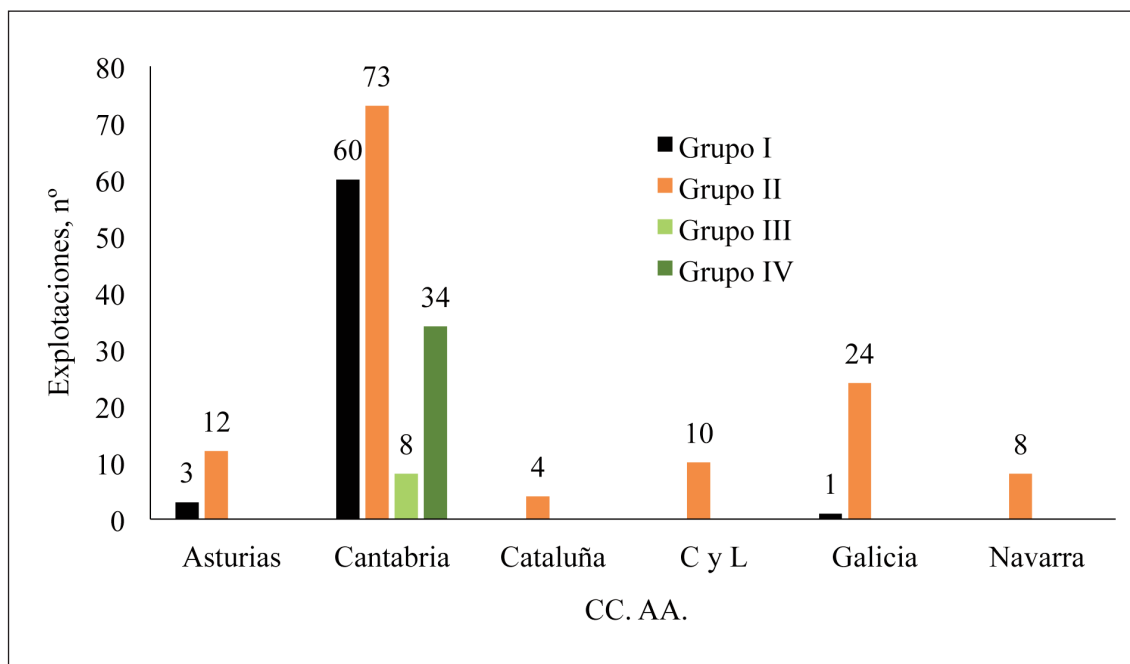


Figura 2. Número de explotaciones de cada grupo por comunidad autónoma.

Figure 2. Number of farms in each group by Autonomous Community.

superiores en las intensivas ($P < 0,05$). La composición elemental de las dietas en las vacas lecheras viene representada en la Tabla 4, localizándose el mayor consumo de ensilado de maíz en los Grupos I y II ($P < 0,05$), mientras el ensilado de hierba y la hierba verde lo hace en los Grupos III y IV ($P < 0,05$). El porcentaje de concentrado fue menor en las explotaciones del Grupo III ($P < 0,05$).

En cuanto a los impactos ambientales (Tabla 5), los Grupos I y II presentaron menores valores por kilogramo de leche producida. Algunos impactos se correlacionan positivamente con el consumo de pienso por kilogramo de leche (Tabla 6), y negativamente con la producción anual de leche por vaca, y las eficiencias de utilización del N en el conjunto del rebaño (NUE_{CR}) y de la explotación (NUE_{EX}).

Grupo I (IntBbTe): Explotaciones Intensivas con baja base territorial

Este grupo concentra el 27 % de la muestra, localizándose el 4,6 % en Asturias; el 93,7 % en Cantabria y el 1,56 % en Galicia (Figura 2). La base territorial fue similar a la del Grupo IV, al igual que la compra de alimentos por hectárea en los Grupos II y IV (Tabla 4). El 79,9 % de la superficie total (33,9 ha) está dedicada a pradera y el 19,9 % a cultivos forrajeros (maíz en sucesión con raigrás italiano o cereales de invierno). La producción forrajera ($7,6 \text{ t MS ha}^{-1}$) satisface el 48,7 % las necesidades nutritivas del rebaño. La carga ganadera de $3,67 \text{ UGM ha}^{-1}$ fue similar a los Grupos II y IV, generando $431\text{-}25,3\text{-}316\text{-}5100 \text{ kg N-P-K-C ha}^{-1}$ del purín. Para las eficiencias de utilización del N y P de la dieta en

Tabla 4. Características técnico-productivas de las tipologías (media $\pm$ desviación estándar).
 Table 4. Technical-productive characteristics of the typologies (mean $\pm$ standard deviation).

Grupo	Grupo de explotaciones			
	I	II	III	IV
Nº explotaciones	64	131	8	34
% sobre el total	27 %	55,2 %	3,3 %	14,3 %
Tipología	IntBbTe	IntAbTe	ExtAbTe	ExtBbTe
<i>Superficie total</i>				
Superficie total, ha	33,9 $\pm$ 21 ^a	50,1 $\pm$ 29,4 ^b	60,0 $\pm$ 9,9 ^b	25,6 $\pm$ 15,6 ^a
Pradera, %	79,9 $\pm$ 21,2 ^a	64,4 $\pm$ 38,0 ^a	99,2 $\pm$ 2,1 ^b	99,3 $\pm$ 3,5 ^b
Superficie pradera verde, %	21,1 $\pm$ 24,7 ^a	33,2 $\pm$ 36,3 ^a	77,1 $\pm$ 28,2 ^b	78,4 $\pm$ 25,3 ^b
Superficie pradera ensilado/heno, %	71,3 $\pm$ 26,1 ^c	49,6 $\pm$ 40,0 ^b	22,8 $\pm$ 28,2 ^a	21,5 $\pm$ 25,3 ^a
Maíz, ha	7,7 $\pm$ 13 ^{ab}	13,0 $\pm$ 21,7 ^b	0,38 $\pm$ 1,06 ^a	0,15 $\pm$ 0,86 ^a
Cultivos forrajeros anuales, %	19,9 $\pm$ 21,3 ^b	34,1 $\pm$ 37,2 ^b	0,75 $\pm$ 2,1 ^a	0,67 $\pm$ 3,5 ^a
Producción forraje, t MS ha ⁻¹	7,6 $\pm$ 1,9 ^b	7,9 $\pm$ 2,7 ^b	5,5 $\pm$ 0,63 ^a	5,7 $\pm$ 0,65 ^a
<i>Animales</i>				
UGM, nº	134 $\pm$ 139 ^{ab}	152 $\pm$ 115 ^b	72 $\pm$ 34 ^a	72 $\pm$ 51 ^a
Carga ganadera, UGM ha ⁻¹	3,67 $\pm$ 1,84 ^a	3,10 $\pm$ 1,73 ^a	1,19 $\pm$ 0,48 ^b	3,18 $\pm$ 1,46 ^a
Vacas lecheras, nº	80 $\pm$ 81 ^{ab}	92 $\pm$ 70 ^b	38 $\pm$ 16 ^a	42 $\pm$ 34 ^a
Reposición	39,9 $\pm$ 10,5	38,8 $\pm$ 11,7	38,4 $\pm$ 12,3	39,1 $\pm$ 13,3
<i>Alimentos</i>				
Producción propia, %	48,7 $\pm$ 13,6 ^a	50,2 $\pm$ 16,0 ^a	79,1 $\pm$ 18,2 ^b	51,4 $\pm$ 11,3 ^a
Pienso comprado, t ha ⁻¹	10,1 $\pm$ 6,8 ^b	8,4 $\pm$ 6,0 ^b	1,2 $\pm$ 1,3 ^a	6,5 $\pm$ 3,2 ^b
Forraje comprado, t ha ⁻¹	3,50 $\pm$ 4,19 ^b	2,73 $\pm$ 3,3 ^b	0,67 $\pm$ 1,25 ^a	3,18 $\pm$ 2,59 ^b
Pienso, t MS VL ⁻¹ año ⁻¹	3,65 $\pm$ 1,13 ^b	3,52 $\pm$ 1,1 ^b	1,36 $\pm$ 1,3 ^a	3,01 $\pm$ 0,78 ^b
Pienso, kg MS kg ⁻¹ leche FPCM	0,58 $\pm$ 0,15 ^b	0,46 $\pm$ 0,12 ^a	0,48 $\pm$ 0,47 ^a	0,63 $\pm$ 0,11 ^b
<i>Dieta, % sobre materia seca</i>				
Hierba verde, %	9,3 $\pm$ 15,6 ^a	9,8 $\pm$ 14,7 ^a	31,2 $\pm$ 25,6 ^c	21,2 $\pm$ 14,9 ^b
Ensilado maíz, %	13,2 $\pm$ 11,2 ^b	15,3 $\pm$ 14,6 ^b	1,5 $\pm$ 4,2 ^a	1,2 $\pm$ 5,1 ^a
Ensilado hierba, %	18,0 $\pm$ 10,2 ^a	16,5 $\pm$ 12,7 ^a	27,1 $\pm$ 9,5 ^b	16,6 $\pm$ 8,6 ^a
Otros ensilados, %	3,9 $\pm$ 6,9 ^b	14,9 $\pm$ 12,1 ^a	—	—
Todos los ensilados	31,5 $\pm$ 13,6 ^b	34,3 $\pm$ 15,5 ^b	28,6 $\pm$ 11,8 ^b	17,8 $\pm$ 9,4 ^a
Henos, %	13,5 $\pm$ 10,7 ^a	11,2 $\pm$ 11,3 ^a	22,3 $\pm$ 21,0 ^b	18,1 $\pm$ 10,7 ^{ab}
Pienso, %	45,6 $\pm$ 10,9 ^b	44,7 $\pm$ 11,1 ^b	17,8 $\pm$ 14,6 ^a	42,7 $\pm$ 10,4 ^b

Tabla 4. Características técnico-productivas de las tipologías (media $\pm$ desviación estándar) (continuación).
 Table 4. Technical-productive characteristics of the typologies (mean $\pm$ standard deviation) (continuation).

Grupo	Grupo de explotaciones			
	I	II	III	IV
Nº explotaciones	64	131	8	34
% sobre el total	27 %	55,2 %	3,3 %	14,3 %
Tipología	IntBbTe	IntAbTe	ExtAbTe	ExtBbTe
<i>Fertilización inorgánica</i>				
N, kg ha ⁻¹	22,6 $\pm$ 31,5 ^{ab}	51,4 $\pm$ 69,8 ^b	1,0 $\pm$ 2,8 ^a	53,7 $\pm$ 59,8 ^{ab}
P, kg ha ⁻¹	12,8 $\pm$ 14,6	21,5 $\pm$ 30,4	0,38 $\pm$ 1,0	18,3 $\pm$ 64,2
K, kg ha ⁻¹	11,6 $\pm$ 17,1	12,9 $\pm$ 24,4	0,50 $\pm$ 1,4	1,1 $\pm$ 4,8
<i>Fertilización orgánica</i>				
Purín fresco, t ha ⁻¹	72,4 $\pm$ 39,3 ^b	60,7 $\pm$ 36,1 ^b	20,3 $\pm$ 7,9 ^a	53,6 $\pm$ 24,7 ^b
C del purín, t ha ⁻¹	5,10 $\pm$ 3,1 ^c	3,47 $\pm$ 2,4 ^b	0,69 $\pm$ 0,44 ^a	2,79 $\pm$ 1,7 ^b
N, kg ha ⁻¹	431 $\pm$ 256 ^c	312 $\pm$ 225 ^{bc}	53 $\pm$ 31 ^a	241 $\pm$ 147 ^{bc}
P, kg ha ⁻¹	25,3 $\pm$ 14,6 ^b	22,2 $\pm$ 11,7 ^b	6,6 $\pm$ 3,7 ^a	19,8 $\pm$ 13,0 ^b
K, kg ha ⁻¹	316 $\pm$ 158 ^b	243 $\pm$ 134 ^b	95 $\pm$ 35 ^a	259 $\pm$ 123 ^b
<i>Eficiencia explotación</i>				
NUE _{EX} , %	31,5 $\pm$ 7,6 ^a	31,3 $\pm$ 8,9 ^a	37,3 $\pm$ 20,6 ^b	31,7 $\pm$ 6,4 ^a
PUE _{EX} , %	55,8 $\pm$ 16,8 ^a	49,3 $\pm$ 234 ^a	383 $\pm$ 817 ^b	43,9 $\pm$ 19,4 ^a
<i>Eficiencia suelo</i>				
NUE _{SU} , %	59,4 $\pm$ 7,9 ^a	66,5 $\pm$ 15,4 ^b	85,6 $\pm$ 11,6 ^c	83,9 $\pm$ 8,2 ^c
PUE _{SU} , %	91 $\pm$ 109 ^a	75 $\pm$ 63 ^a	444 $\pm$ 548 ^b	93 $\pm$ 43 ^a
<i>Producción de leche</i>				
Leche FPCM, t año ⁻¹	666 $\pm$ 778 ^{bc}	1025 $\pm$ 882 ^c	123 $\pm$ 42 ^a	314 $\pm$ 292 ^{ab}
Leche FPCM, t ha ⁻¹	13,76 $\pm$ 7,3 ^{bc}	14,65 $\pm$ 9,2 ^c	1,78 $\pm$ 0,78 ^a	9,23 $\pm$ 5,3 ^b
Leche FPCM, t VL ⁻¹	6,31 $\pm$ 1,2 ^c	7,53 $\pm$ 1,7 ^d	2,91 $\pm$ 0,81 ^a	4,96 $\pm$ 1,3 ^b
Leche, kg FPCM VL ⁻¹ d ⁻¹	23,6 $\pm$ 4,7 ^c	28,4 $\pm$ 6,5 ^d	11,0 $\pm$ 3,1 ^a	18,7 $\pm$ 4,9 ^b
Grasa bruta, %	3,8 $\pm$ 0,17	3,72 $\pm$ 0,23	3,77 $\pm$ 0,17	3,8 $\pm$ 0,13
Proteína bruta, %	3,18 $\pm$ 0,11 ^{ab}	3,22 $\pm$ 0,12 ^b	3,11 $\pm$ 0,14 ^{ab}	3,13 $\pm$ 0,05 ^a
Urea, mg dL ⁻¹	16,4 $\pm$ 1,3 ^{ab}	17,6 $\pm$ 2,1 ^b	19,1 $\pm$ 1,8 ^b	19,6 $\pm$ 1,9 ^b
CLA, % AGs	0,56 $\pm$ 0,06 ^b	0,57 $\pm$ 0,11 ^b	0,85 $\pm$ 0,16 ^a	0,62 $\pm$ 0,05 ^b
$\Omega 6/\Omega 3$	4,21 $\pm$ 0,85 ^b	4,09 $\pm$ 1,07 ^b	2,20 $\pm$ 0,67 ^a	3,62 $\pm$ 0,89 ^b

Tabla 4. Características técnico-productivas de las tipologías (media $\pm$ desviación estándar) (continuación).
 Table 4. Technical-productive characteristics of the typologies (mean $\pm$ standard deviation) (continuation).

Grupo	Grupo de explotaciones			
	I	II	III	IV
Nº explotaciones	64	131	8	34
% sobre el total	27 %	55,2 %	3,3 %	14,3 %
Tipología	IntBbTe	IntAbTe	ExtAbTe	ExtBbTe
<i>Eficiencia alimentación</i>				
Forraje / Concentrado en VL	1,33 $\pm$ 0,71 ^a	1,43 $\pm$ 0,78 ^a	4,96 $\pm$ 3,23 ^b	1,49 $\pm$ 0,73 ^a
Kg leche kg ⁻¹ MS ingerido _{VL}	1,12 $\pm$ 0,21 ^b	1,39 $\pm$ 0,21 ^c	0,81 $\pm$ 0,22 ^a	1,08 $\pm$ 0,22 ^b
Kg leche kg ⁻¹ MS ingerido _{CR}	0,94 $\pm$ 0,17 ^b	0,77 $\pm$ 0,12 ^a	1,4 $\pm$ 0,47 ^c	1,0 $\pm$ 0,21 ^b
Kg MS kg ⁻¹ leche FPCM _{CR}	0,80 $\pm$ 0,12 ^a	1,0 $\pm$ 0,20 ^c	0,43 $\pm$ 0,17 ^a	0,69 $\pm$ 0,21 ^a
NUE _{VL} %	23,7 $\pm$ 5,08 ^b	28,9 $\pm$ 5,4 ^c	15,3 $\pm$ 3,4 ^a	20,9 $\pm$ 4,7 ^b
NUE _{CR} %	16,2 $\pm$ 3,3 ^b	22,1 $\pm$ 4,8 ^c	7,6 $\pm$ 2,03 ^a	14,8 $\pm$ 5,5 ^b
PUE _{VL} %	30,5 $\pm$ 6,5 ^b	34,5 $\pm$ 6,9 ^c	28,2 $\pm$ 5,1 ^b	24,0 $\pm$ 5,4 ^a
PUE _{CR} %	16,5 $\pm$ 3,3 ^b	20,5 $\pm$ 4,6 ^c	11,3 $\pm$ 3,7 ^a	13,7 $\pm$ 3,4 ^a
<i>Energía</i>				
Gasóleo, L ha ⁻¹	338 $\pm$ 168 ^b	278 $\pm$ 155 ^b	108 $\pm$ 44 ^a	286 $\pm$ 131 ^b

Grupo I (IntBbTe), intensivas con baja base territorial; Grupo II (IntAbTe), intensivas con alta base territorial. Grupo III (ExtAbTe), extensivas alta base territorial. Grupo IV (ExtBbTe), Extensivas baja base territorial. t: toneladas. MS: materia seca. UGM: unidad de ganado mayor. VL: vaca lechera. FPCM: leche estandarizada por grasa al 4 % y proteína al 3 %. C: carbono. NUE_{EX}: eficiencia de utilización del N en el suelo. PUE_{EX}: eficiencia de utilización del P en el suelo. CLA: ácido linoleico conjuntado. NUE_{VL}: eficiencia utilización del N en las vacas lecheras. PUE_{VL}: eficiencia utilización del P en las vacas lechera. NUE_{CL}: eficiencia utilización del N en el conjunto del rebaño. PUE_{CR}: eficiencia utilización del P en el conjunto del rebaño. NUE_{SU}: eficiencia utilización del N en el suelo. PUE_{SU}: eficiencia utilización del P en el suelo. medias con diferente letra dentro de la misma fila difieren ($P < 0,05$).

Tabla 5. Impactos ambientales por kilogramo de leche entre grupos (media $\pm$ desviación estándar).
 Table 5. Environmental impacts per kilogram of milk between groups (mean $\pm$ standard deviation).

Grupo		I	II	III	IV
Nº explotaciones	Media	64	131	8	34
% sobre el total		27 %	55,2 %	3,3 %	14,3 %
Tipología		IntBbTe	IntAbTe	ExtAbTe	ExtBbTe
<i>CO_{2e} kg⁻¹ leche FPCM</i>					
Huella de carbono parcial, HP	1,19 $\pm$ 0,40	1,34 $\pm$ 0,23 ^b	0,99 $\pm$ 0,18 ^a	2,53 $\pm$ 0,75 ^c	1,40 $\pm$ 0,38 ^b
Huella de carbono total, HT	1,30 $\pm$ 0,38	1,43 $\pm$ 0,23 ^b	1,10 $\pm$ 0,19 ^a	2,35 $\pm$ 0,83 ^c	1,59 $\pm$ 0,39 ^b
Huella asignada a leche, HAs	1,14 $\pm$ 0,38	1,22 $\pm$ 0,24 ^b	0,97 $\pm$ 0,19 ^a	1,97 $\pm$ 0,99 ^d	1,50 $\pm$ 0,44 ^c
CO _{2e} kg ⁻¹ peso vivo vendido	7,8 $\pm$ 2,3	8,6 $\pm$ 1,43 ^b	6,6 $\pm$ 1,14 ^a	14,6 $\pm$ 4,99 ^c	9,4 $\pm$ 2,41 ^b
Absorción de carbono	-0,13 $\pm$ 0,08	-0,16 $\pm$ 0,06 ^b	-0,10 $\pm$ 0,04 ^c	-0,34 $\pm$ 0,26 ^a	-0,09 $\pm$ 0,03 ^c
Soja	0,15 $\pm$ 0,09	0,18 $\pm$ 0,07	0,13 $\pm$ 0,11	0,15 $\pm$ 0,15	0,19 $\pm$ 0,07
iLUC	0,05 $\pm$ 0,06	0,04 $\pm$ 0,05	0,06 $\pm$ 0,07	0,02 $\pm$ 0,02	0,04 $\pm$ 0,05
CO _{2e} dentro explotación	0,80 $\pm$ 0,31	0,92 $\pm$ 0,20 ^b	0,64 $\pm$ 0,19 ^a	1,71 $\pm$ 0,50 ^c	1,04 $\pm$ 0,27 ^b
CO _{2e} fuera explotación	0,49 $\pm$ 0,19	0,52 $\pm$ 0,15 ^{ab}	0,46 $\pm$ 0,21 ^a	0,63 $\pm$ 0,35 ^b	0,55 $\pm$ 0,15 ^{ab}
<i>Nitrógeno, g kg⁻¹ leche FPCM</i>					
Huella nitrógeno total, HN _t	19,9 $\pm$ 6,2	22,6 $\pm$ 5,1 ^b	18,1 $\pm$ 5,9 ^a	23,28 $\pm$ 10,6 ^b	21,1 $\pm$ 5,85 ^{ab}
Huella nitrógeno reactivo, HN _r	6,4 $\pm$ 3,2	9,05 $\pm$ 2,85 ^b	5,55 $\pm$ 1,95 ^b	10,2 $\pm$ 7,7 ^c	3,97 $\pm$ 0,90 ^a
N-NH ₃	3,41 $\pm$ 1,8	5,34 $\pm$ 1,24 ^c	2,90 $\pm$ 1,38 ^b	2,45 $\pm$ 2,01 ^{ab}	2,0 $\pm$ 1,39 ^a
Acidificación potencial (SO _{2e})	12,8 $\pm$ 7,9	18,8 $\pm$ 5,8 ^b	8,68 $\pm$ 4,83 ^a	7,48 $\pm$ 18,0 ^a	19,1 $\pm$ 6,49 ^b
Eutrofización potencial (NO _{3e})	43,6 $\pm$ 23,4	57,9 $\pm$ 12,7 ^c	35,7 $\pm$ 16,5 ^b	-14,5 $\pm$ 39,8 ^a	61,2 $\pm$ 20,5 ^c
<i>Ocupación del territorio, m² kg⁻¹ PPCM</i>					
Ocupación territorio	2,15 $\pm$ 1,1	2,58 $\pm$ 0,94 ^b	2,04 $\pm$ 1,12 ^{ab}	2,13 $\pm$ 2,35 ^{ab}	1,82 $\pm$ 0,89 ^a
Dentro explotación	0,910,58	0,97 $\pm$ 0,75 ^b	0,98 $\pm$ 0,51 ^b	0,55 $\pm$ 0,83 ^a	0,63 $\pm$ 0,29 ^{ab}
Fuera explotación	1,24 $\pm$ 1,1	1,61 $\pm$ 1,01	1,06 $\pm$ 1,05	1,58 $\pm$ 2,53	1,19 $\pm$ 0,80
<i>Huella hídrica, litros agua kg⁻¹ FPCM</i>					
Huella hídrica total, HHt	1093 $\pm$ 469	1128 $\pm$ 239 ^b	884 $\pm$ 266 ^a	2036 $\pm$ 811 ^c	1613 $\pm$ 615 ^d
Huella hídrica verde, HHv	935 $\pm$ 433	959 $\pm$ 205 ^b	745 $\pm$ 252 ^a	1816 $\pm$ 745 ^d	1413 $\pm$ 571 ^c
Huella hídrica azul + gris, HH _{a+g}	158 $\pm$ 52	168 $\pm$ 45 ^b	138 $\pm$ 35 ^a	220 $\pm$ 111 ^c	201 $\pm$ 58 ^c
HH, L Kcal ⁻¹ de EB leche	1,57 $\pm$ 0,69	1,55 $\pm$ 0,32 ^a	1,29 $\pm$ 0,34 ^a	3,12 $\pm$ 1,76 ^c	2,14 $\pm$ 0,82 ^b
HH, L g ⁻¹ de GB leche	30,3 $\pm$ 13,1	29,8 $\pm$ 6,0 ^a	25,1 $\pm$ 6,6 ^a	60,0 $\pm$ 33,1 ^c	41,7 $\pm$ 15,5 ^b
HH, L g ⁻¹ de PB leche	36,2 $\pm$ 16,7	35,7 $\pm$ 7,8 ^a	29,3 $\pm$ 8,0 ^a	73,3 $\pm$ 41,8 ^c	50,2 $\pm$ 19,8 ^b

Tabla 5. Impactos ambientales por kilogramo de leche entre grupos (media $\pm$ desviación estándar) (continuación).

Table 5. Environmental impacts per kilogram of milk between groups (mean $\pm$ standard deviation) (continuation).

Grupo		I	II	III	IV
Nº explotaciones	Media	64	131	8	34
% sobre el total		27 %	55,2 %	3,3 %	14,3 %
Tipología		IntBbTe	IntAbTe	ExtAbTe	ExtBbTe
<i>Huella energética, MJ kg⁻¹ FPCM</i>					
Huella energética total, HE _t	4,03 $\pm$ 1,4	4,40 $\pm$ 1,49 ^b	3,58 $\pm$ 1,16 ^a	6,25 $\pm$ 1,87 ^c	4,55 $\pm$ 1,14 ^b
Huella energética directa, HE _d	1,64 $\pm$ 1,1	1,66 $\pm$ 1,11 ^a	1,50 $\pm$ 1,10 ^a	3,57 $\pm$ 1,92 ^b	1,73 $\pm$ 0,45 ^a
Huella energética indirecta, HE _i	2,39 $\pm$ 0,95	2,74 $\pm$ 1,05 ^b	2,08 $\pm$ 0,64 ^a	3,20 $\pm$ 2,13 ^b	2,76 $\pm$ 0,93 ^b
<i>Surplus, g kg⁻¹ FPCM</i>					
N	13,4 $\pm$ 6,1	14,3 $\pm$ 5,49 ^{ab}	13,3 $\pm$ 6,46 ^a	17,6 $\pm$ 11,6 ^b	11,1 $\pm$ 3,05 ^a
P	1,15 $\pm$ 1,5	0,58 $\pm$ 1,14 ^{ab}	1,30 $\pm$ 1,78 ^{bc}	0,30 $\pm$ 2,09 ^a	1,91 $\pm$ 0,94 ^c
<i>Relación entradas $\div$ salidas</i>					
N	3,56 $\pm$ 0,40	3,96 $\pm$ 0,97 ^{bc}	3,40 $\pm$ 1,19 ^{ab}	4,59 $\pm$ 2,50 ^c	3,22 $\pm$ 0,72 ^a
P	2,95 $\pm$ 0,40	3,28 $\pm$ 1,14 ^b	2,96 $\pm$ 1,63 ^b	1,74 $\pm$ 1,78 ^a	2,59 $\pm$ 0,70 ^b

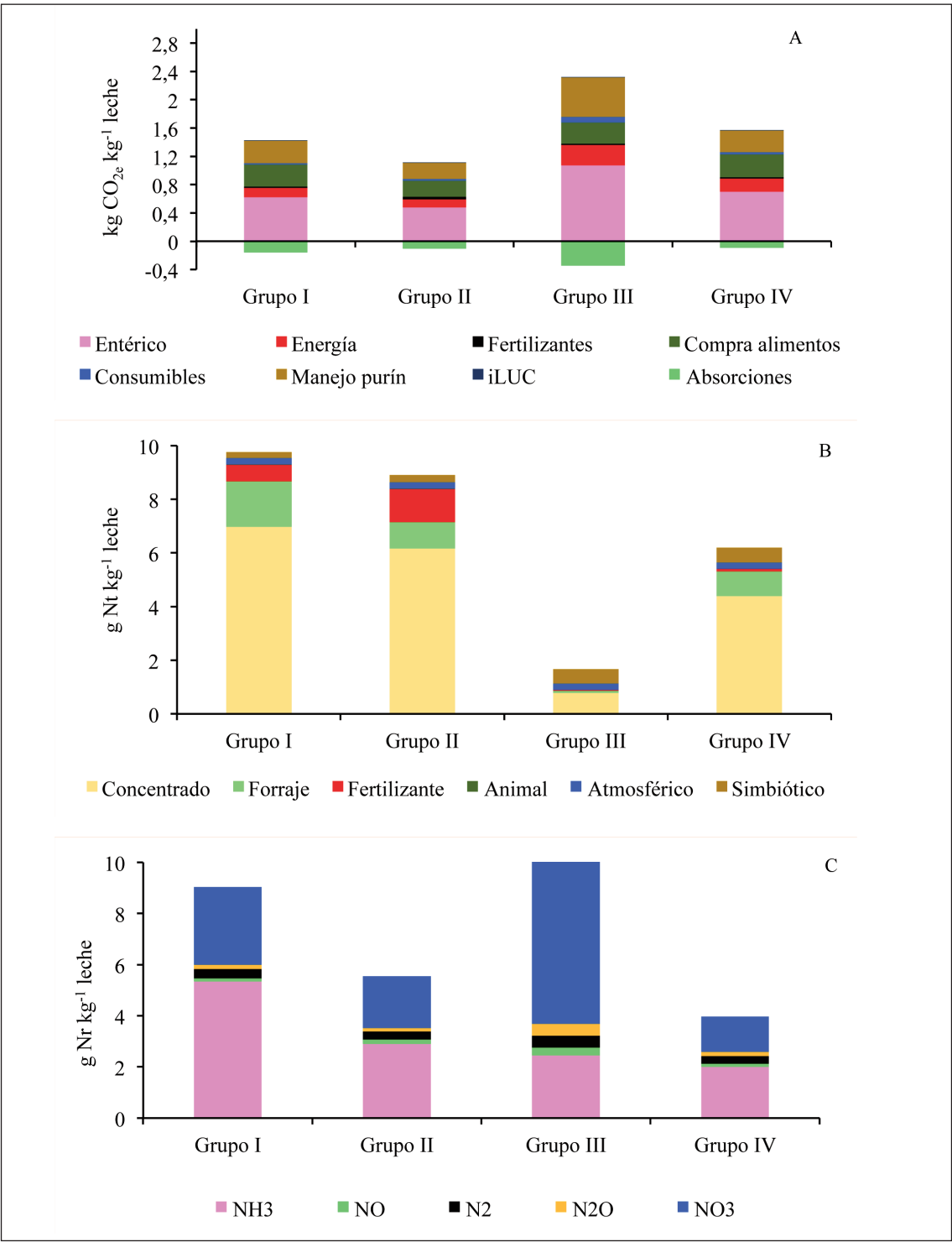
Grupo I (IntBbTe), intensivas con baja base territorial. Grupo II (IntAbTe), intensivas con alta base territorial. Grupo III (ExtAbTe), extensivas alta base territorial. Grupo IV (ExtBbTe), Extensivas baja base territorial. GB: grasa bruta. PB: proteína bruta. iLUC: uso indirecto del suelo. N: nitrógeno. P: fósforo. medias con diferente letra dentro de la misma fila difieren ($P < 0,05$).

las vacas lecheras (NUE_{VL} y PUE_{VL}), del conjunto del rebaño (NUE_{CR} y PUE_{CR}) y la del suelo (NUE_{SU}) fue la menor ($P < 0,05$) de las tipologías intensivas (Tabla 4).

Las huellas de carbono HP, HT y la asignada a leche fueron mayores ($P < 0,05$) respecto a su homóloga intensiva del Grupo II (Tabla 5). Las emisiones dentro de la explotación representan el 64,3 % para HT; de las cuales, el 87,5 % proceden del metano entérico, la compra de alimentos y el manejo del purín (Figura 3A) y sólo el 11,2 % de HT son absorciones. La huella de N total (HN_t), las emisiones de amoníaco (N-NH₃), el potencial de

acidificación (SO_{2e}) y el potencial de eutrofización (NO_{3e}) también fueron superiores a su homóloga intensiva del Grupo II ($P < 0,05$). La distribución de la HN_t y HN_r viene representada en la Figura 3B y 3C.

La huella hídrica total (HH_t), verde (HH_v) y azul más gris (HH_{a+g}) fueron intermedias a la de los Grupos II y IV (Tabla 5), pero significativamente más altas dentro de la tipología intensiva ($P < 0,05$). La huella energética total (HE_t) y la indirecta (HE_i) fueron superiores a la del Grupo II (Tabla 5). El reparto de las huellas energética e hídrica se presenta en las Figuras 3D y 3E.



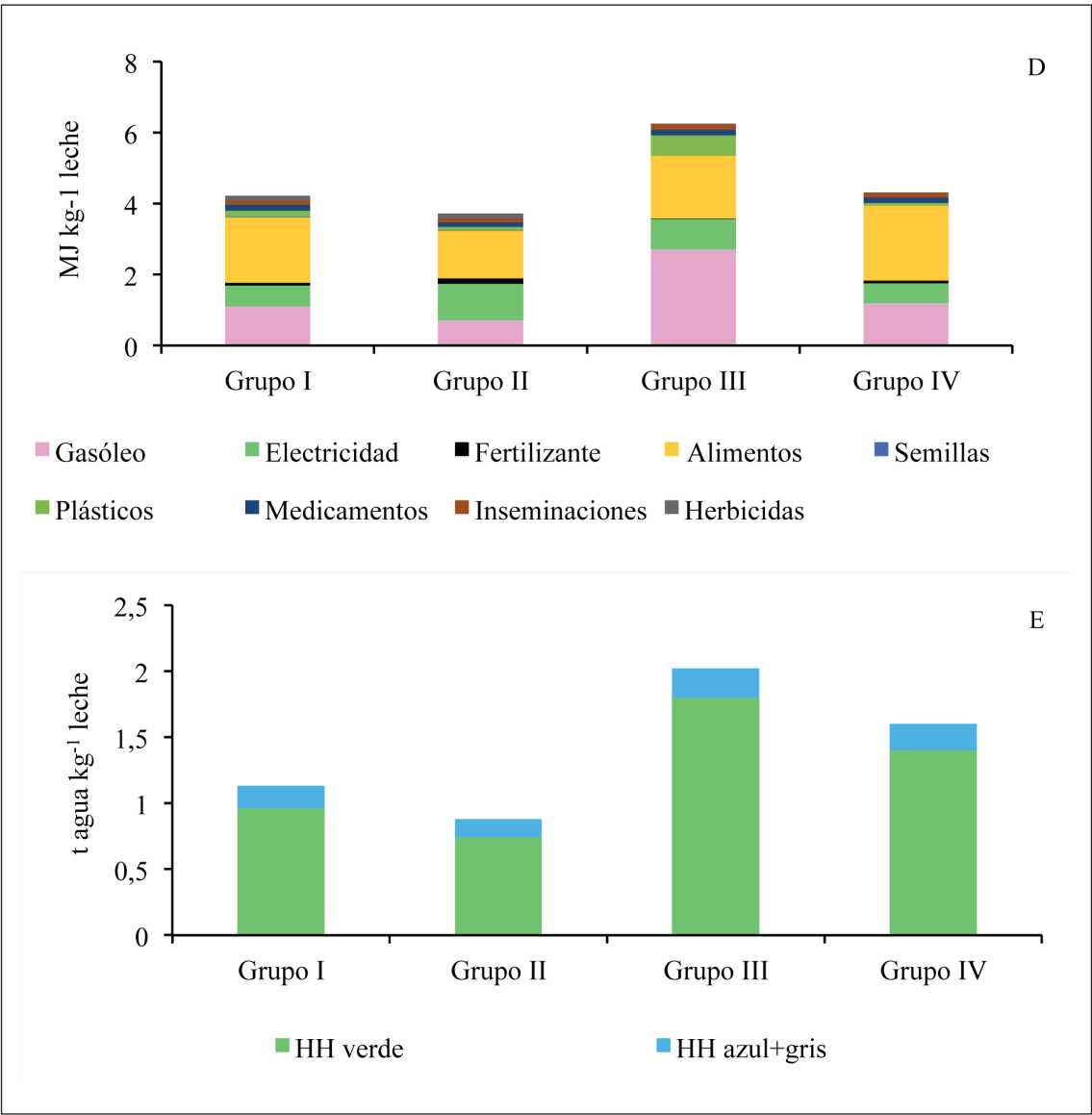


Figura 3. Reparto de las huellas de carbono (A), nitrógeno total (B), nitrógeno reactivo (C), energética (D) e hídrica (E).
Figure 3. Distribution of carbon (A), total nitrogen (B), reactive nitrogen (C), energy (D) and water (E) footprints.

Tabla 6. Relación entre variables técnicas con los impactos ambientales¹.
 Table 6. Relationship between technical variables and environmental impacts¹.

	UGM ha ⁻¹	Superficie (ha)	Pradera (%)	CFA (%)	Compra F+P (kg ha ⁻¹)	Fertilizante (kg N ha ⁻¹)	kg MS pienso kg ⁻¹ leche	Leche (kg VL ⁻¹ año ⁻¹)	Leche (kg ha ⁻¹)	NUE _{cr} (%)	NUE explotación (%)	Estiércol (kg ha ⁻¹)	N purín (kg ha ⁻¹)
HP	-	-	0,35**	-0,34**	-	-	0,35**	-0,65**	-0,33**	-0,81**	-	-	-
HT	-	-	0,31**	-0,31**	-	-	0,51**	-0,59**	-	-0,72**	-	-	-
HN _t	-	-	-	-	-	-	0,50**	-	-	-0,48**	-0,43**	-	-
HN _r	-	-	-	-	-	-	-0,18**	-0,17**	-0,17**	-0,14*	-	-	-
N-NH ₃	0,30**	-	-	-	0,27**	-	0,31**	-	0,22**	-	-	0,30**	0,48**
SO _{2e}	-	-0,38**	-	-	-	-	0,40**	-0,28**	-	-0,31**	-	-	-
NO _{3e}	0,38**	-	-	-	0,33**	-	0,45**	-	-	-	-0,30**	0,34**	0,37**
HE _d	-	-	-	-	-0,31**	-	-	-0,41**	-0,32**	-0,30**	-	-0,28**	-0,29**
HE _i	-	-	-	-	-	-	0,50**	-	-	-0,43**	-0,31**	-	-
HE _t	-	-	-	-	-	-	-	-0,42**	-	-0,50**	-	-	-
OT _t	0,52**	-	-	-	0,50**	-	-	-	0,44**	-	-	0,52**	0,54**
OT off-farm	-	-	-	-	-	-	-	0,31**	-	-	-	-	-
OT on-farm	0,50**	-	-	-	0,46**	-	-	-	0,35**	-	-	0,48**	0,50**
HH _t	-	-	0,50**	-0,49**	-	-	0,55**	-0,67**	-0,34**	-0,62**	-	-	-
HH _v	-	-	0,52**	-0,52**	-	-0,31**	0,51**	-0,68**	-0,38**	-0,62**	-	-	-0,22**
HH _{a+g}	0,35**	-	-	-	0,32**	-	0,71**	-0,42**	-	-0,49**	-	0,31**	0,25**
Surplus N	-	-	-	-	-	0,33**	-	-	-	-	-0,67**	-	-
Surplus P	-	-	-	-	-	0,33**	-	-	-	-	-0,40**	-	-

¹: coeficiente de correlación ≥0,30. CFA: cultivos forrajeros anuales; ** (P < 0,01).

Grupo II (IntAbTe): Explotaciones Intensivas con alta base territorial

Este grupo concentra el 55,2 % de explotaciones de la muestra (Tabla 4), estando presente en todas las CC. AA. (Figura 1). Estas explotaciones cuentan con una base territorial media de 50,1 ha; dedicando el 34,1 % a la siembra de cultivos forrajeros anuales y el 64,4 % a prados. La producción de forraje ronda las 8 t MS ha⁻¹ que satisfacen el 50,2 % de las necesidades nutritivas de los animales (Tabla 4). La compra de alimentos resulta similar a la tipología del Grupo I (Tabla 4), pero menor ($P < 0,05$) la suplementación de pienso por kilogramo de leche (0,46 vs. 0,58 kg kg⁻¹).

Este grupo concentra el mayor número de UGM ($P < 0,05$), equivalentes a una carga ganadera de 3,10 UGM ha⁻¹ que pueden generar 312-22,2-243-3470 kg N-P-K-C ha⁻¹ del purín. La producción de leche es la mayor de los cuatro grupos ($P < 0,05$), con medias de 1025 t año⁻¹, 14,6 t ha⁻¹; 7,53 t vaca⁻¹ año⁻¹ y 28,4 kg vaca⁻¹ día⁻¹ (Tabla 4). Las eficiencias de utilización del N y P de la dieta en las vacas lecheras (NUE_{VL} y PUE_{VL}) y en el rebaño (NUE_{CR} y PUE_{CR}) también fueron mayores ($P < 0,05$). Por el contra, la eficiencia del N y P de la explotación (NUE_{EX} y PUE_{EX}) resultó similar a los Grupos I y IV (Tabla 4).

Las huellas de carbono HP, HT y la asignada a leche fueron las menores de las cuatro tipologías ($P < 0,05$), con medias 0,99; 1,10 y 0,97 kg CO_{2e} kg⁻¹ leche, respectivamente (Tabla 5). Las emisiones generadas dentro de la explotación representan el 64,3 % para HT, de las que el 87,5 % proceden del metano entérico, la compra de alimentos y el manejo del purín (Figura 3A); mientras, las absorciones contribuyen con el 9,1 % de HT.

Las huellas de nitrógeno total (HN_T) y nitrógeno reactivo (HN_R), el N-NH₃, la acidificación potencial (SO_{2e}) por kilogramo de leche fueron menores ($P < 0,05$) respecto a sus homólogas intensivas del Grupo I (Tabla 5). La eutrofiza-

ción potencial (NO_{3e}) fue intermedia entre los Grupos III y IV y menor ($P < 0,05$) al Grupo I.

La ocupación del territorio total (OT_T) fue de 2,04 m² kg⁻¹ leche (Tabla 5), similar al Grupo III más extensivo y menor al Grupo I ($P < 0,05$). La huella hídrica y energética fueron las menores de los cuatro grupos (3,58 MJ kg⁻¹ y 884 l kg⁻¹ leche). La Figura 3 representa el reparto de los elementos que componen la huella de carbono, la del N total, N reactivo, la energética y la hídrica de un kilogramo de leche.

Grupo III (ExtAbTe): Explotaciones Extensivas con alta base territorial

Este grupo concentra el 3,3 % de la muestra y ubicadas en Cantabria (Figura 1). La base territorial es la mayor de las cuatro tipologías ($P < 0,05$), con una media de 60 ha (Tabla 4). La superficie está ocupada principalmente por prados (99,2 %), de las que el 77,1 % de su producción se consume a diente o en pesebre y el 22,8 % se conserva como ensilado o heno. La producción de hierba fue de 5,5 t MS ha⁻¹ que satisface el 79,1 % de las necesidades nutritivas del rebaño. La compra de alimentos fue la menor de los cuatro grupos (Tabla 4) y similar suplementación de pienso por kilogramo de leche (0,48 kg kg⁻¹) a la tipología intensiva del Grupo II. Este grupo concentra la menor carga ganadera, la NUE_{VL}, la NUE_{CR} y la producción de leche ($P < 0,05$); por contra, la concentración de ácido linoleico conjugado (CLA) de la leche fue mayor ($P < 0,05$), y menor la relación $\Omega 6/\Omega 3$ (Tabla 4). Los mayores impactos ambientales por kilogramo de leche ($P < 0,05$) se concentran en este Grupo (Tabla 4), pero menores por hectárea (Figura 4). Las huellas de carbono HP, HT y HAs fueron respectivamente 2,53; 2,35 y 1,97 kg CO_{2e} kg⁻¹ leche, donde el entérico, la compra de alimentos y el manejo del purín representan el 82,1 % (Figura 3A). Las emisiones generadas dentro de la explotación representan el 67,6 % para HT, reduciéndose

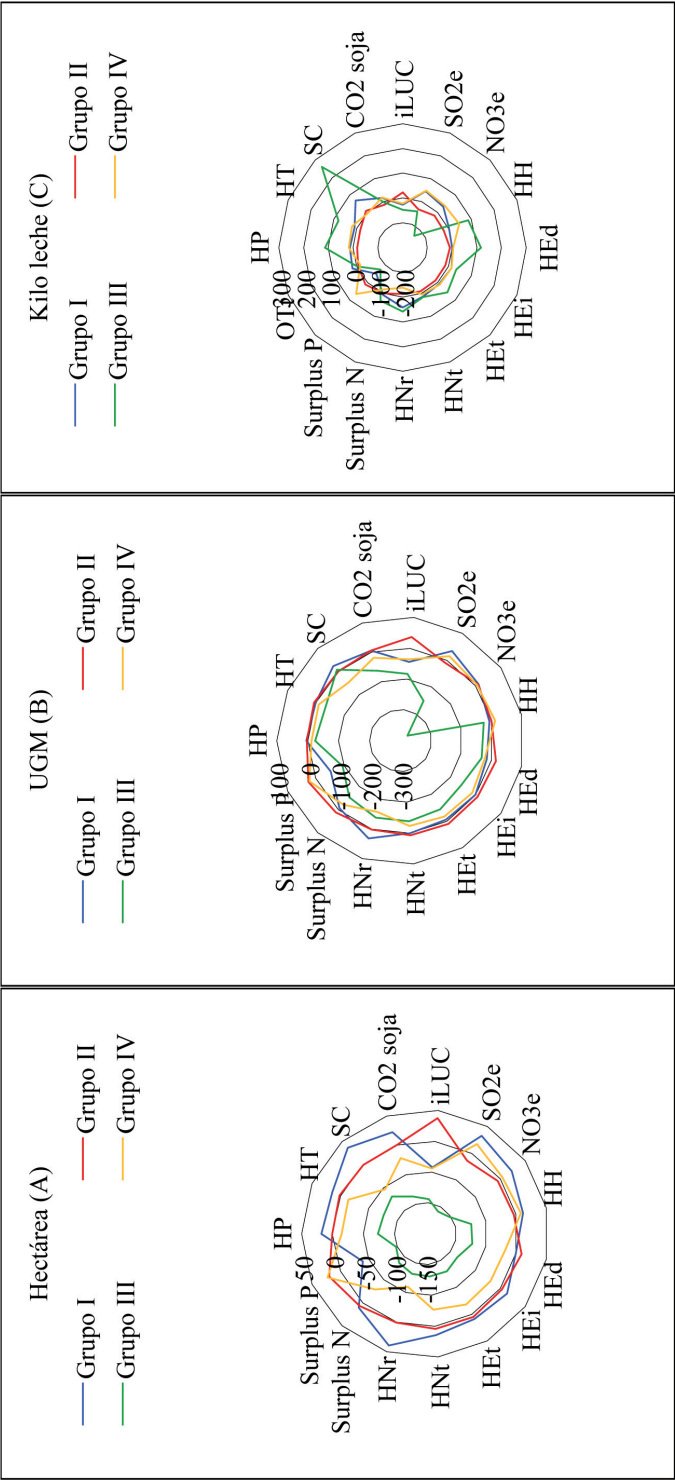


Figura 4. Variación porcentual de los impactos ambientales respecto a la media por grupo por hectárea (A), UGM (B) y kilogramo de leche (C).
Figure 4. Percentage variation of environmental impacts with respect to the average per group per hectare (A), LU (B) and kilogram of milk (C).

hasta el 53,2 % cuando se restan las absorciones de carbono, equivalente a $348 \text{ g CO}_2 \text{ kg}^{-1}$ leche (Tabla 5). La HN_t fue similar a la del Grupo I, mayor la HN_r de los cuatro grupos ($P < 0,05$), superior el N-NH_3 ($P < 0,05$) a su homóloga extensiva del Grupo IV (Tabla 5), menor ($P < 0,05$) la eutrofización potencial (NO_{3e}) y similar la acidificación potencial a la del Grupo II (Tabla 5). La ocupación del territorio dentro de la explotación fue la menor de los cuatro grupos ($P < 0,05$) equivalente a $0,55 \text{ m}^2 \text{ kg}^{-1}$ leche y similar entre grupos la de fuera de la explotación (Tabla 5).

Grupo IV (ExtBbTe): Explotaciones Extensivas con baja base territorial

Este grupo concentra el 14,3 % de explotaciones de la muestra (Tabla 4) y ubicadas en Cantabria (Figura 1). La base territorial es baja (25,6 ha), ocupada por prados el 99,3 %, con aprovechamiento mayoritario a diente (78,4 %). La fertilización inorgánica fue similar a la tipología intensiva del Grupo II ($P < 0,05$), la producción de hierba se asemeja al Grupo III (Tabla 4), y superior producción de leche a su homóloga extensiva ($P < 0,05$). La compra de pienso por vaca y año resulta similar a la de los Grupos intensivos I y II (Tabla 5).

La carga ganadera fue de $3,18 \text{ UGM ha}^{-1}$ que generan 56,6 t purín al año, equivalentes a 241-19,8-259-2790 kg N-P-K-C, respectivamente. Las eficiencias de utilización del N y P de la dieta en el conjunto del rebaño (NUE_{CR} y PUE_{CR}) y de la explotación (NUE_{EX} y PUE_{EX}) fueron similares a las tipologías intensivas. Por el contrario, la del suelo (NUE_{SU}) fue similar a la del Grupo III y la (PUE_{SU}) a los Grupos I y II (Tabla 4).

Las huellas de carbono HP y HT fueron similares al Grupo I e inferiores a las del Grupo III (Tabla 5). Las emisiones derivadas del metano entérico, la compra de alimentos y el manejo del purín representan el 83,7 % (Figura 3A). Las emisiones de dentro de la explotación re-

presentan el 65,4 %, reduciéndose hasta un 59,7 % al incluir la absorción de carbono, equivalente a $93 \text{ g CO}_2 \text{ kg}^{-1}$ leche (Tabla 5).

La HN_t fue intermedia entre los Grupos II y III (Tabla 5), menor la HN_r y el N-NH_3 ($P < 0,05$) de las cuatro tipologías; similar la acidificación (SO_{2e}) y eutrofización (NO_{3e}) a las intensivas del Grupo I. La ocupación del territorio total (OT_t) fue la menor de los cuatro grupos ($P < 0,05$) y mayor la huella hídrica total (Tabla 5).

Análisis de correlación y valoración de los impactos ambientales

La Tabla 6 señala el grado de correlación Pearson ($r \geq 0,3$) entre las variables dependientes (impactos ambientales) y las independientes (variables de granja). Entre ellas se eligieron 8 dependientes y 3 independientes (las que más impactos agrupan) para estimar el potencial de mitigación de los impactos dentro de cada tipología (Tabla 7). En general, los kilogramos de pienso por kilogramo de leche manifestaron bajos coeficiente de determinación, pero positivamente relacionados con la huella de carbono total (HT: $r^2 = 0,26$; $P < 0,001$); la de nitrógeno total (HN_t ; $r^2 = 0,24$; $P < 0,001$) y la hídrica total y azul más gris (HH_t ; $r^2 = 0,30$; $P < 0,001$. HH_{a+g} ; $r^2 = 0,50$; $P < 0,001$), respectivamente. De igual forma, aquellas huellas pueden aumentar respectivamente $1,09 \text{ kg CO}_{2e} \text{ kg}^{-1}$; $17,2 \text{ g N}$; 1431 L y 205 L agua al incrementar un kilogramo de pienso por kilogramo de leche (Tabla 7) y diferente pendiente entre Grupos (Tabla 7).

La producción de leche vaca y año se relacionó negativamente con la huella de carbono parcial (HP: $r^2 = 0,43$; $P < 0,001$), la huella energética total (HE_t ; $r^2 = 0,18$; $P < 0,001$) y la huella hídrica total (HH_t ; $r^2 = 0,45$; $P < 0,001$), con pendientes en cada caso de $0,00013 \text{ kg CO}_{2e} \text{ kg}^{-1}$, $-0,0003 \text{ MJ}$ y $-0,16 \text{ L}$ de agua al aumentar un kilogramo la producción de leche vaca año. La mayor pendiente para HP co-

Tabla 7. Coeficientes de determinación y pendientes de cada impacto entre grupos.
 Table 7. Coefficients of determination and slopes of each impact between groups.

Impacto	Grupo	Variables independientes					
		Kg MS pienso kg ⁻¹ leche FPCM		Leche FPCM vaca ⁻¹ año ⁻¹		NUE _{CR}	
		R ²	Pendiente	R ²	Pendiente	R ²	Pendiente
HP	General	–	–	0,43	-0,00013	0,65	-0,055
	Grupo I	–	–	–	–	0,52	-0,048
	Grupo II	–	–	0,25	-0,000052	0,65	-0,03
	Grupo III	–	–	0,82	-0,001	0,73	-0,316
	Grupo IV	–	–	0,65	-0,00021	0,75	-0,06
HT	General	0,26	1,09	–	–	–	–
	Grupo I	0,14	0,51	–	–	–	–
	Grupo II	0,15	0,61	–	–	–	–
	Grupo III	0,37	1,02	–	–	–	–
	Grupo IV	0,48	1,49	–	–	–	–
HN _t	General	0,24	17,21	–	–	0,23	-0,51
	Grupo I	0,11	10,15	–	–	0,21	-0,7
	Grupo II	0,13	17,4	–	–	0,14	-0,46
	Grupo III	0,39	13,6	–	–	0,14	1,96
	Grupo IV	0,63	25,4	–	–	0,36	-0,63
HE _t	General	–	–	0,18	-0,0003	0,25	-0,11
	Grupo I	–	–	–	–	0,15	-0,16
	Grupo II	–	–	–	–	–	–
	Grupo III	–	–	0,24	-0,001	0,43	-0,61
	Grupo IV	–	–	0,39	-0,001	0,42	-0,13
HH _t	General	0,30	1431	0,45	-0,16	0,39	-49,3
	Grupo I	0,51	1914	0,30	-0,1	0,21	-32,5
	Grupo II	0,32	1379	0,37	-0,03	0,29	-29,3
	Grupo III	0,14	426	–	–	–	–
	Grupo IV	0,46	2317	0,23	-0,22	0,12	-39,4

Tabla 7. Coeficientes de determinación y pendientes de cada impacto entre grupos (continuación).
 Table 7. Coefficients of determination and slopes of each impact between groups (continuation).

Impacto	Grupo	Variables independientes					
		Kg MS pienso kg ⁻¹ leche FPCM		Leche FPCM vaca ⁻¹ año ⁻¹		NUE _{CR}	
		R ²	Pendiente	R ²	Pendiente	R ²	Pendiente
HH _{a+g}	General	0,50	205	–	–	–	–
	Grupo I	0,63	210	–	–	–	–
	Grupo II	0,26	151	–	–	–	–
	Grupo III	0,69	189	–	–	–	–
	Grupo IV	0,46	219	–	–	–	–
NUE explotación							
Surplus N	General	–	–	–	–	0,45	-0,46
	Grupo I	–	–	–	–	0,53	-0,52
	Grupo II	–	–	–	–	0,43	-0,48
	Grupo III	–	–	–	–	0,79	-0,5
	Grupo IV	–	–	–	–	0,68	-0,39
Surplus P	General	–	–	–	–	0,16	-0,07
	Grupo I	–	–	–	–	0,13	-0,05
	Grupo II	–	–	–	–	0,16	-0,08
	Grupo III	–	–	–	–	0,49	-0,071
	Grupo IV	–	–	–	–	0,14	-0,055

rrespondió al Grupo III (Tabla 7), la HE_t en los Grupos III y IV y la HH_t en el Grupo IV, con coeficientes de determinación aceptables para HP y bajos en HE_t y HH_t. Mientras, la eficiencia de utilización del N en el conjunto del rebaño (NUE_{CR}) fue la variable que más explicó la variación de para algunos impactos ambientales como HP ($r^2 = 0,65$; $P < 0,001$); HN_t ($r^2 = 0,23$; $P < 0,001$); HE_t ($r^2 = 0,25$; $P < 0,001$) y HH_t ($r^2 = 0,39$; $P < 0,001$). Así, incrementos de una unidad porcentual de la NUE_{CR} aquellas huellas pueden disminuir $-0,055$ kg CO_{2e} la

HP; $-0,51$ kg N la HN_t; $-0,11$ MJ la HE_t y $-49,3$ L de agua la HH_t (Tabla 7). La eficiencia de utilización del N de la explotación (NUE_{EX}) se relacionó con el surplus de N ($r^2 = 0,45$; $P < 0,001$), disminuyendo $0,46$ g N kg⁻¹ leche al aumentar una unidad porcentual la NUE_{EX} (Tabla 7).

La variación porcentual de los impactos ambientales de cada Grupo respecto a la media de los cuatro viene representada en la Figura 4. La mayor diferencia por hectárea se observa en el Grupo III, con variaciones de -69 % la absorción de carbono a -109 % la acidifi-

cación potencial. Mientras por UGM, la mayor variación fue para la eutrofización potencial (-273 %) y la menor con signo positivo (+8,3 %) absorción de carbono, también en el Grupo III. Por el contrario, por kilogramo de leche la mayor contribución positiva se localiza en la absorción de carbono (+260 %) en la tipología del Grupo III y la menor con signo negativo es la eutrofización potencial de -133 % también en el Grupo III.

Discusión

El sector lechero aporta alimentos y genera beneficios económicos, sin embargo, también genera impactos ambientales (Peterson y Mitloehner, 2021). El 78,9 % de la producción de leche de vaca en España se concentra en las CC. AA. de Galicia, Asturias, Cantabria, Navarra, Cataluña y Castilla y León (MAPA, 2021), las cuales representan el 36 % de la superficie del territorio nacional.

Entre los años 2001 y 2021, el rendimiento lechero por vaca y año en España aumentó un 71,5 % (de 5495 a 9424 kg), una evolución comparable al incremento del 40 % registrado en Europa de 5409 a 7574 kg (Eurostat, 2023). Paralelamente, la población de vacas lecheras descendió un 27,6 %, en España equivalente a 309.000 cabezas y un 14,5 % en Europa, indicado una intensificación productiva significativa, en concordancia con lo reportado por AHDB Dairy (2016), Eurostat (2016) y Britt *et al.* (2018).

Coincidente con González-Mejía *et al.* (2018), el análisis multivariante permitió identificar dos grandes tipologías productivas: explotaciones intensivas y extensivas, subdivididas a su vez según su base territorial disponible. Las primeras la forman el Grupo I y Grupo II definidas como "Intensivas con alta o baja base territorial", quienes concentran el 82,3 % de las explotaciones. Las extensivas formadas

por los Grupos III y IV clasificadas como "Extensivas con alta o baja base territorial" aglutinan el 17,7 % de las granjas.

La clasificación en cuatro grupos fue similar a la señalada por Díaz de Otálora *et al.* (2022) sobre una muestra de 251 explotaciones lecheras de Europa, observándose algunas diferencias respecto a las del presente trabajo. Entre otras, una mayor superficie dedicada a cultivos forrajeros anuales, número de UGM por explotación, producción de leche por vaca y variaciones en determinados indicadores ambientales. Estas discrepancias puedan atribuirse a diferencias en las condiciones climáticas, manejo, alimentación, entorno de modelización empleado y tipo de alcance utilizado en algunos procesos de la modelización. Los diferentes impactos ambientales observados dentro de cada tipología son discutidos a continuación.

Huella de carbono

La huella de carbono parcial (HP) media estimada fue de 1,19 kg CO_{2e} kg⁻¹ leche FPCM, superior a los 0,80 kg CO_{2e} señalada por Díaz de Otálora *et al.* (2022) utilizando el modelo SIMS_{DAIRY} (del Prado *et al.*, 2011), e inferior a los 1,3 kg CO_{2e} estimados para España (Mazetto *et al.*, 2022) a partir de datos bibliográficos. Las menores emisiones se registraron en el Grupo II (IntAbTe), y las mayores en el Grupo III (ExtAbTe), atribuidas a la diferencia en producción láctea, en concordancia con Garnsworthy *et al.* (2012). Las diferencias observadas en este estudio son inferiores al 72 % señalado por Wattiaux *et al.* (2019) para el conjunto de la muestra.

La mayor producción de leche en los Grupos I y II, unido al consumo de ensilado de maíz, permitió reducir la huella de carbono parcial (HP) en un 8,2 % y la huella total (HT) un 7,6 %. Según Hart *et al.* (2015) y Gislón *et al.* (2019), la ingesta de ensilado de maíz reduce la formación de metano entérico (CH₄)

y está positivamente relacionado con la producción de leche (Garnsworthy *et al.*, 2012). Por contra, los sistemas más extensivos están asociados a mayor producción de metano entérico (Mazzetto *et al.*, 2022), generando una mayor huella de carbono como pudo comprobarse en el Grupo III del presente trabajo. La revisión de Mazzetto *et al.* (2022) señaló descensos de 0,00029 kg CO_{2e} en la huella de carbono al aumentar un kilogramo la producción de leche vaca y año ($r^2 = 0,40$), superior a 0,00013 kg ($r^2 = 0,43$) en este trabajo (Tabla 7). No obstante, las emisiones derivadas del uso indirecto del suelo (Audsley *et al.*, 2009) y de la soja que acompaña al pienso (FAO e IDF, 2011) citado por Battini *et al.* (2016) no siempre pueden reducir la huella de carbono a la adición de un kilogramo de pienso extra. Añadir un kilogramo de pienso a las vacas de leche puede generar 1,09 kg CO_{2e} kg⁻¹ leche, menor que 1,30 kg la HT en el conjunto de tipologías. El porcentaje de emisiones procedentes del iLUC y de la soja representó el 16,2 % de la huella de carbono total en los Grupos I y II, y el 10,8 % en los Grupos III y IV, poniendo de manifiesto para aquellos una mayor dependencia de la proteína de fuera de la explotación, imputable a unas necesidades nutricionales para la producción de leche más altas. Mientras, las absorciones de carbono redujeron la huella un 9,7 % (127 g kg⁻¹ leche) en los cuatro grupos, similares a 110 g señalado por O'Brien *et al.* (2016) e inferior a 348 g a las del Grupo III.

Los aspectos de "manejo" como la producción de forrajes, la fertilización aplicada, la energía usada, la suplementación de los animales, la cantidad y procedencia de los concentrados, o de "carácter general" como la valoración del volumen de excretas y sus contenidos de N y P, los factores de emisión empleados, el método de asignación usado para leche y las variables consideradas entre otros, pueden ser diferentes. Los procesos de producción, los parámetros considerados y el al-

cance de cada uno de ellos podrían reproducir resultados diferentes en el cálculo de la huella. Por su parte, Díaz de Otálora *et al.* (2023) valoró la huella de carbono considerando las emisiones entéricas del estiércol y de la producción de alimentos de diez granjas europeas, obteniendo valores de 0,77 kg CO_{2e} kg⁻¹. Tomando el porcentaje de aquellos tres componentes dentro de cada tipología (I = 87,7 %; II = 84,5 %; III = 82,2 % y IV = 84,4 %) y considerando HP, HT y la asignada a leche (HAs), las explotaciones del Grupo II (IntAbTe) estarían más próximas al valor de 0,77 kg, con medias de 0,83; 0,93 y 0,82 kg CO_{2e} kg⁻¹ leche, respectivamente. En el otro extremo, las huellas del Grupo III (ExtAbTe) serían de 2,08; 1,93 y 1,62 kg. Coincidente con Styles *et al.* (2017) y para este último grupo, un cierto grado de intensificación podrían reducir las emisiones de un kilogramo de leche.

Las diferencias de huella de carbono aquí observadas respecto a las señaladas por (Díaz de Otálora *et al.*, 2023) en explotaciones lecheras de Europa, puede tener su origen en la mayor carga ganadera de la muestra (3,20 UGM ha⁻¹ vs. 1,44 UGM), así como por una mayor compra de alimento (49,1% vs. 22,8 %), más que por la producción de leche (6650 vs. kg vaca⁻¹ año⁻¹). No obstante, la huella de carbono en el conjunto de tipologías estuvo más acorde a otras regiones productoras de leche: 1,23 kg CO_{2e} kg⁻¹ leche en EE. UU. (Thoma *et al.*, 2013); 1,10 kg en Australia (Gollnow *et al.*, 2014); 1,26 kg en Irlanda (O'Brien *et al.*, 2016); 1,26 kg en Italia (Bava *et al.*, 2014; Battini *et al.*, 2016); 1,4 kg en el Reino Unido (March *et al.*, 2021); y 1,3 kg en España (Mazzetto *et al.*, 2022).

El porcentaje de emisiones procedentes de la soja y del cambio de uso indirecto del suelo (iLUC) representaron el 16,2 % de la huella de carbono total en los Grupos I y II y el 10,8 % en los Grupos III y IV, poniendo de manifiesto una mayor dependencia de insumos externos. Mientras, la absorción de carbono

redujo la huella un 7,4 % (127 g kg^{-1} leche) en el conjunto de explotaciones, similar a 110 g señalado por O'Brien *et al.* (2014) e inferior a 340 g en las explotaciones del Grupo III.

Huella de nitrógeno

En general, la huella de nitrógeno total (HN_t) fue inferior a la señalada por Leip *et al.* (2014) de $30\text{-}50 \text{ g kg}^{-1}$ de leche en todos los grupos y, dentro del rango de $5\text{-}7 \text{ g kg}^{-1}$ la del nitrógeno reactivo (HN_r) en las explotaciones de UE27 analizadas con los modelos CAPRI y MITERRA (Britz y Witzke, 2014). Coincidente con Ledgard *et al.* (2019), los lixiviados de NO_3^- y el N-NH_3 representaron las mayores pérdidas de N por kilogramo de leche (Figura 3). El primero fue ligeramente inferior a $2,7 \text{ g kg}^{-1}$ de leche y superior a $2,9 \text{ g}$ el segundo en explotaciones de New Zealand (Ledgard *et al.*, 2019). En cualquier caso, las concentraciones de N-NH_3 aquí obtenidas fueron inferiores a 6 g kg^{-1} leche señaladas por Horan *et al.* (2019) en Irlanda, inferior a $7,5 \text{ g}$ en explotaciones intensivas de Portugal (Pereira y Trindade, 2015) y superiores a $3,2 \text{ g}$ en Europa (Díaz de Otálora *et al.*, 2023). Las pérdidas de N-NH_3 señaladas por estos últimos autores fueron calculadas únicamente para el establo y estercolero; mientras, Pereira y Trindade (2015) incluyen además la aplicación, estimada en un 40 % para los sistemas lecheros intensivos de Portugal. Posiblemente, la menor concentración de N-NH_3 en los Grupos III y IV tenga su origen en el pastoreo, donde parte de N de la orina se filtra en el suelo, reduciéndose la actividad de la ureasa con la consiguiente reducción potencial de N-NH_3 (Selbie *et al.*, 2015).

Los beneficios del estiércol para mantener la fertilidad y mejorar la estructura del suelo fueron establecidos por Zavattaro *et al.* (2017). Aplicar técnicas que reduzcan las emisiones de N-NH_3 , también favorece mitigar la acidificación potencial (Aneja *et al.*, 2009), los

excedentes de nutrientes (N y P) y la eutrofización potencial (Oenema y Pietrzak, 2002; Buckwell y Nadeu, 2016; Biagini y Lazzaroni, 2018). La diferencia de temperatura entre CC. AA. también pueden exhibir pérdidas porcentuales de N-NH_3 diferentes, reduciéndose la eficiencia de uso del N (Siman *et al.*, 2020; Pedersen *et al.*, 2021). La acidificación y eutrofización potencial por kilogramo de leche fue menor en los Grupos II y III y la mayor, en los Grupos I y IV, coincidentes con la menor superficie. La acidificación media de conjunto fue ligeramente superior a 10 g kg^{-1} señalada por la (IDF, 2015) e inferior la eutrofización a 77 g kg^{-1} indicada por Penati *et al.* (2013).

Eficiencias

Según Jarvis y Aarts (2000) y Salcedo (2017), la eficiencia de uso del N del estiércol se sitúa próxima al 50 %, la de los fertilizantes en el 80 % y la del N alimenticio en vacas de leche en el 25 %. En el caso del fósforo (P), la eficiencia del estiércol es cercana al 100 %, del 27 % la del rebaño y del 93 % el de la explotación (Tan *et al.*, 2022). Las eficiencias de uso del N y del P de la dieta en el conjunto del rebaño (NUE_{CR} y PUE_{CR}), de la explotación (NUE_{EX} y PUE_{EX}) y del suelo (NUE_{SU} y PUE_{SU}) fueron respectivamente inferiores a 24,9 %; 38,1 % y 68 %, y 31,9 %; 130 % y 106 % para sistemas intensivos de pastoreo incluyendo reserva de superficie para maíz en Holanda (Oenema y Oenema, 2021). La menor concentración de proteína en la leche en el conjunto de tipologías observada en este estudio (3,18 %) con respecto a la calculada en Holanda (3,48 %; Heck *et al.*, 2009) pudo, entre otras causas, reflejar la menor NUE_{CR} más que diferencias en la concentración proteica de las dietas (14,5 % frente al 15,8 %; Oenema y Oenema, 2021), también para el conjunto del rebaño.

La menor PUE_{CR} aquí observada respecto a Oenema y Oenema (2021) puede imputarse

al valor de P asignado a un kilogramo de leche. Mientras aquellos autores asumen concentraciones de $2,02 \text{ g kg}^{-1}$, el modelo Dairy-Cant (Salcedo y Salcedo-Rodríguez, 2022) asigna un valor de $0,97 \text{ g kg}^{-1}$ (INRA, 1981), similar al de $0,9 \text{ g kg}^{-1}$ propuesto por el NRC (2001). En general, y coincidente con Quemada *et al.* (2019), las diferencias en la NUE entre explotaciones estaban relacionadas principalmente con el sistema de producción, la gestión (intensidad y prácticas de producción) y probablemente también con las condiciones edafoclimáticas.

Ros *et al.* (2023) señalan valores similares para la NUE_{CR} y NUE_{EX} de 20 % y 44 %, y de 23 % y 61 % la PUE_{CR} y PUE_{EX} . En este estudio, tanto la NUE_{EX} como la PUE_{EX} del Grupo III fueron ligeramente superiores a los tres otros grupos, imputable a la menor compra de insumos, coincidente con Akert *et al.* (2020).

Eficiencias inferiores en las tipologías más extensivas (Grupos III y IV) también fueron observadas en los sistemas intensivos de pastoreo en Irlanda, con valores de 24 % y 72 % para NUE_{EX} y PUE_{EX} , respectivamente (Mihailescu *et al.*, 2015). Por su parte, Löw *et al.* (2020) señalaron diferencias en la NUE_{EX} según las horas diarias de pastoreo, registrándose las mayores eficiencias para sistemas sin pastoreo (50 %) y con medio día pastoreo (6 a 10 horas; 43 %). Intermedias las de pastoreo completo (10 horas), del 40 % medio día y las menores, del 32 %, cuando se practican 6 horas de pastoreo. Estas diferencias pueden tener su origen en una gestión más precisa de la fertilización y la alimentación.

La mayor PUE_{EX} observada en el Grupo III se relaciona con un menor surplus por hectárea (datos no mostrados), sin relaciones significativas con las entradas, salidas, el surplus o la relación entradas/salidas. Del mismo modo, para la NUE_{EX} , no se observaron relaciones con las entradas, las salidas, el surplus o con la re-

lación entradas/salidas imputables a eficiencias similares entre grupos. Por el contrario, Wivstad *et al.*, (2023) sí observaron relaciones directas entre las entradas y el surplus de N ($0,6 \text{ kg kg}^{-1}$; $r^2 = 0,81$) y de P ($0,5 \text{ kg kg}^{-1}$, $r^2 = 0,68$). Valores coincidentes con los obtenidos en el presente estudio: $0,77 \text{ kg kg}^{-1}$ para el N ($r^2 = 0,98$) y $0,41 \text{ kg kg}^{-1}$ para P ($r^2 = 0,44$).

Huella hídrica

La huella hídrica total (HH_t) fue de 1093 L kg^{-1} de leche para el conjunto de grupos, un valor similar a los 1096 L calculados por Mekonnen y Hoekstra (2010 y 2012), y a los 953 L estimados para Europa (Sultana *et al.*, 2014), aunque superior a los 524 L en Italia (Cosentino *et al.*, 2015) y a los 690 L en Irlanda (Murphy *et al.*, 2017). La menor HH_t observada en los Grupos I y II fue atribuida al mayor volumen de leche por vaca y año, así como al mayor porcentaje de cultivos forrajeros anuales de mayor producción, como es el caso del maíz. Por el contrario, los Grupos III y IV, con mayor superficie dedicada a pastos y una menor producción de leche, presentaron una huella hídrica más elevada.

Del total de 1093 litros de agua por kilogramo de leche, el 85,6 % (935 L) corresponde a agua verde, es decir, aquella que no entra en competencia directa con el consumo humano y que puede ser utilizada por la planta, filtrarse o evaporarse. La huella hídrica por kilocaloría de energía bruta, gramo de grasa y proteína estuvo dentro de los valores indicados por Mekonnen y Hoekstra (2010) para la leche: 1,82; 31 y 33, respectivamente, registrándose los volúmenes mayores en las tipologías más extensivas. Estos resultados sugieren, nuevamente, que un cierto grado de intensificación puede ser una herramienta eficaz para reducir la presión sobre los recursos hídricos.

Huella energética

La huella energética total (HE_t) por kilogramo de leche entre grupos fue 4,03 MJ, de los que el 40,6 % es directa (HE_d , gasóleo y electricidad) y el 59,4 % indirecta (HE_i , fertilizante, semillas, medicamentos, fitosanitarios, alimentos, plásticos e inseminaciones). Estos valores son comparables a los 4,1 MJ observados por Shine *et al.* (2020) en granjas convencionales de Bélgica, Irlanda, Italia y EE. UU.; inferiores al rango de 4,4-5,5 MJ en explotaciones ecológicas de Holanda (Bos *et al.*, 2014) y superiores a los 2,5 MJ en Irlanda (Upton *et al.*, 2013). Estos últimos autores observaron que los sistemas convencionales confinados presentaban una HE_t superior a los sistemas convencionales en pastoreo (4,7 vs 2,8 MJ/kg de leche). En el presente estudio, las explotaciones del Grupo III mostraron las mayores HE_t y HE_d , atribuibles a una menor producción de leche, confirmado nuevamente que un cierto grado de intensificación en estas tipologías puede ser necesario. El 85,4 % de la HE_t procede del consumo de gasóleo, electricidad y compra de alimentos, un porcentaje superior al 71 % indicado por Shine *et al.* (2020) en sistemas de leche convencionales. Los mayores insumos de gasoil, electricidad y compra de alimentos en los Grupos I y II, no reflejaron un menor porcentaje en la HE_t , imputable a la superior producción de leche que diluye la huella.

Surplus de N y P

Los surplus de N y P por kilogramo de leche fueron ligeramente superiores a los 11,5 y 0,67 g kg⁻¹, respectivamente, señalados por Oenema y Oenema (2021) para el conjunto de tipologías. El menor surplus de N se observó en los Grupos II y IV, mientras que el

surplus de P, se observó en el Grupo III. Factores como un menor consumo de forraje en las dietas de las vacas lecheras (55,8 %) respecto al indicado por Oenema y Oenema (2021) (70,5 %), contribuyen a una menor ingestión de P dado que los piensos tienen un contenido de fósforo inferior al de los piensos (FEDNA, 2010). Ambos surplus fueron similares a los 14,7 g kg⁻¹ de N y 0,9 g kg⁻¹ de P en sistemas de pastoreo en Irlanda (Horan *et al.*, 2019), y el de N es inferior a los 35,2 g kg⁻¹ estimados por Humphreys *et al.* (2012).

Conclusiones

El enfoque de sistemas de producción en vacuno lechero tiene en el análisis multivariante una herramienta poderosa para clasificar la diversidad de las explotaciones lecheras, permitiendo agrupar grandes conjuntos de datos, identificar y explicar los grupos resultantes. Pese a que la variabilidad entre comunidades autónomas y las particularidades del modelo de simulación elegido podrían haber limitado la asignación óptima de algunas explotaciones, el tamaño muestral de 237 explotaciones se considera adecuado para este tipo de análisis. El estudio ha permitido distinguir dos grandes tipologías de sistemas de producción: "intensivas" y "extensivas", cada una subdividida según su base territorial. Los impactos ambientales por kilogramo de leche son, en promedio, un 60 % inferiores en las tipologías intensivas, si bien los impactos por hectárea y por UGM son hasta un 100 % superiores en estas tipologías. Los resultados aquí obtenidos ponen de manifiesto que un cierto grado de intensificación en las tipologías extensivas puede ser interesante desde las perspectivas productivas y ambientales.

Declaración de contribución de auditoría

- Gregorio Salcedo Díaz: conceptualización, investigación, curación de datos, análisis formal, supervisión y redacción-borrador original.
- Daniel Salcedo-Rodríguez: curación de datos, análisis formal, redacción-revisión.

Agradecimientos

Los autores agradecen la financiación obtenida del INIA, Ministerio de Economía, Industria y Competitividad y del Gobierno de Cantabria (INIA-RTA: N° 2015-00058-C06 y 02) y N° 12-00065; Proyecto FPI2015-0016; 05-640.02-2174; 05-640.02-2174 y 2015CPD10001 y al Grupo Pascual. Un agradecimiento especial a las explotaciones participantes de los diferentes proyectos.

Referencias bibliográficas

- AHDB Dairy (2016). 2016 Dairy Statistics: An insiders guide. Stoneleigh. Disponible en: <https://dairy.ahdb.org.uk/news/news-articles/September-2016/2016-dairy-statistics-an-insiders-guide/#.WAek03rzPng>. (Consultado: 18 de Mayo 2023).
- Akert F.S., Dorn K., Frey H., Hofstetter P., Berard J., Kreuzer M., Reidy B. (2020). Farm-gate nutrient balances of grassland-based milk production systems with full- or part-time grazing and fresh herbage indoor feeding at variable concentrate levels. *Nutrient Cycling Agroecosystems* 117: 383-400. <https://doi.org/10.1007/s10705-020-10072-y>.
- Amon B., Çinar G., Anderl M., Dragoni F., Kleinberger-Pierer M., Hörtenhuber S. (2021) Inventory reporting of livestock emissions: the impact of the IPCC 1996 and 2006 Guidelines. *Environmental Research Letters* 16: 075001. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac0848>.
- Aneja V.P, Schlesinger W.H., Erisman J.W. (2009). Effects of agriculture upon the air quality and climate: research, policy, and regulations. *Environmental Science Technology* 43(12): 4234-4240. <https://doi.org/10.1021/es8024403>.
- Audsley E., Alber S., Clift R., Cowell S., Crettaz P., Gaillard G., Hausheer J., Joliet O., Kleijn R., Mortensen B., Pearce D., Roger E., Teulon H., Weidema B., van Zeijts H. (1997). Harmonisation of Environmental Life Cycle Assessment for Agriculture. Final Report, Concerted Action AIR3-CT94-2028. European Commission DG VI, Brussels, Belgium.
- Audsley E., Brander M., Chatterton J., Murphy-Borke D., Webster C., Williams A. (2009). How low can we go? An assessment of greenhouse gas emissions from the UK food system and the scope reduction by 2050. Report for the WWF and Food Climate Research Network.
- Bartlett M. (1951). The effect of standardization on a Chi-square approximation in factor analysis. *Biometrika* 38: 337-344. <https://doi.org/10.1093/biomet/38.3-4.337>.
- Battini F., Agostini A., Tabaglio V., Amaducci S. (2016). Environmental impacts of different dairy farming systems in the Po Valley. *Journal Cleaner Production* 112: 91-102. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.062>.
- Bava L., Sandrucci A., Zucali M., Guerci M., Tamburini A. (2014) How can farming intensification affect the environmental impact of milk production?. *Journal Dairy Science* 97: 1-15. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-7530>.
- Biagini D, Lazzaroni C. (2018). Eutrophication risk arising from intensive dairy cattle rearing systems and assessment of the potential effect of mitigation strategies. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 266: 76-83. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.07.026>.
- Bos J., de Haan J., Sukkel W., Schils R. (2014). Energy use and greenhouse gas emissions in organic and conventional farming systems in the Netherlands. *NJAS – Wageningen Journal of Life Sciences* 68: 61-70. <https://doi.org/10.1016/j.njas.2013.12.003>.

- Britz W., Witzke P. (2014). CAPRI Model Documentation. Disponible en: <https://www.capri-model.org> (Consultado: 23-06-2020).
- Clay N., Garnett T., Lorimer J. (2020). Dairy intensification: Drivers, impacts and alternatives. *Ambio* 49: 35-48. <https://doi.org/10.1007/s13280-019-01177-y>.
- Comisión Europea (2020) Farm to Fork Strategy: For a fair, healthy and environmentally-friendly food system. Brussels. Disponible en: https://food.ec.europa.eu/horizontal-topics/farm-fork-strategy_en (Consultado: 13 abril 2022).
- Comisión Europea (2021). Farming practices fiches. Disponible en: <https://wikis.ec.europa.eu/display/IMAP/Farming+practices+fiches> (Consultado: 13 abril 2022).
- 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>.
- Del Prado A., Misselbrook T., Chadwick T., Hopkins A., Dewhurst R.J., Davison P., Butler A., Schröder J., Scholefield D. (2011). SIMS_{DAIRY}: A modelling framework to identify sustainable dairy farms in the UK. Framework description and test for organic systems and N fertiliser optimisation. *Science Total Environment* 409: 3993-4009. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.05.050>.
- Díaz de Otálora X., Dragoni F., Del Prado A., Estellés F., Wilfart A., Krol D., Balaine L., Anestis V., Amon B. (2022). Identification of representative dairy cattle and fodder crop production typologies at regional scale in Europe. *Agronomy for Sustainable Development* 42: 94. <https://doi.org/10.1007/s13593-022-00830-3>.
- Díaz de Otálora X., Amon B., Balaine L., Dragoni F., Estellés F., Ragaglini G., Kieronczyk M., Jørgensen G.H.M., del Prado A. (2023). Influence of farm diversity on nitrogen and greenhouse gas emission sources from key European dairy cattle systems: A step towards emission mitigation and circularity. *Agricultural Systems* 216: 103902. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2024.103902>.
- Eurostat (2016). Small and large farms in the EU - statistics from the farm structure survey - Statistics Explained. Disponible en: http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Small_and_large_farms_in_the_EU_-_statistics_from_the_farm_structure_survey (Consultado: 13 abril 2022).
- Eurostat (2023). Disponible en: griculture.ec.europa.eu/document/download/a6709f39-b059-468e-8182-d9a553029eb9_en?filename=eudairy-historical-production-stocks-series_en.pdf (Consultado: 13 abril 2022).
- FAO, IDF (2011). Guide to good dairy farming practice. Animal Production and Health Guidelines No. 8. Food and Agriculture Organization of the United Nations and International Dairy Federation. Roma, Italia.
- FAO (2018). Dairy and dairy products. En: OECD-FAO agricultural outlook 2018-2027 (Ed. OECD, FAO) pp. 163-174. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italia.
- FEDNA (2010). Tablas de composición y valor nutritivo de alimentos para la fabricación de piensos compuestos, 4ª ed.; de Blas, C., Mateos, G.G., García-Rebollar, P., Eds.; Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal: Madrid, España, p. 604.
- Foresight (2011). The future of food and farming. Final project report. Government Office for Science, London.
- Freidberg S. (2009). Fresh: A perishable history. Harvard University Press. 408 pp.
- FEN (2021). Libro Blanco de los Lácteos. Fundación Española de la Nutrición. Madrid, España. 260 pp.
- Garnett T., Appleby M.C., Balmford A., Bateman I.J., Benton T.G., Bloomer P., Burlingame B., Dawkins M., Dolan L., Fraser D., Herrero M., Hoffmann I., Smith P., Thornton P.K., Toulmin C., Vermeulen S.J., Godfray H.C.J. (2012). Sustainable intensification in agriculture: Premises and policies. *Science* 341(6141): 33-34. <https://doi.org/10.1126/science.1234485>.
- Garnsworthy P.C., Craigon J., Hernandez-Medrano J.H., Saunders N. (2012). On-farm methane measurements during milking correlate with total methane production by individual dairy cows.

- Journal Dairy Science 95: 3166-3180. <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2011-4605>.
- Gelasakis A.I., Valergakis G.E., Fortomaris P., Arsenos G. (2010). Farm conditions and production methods in Chios sheep flocks. *Journal of the Hellenic Veterinary Medical Society* 61: 111-119. <https://doi.org/10.12681/jhvms.14880>.
- Gelasakis A.I., Valergakis G.E., Arsenos G., Banos G. (2012). Description and typology of intensive Chios dairy sheep farms in Greece. *Journal Dairy Science* 95: 3070-3079. <https://doi.org/10.3168/jds.2011-4975>
- Gerber P., Vellinga T., Opio C., Steinfeld H. (2011). Productivity gains and greenhouse gas emissions intensity in dairy systems. *Livestock Science* 139 100: 108. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2011.03.012>.
- Gislon G., Colombini S., Borreani G., Crovetto G.M., Sandrucci A., Galassi G., Tabacco E., Rapetti L. (2019). Milk production, methane emissions, nitrogen, and energy balance of cows fed diets based on different forage systems. *Journal Dairy Science* 103: 8048-8061. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-18134>.
- Gollnow S., Lundie S., Moore A.D., McLaren J., van Buuren N., Sthale P., Christie K., Thylmann D., Rehl T. (2014) Carbon footprint of milk production from dairy cows in Australia. *International Dairy Journal* 37: 31-38. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2014.02.005>.
- González-Mejía A., Styles D., Wilson P., Gibbons J. (2018). Metrics and methods for characterizing dairy farm intensification using farm survey data. *PLoS ONE* 13(5): e0195286. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0195286>.
- Hart K.J., Huntington J.A., Wilkinson R.G., Bartram C.G., Sinclair L.A. (2015). The influence of grass silage-to-maize silage ratio and concentrate composition on methane emissions, performance and milk composition of dairy cows. *Animal* 9: 983-991. <https://doi.org/10.1017/S1751731115000208>.
- Heck J.M., van Valenberg H.J., Dijkstra J., Hooijdonk A.C. (2009). Seasonal variation in the Dutch bovine raw milk composition. *Journal Dairy Science* 92: 4745-4755 <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2146>
- Horan B., O'Brien D., Wall D. (2019). Future systems: growing sustainably. *Moorepark '19 Irish Dairying, Growing Sustainably*, 3 julio de 2019. Teagasc. Animal & Grassland Research and Innovation Centre, Moorepark, Fermoy, Co. Cork, pp. 23-31.
- Hristov A.N., Bannink A., Crompton L.A., Huhtanen P., Kreuzer M., McGee M., Nozière P., Reynolds C.K., Bayat A.R., Yáñez-Ruiz D.R., Dijkstra J., Kebreab E., Schwarm A., Shingfield K.J., Yu Z. (2019). Invited review: nitrogen in ruminant nutrition: a review of measurement techniques *Journal Dairy Science* 102: 5811-5852. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-15829>.
- Humphreys J., Mihailescu E., Casey A. (2012). An economic comparison of systems of dairy production based on N-fertilized grass and grass-white clover grassland in a moist maritime environment. *Grass and Forage Science* 37: 519-525. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.2012.00871.x>
- IDF (2015) A common carbon footprint approach for the dairy sector. The IDF guide to sat nadrd life cycle assessment methodology. *Bulletin* 479/2015. 70 pp.
- IDF (2022) The IDF global Carbon Footprint standard for the dairy sector. *Bulletin* 520/2022. 120 pp.
- INRA (1981). Alimentación de rumiantes. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 697 pp.
- Jarvis S.C., Aarts H.F.M. (2000). Nutrient management from a farming system perspective. Soegaard, K., Ohlsson, C., Hutchings, N. J., Kristensen, T. and Sehested, J. (ed.) *Grassland Farming: Balancing Environmental and Economic Demands*. Proceedings of the 18th General Meeting of the European Grassland Federation, Aalborg, Denmark, 22-25 May 2000 (*Grassland Science in Europe*, Vol 5). pp. 363-373.
- Knowlton K.F., Cobb T.D. (2006). ADSA Foundation Scholar Award: implementing waste solutions for dairy and livestock farms. *Journal of Dairy Science* 89: 1372-1383. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72205-6](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72205-6).
- Köbrich C., Rehman T., Khan M. (2003). Typification of farming systems for constructing representative farm models: Two illustrations of the

- application of multi-variate analyses in Chile and Pakistan. *Agricultural Systems* 76: 141-157. [https://doi.org/10.1016/S0308-521X\(02\)00103-6](https://doi.org/10.1016/S0308-521X(02)00103-6).
- Ledgard F., Wei S., Wang X., Falconer S., Zhang N., Zhang S., Ma L. (2019) Nitrogen and carbon footprints of dairy farm systems in China and New Zealand, as influenced by productivity, feed sources and mitigations. *Agricultural Water Management* 213: 155-163. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.10.009>.
- Leip A., Weiss F., Lesschen J.P., Wethoek H. (2014). The nitrogen footprint of food products in the European Union. *Journal of Agricultural Science* 152: S20-S33. <https://doi.org/10.1017/S0021859613000786>.
- Löw P., Nadi Y., Bernhard B. (2020). Nitrogen use efficiency on dairy farms with different grazing systems in northwestern Germany. *Environmental Research Communication* 2: 119601. <https://doi.org/10.1088/2515-7620/abccbc>.
- March M.D., Hargreaves P.R., Sykes A.J., Rees R.M. (2021). Effect of nutritional variation and LCA methodology on the carbon footprint of milk production from Holstein Friesian dairy cows. *Frontiers Sustainable Food Systems* 5: 588158. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.588158>.
- Mazzetto A., Falconer S., Ledgard S. (2022). Mapping the carbon footprint of milk production from cattle: A systematic review. *Journal Dairy Science* 105: 9713-9725. <https://doi.org/10.3168/jds.2022-22117>.
- McGregor A., Houston D. (2017). Cattle in the Anthropocene: Four propositions. *Transactions of the Institute of British Geographers* 43: 3-16. <https://doi.org/10.1111/tran.12193>.
- Mekonnen M., Hoekstra Y. (2010). The green, blue and grey water footprint of farm animals and animal products, Volume 1: Main report. Value of Water Research Report Series No. 48. UNESCO-IHE Institute for Water Education, Delft, The Netherlands. 50 pp.
- Mekonnen M., Hoekstra A. (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>.
- Mihailescu E., Ryan W., Murphy P.N.C., Casey I.A., Humphreys J. (2015). Economic impacts of nitrogen and phosphorus use efficiency on nineteen intensive grass-based dairy farms in the South of Ireland. *Agricultural Systems* 132: 121-132. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agry.2014.09.008>.
- MAPA (2021). Anuario de estadística agraria. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. 1312 pág.
- MAPA (2023a). Estructura del sector vacuno lechero en España y en la Unión Europea: 2017-2022. Subdirección General de Producciones Ganaderas y Cinegéticas, Dirección General de Producciones y Mercados Agrarios. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. 61 pp.
- MAPA (2023b). El sector vacuno de leche en España. Subdirección General de Producciones Ganaderas y Cinegéticas, Dirección General de Producciones y Mercados Agrarios. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. 16 pp.
- Murphy E., de Boer I.J.M., Van Middelaar C.E., Holden N.M., Shalloo L., Curran T.P., Upton J. (2017). Water footprinting of dairy farming in Ireland. *Journal of Cleaner Production* Volume 140(2): 547-555. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.07.199>.
- NRC (2001). Nutrient Requirements for Dairy Cattle, 7th rev. National Academy of Sciences. Washington, D.C., EE.UU. 408 pp.
- O'Brien D., Geoghegan A., McNamara K., Shalloo L. (2016). How can grass-based dairy farmers reduce the carbon footprint of milk?. *Animal Production Science* 56: 495-500. <https://doi.org/10.1071/AN15490>.
- Oenema O., Pietrzak S. (2002). Nutrient management in food production: achieving agronomic and environmental targets. *Ambio*, 31: 159-168. <https://doi.org/10.1579/0044-7447-31.2.159>.
- Oenema J., Oenema O. (2021). Intensification of grassland-based dairy production and its impacts on land, nitrogen and phosphorus use efficiencies. *Frontiers of Agricultural Science and Engineering* 8(1): 130-147. <https://doi.org/10.15302/J-FASE-2020376>.
- Pedersen J., Nyord T., Feilberg A., Labouriau R. (2021). Analysis of the effect of air temperature

- on ammonia emission from band application of slurry. *Environmental Pollution* 282: 117055. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117055>.
- Penati C., Tamburini A., Bava L., Zucali M., Sandrucci A. (2013). Environmental impact of cow milk production in the central Italian Alps using Life Cycle Assessment. *Italian Journal of Animal Science* 12: e96 584-592. <https://doi.org/10.4081/ijas.2013.e96>.
- Pereira J., Trindade H. (2015). Short communication: Impact of the intensity of milk production on ammonia and greenhouse gas emissions in Portuguese cattle farms. *Spanish Journal of Agricultural Research* 13(4): e06SC05. <http://dx.doi.org/10.5424/sjar/2015134-8176>.
- Peterson C.B., Mitloehner F.M. (2021). Sustainability of the dairy industry: emissions and mitigation opportunities. *Frontiers Animal Science* 2: 760310. <https://doi.org/10.3389/fanim.2021.760310>.
- Pretty J., Bharucha, Z.P. (2018). Sustainable intensification of agriculture. *Greening the World's Food Economy* (1st ed.). Routledge. 196 pp. <https://doi.org/10.4324/9781138638044>.
- Quemada M., Lassaletta L., Jensen L.S., Godinot O., Brentrup F., Buckley C., Foray S., Hvid S.K., Oenema J., Richards K.G., Haniotis T., Oenema O. (2019). Differences in farm nitrogen indicators at farm level in European case studies. *International Fertiliser Society Conference*, 12-13 diciembre, in Cambridge, UK. p. 28.
- Salcedo G. (2017). Valor fertilizante de reemplazo del nitrógeno del purín en un cultivo forrajero invernol según su forma de aplicación: en abanico o inyectado. *Pastos* 47(2): 16-26.
- Salcedo G. (2020). Emisiones en la producción de forrajes de las explotaciones lecheras. *ITEA-Información Técnica 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-Información Técnica Económica Agraria* 118(3): 396-426. <https://doi.org/10.12706/itea.2021.032>.
- Salcedo G., Varsaki A., Salcedo-Rodríguez D. (2022). Huella hídrica de las explotaciones lecheras según tipología de alimentación. *ITEA-Información Técnica Económica Agraria* 118(4): 547-564. <https://doi.org/10.12706/itea.2021.040>.
- Selbie D., Buckthought L., Shepherd M. (2015). The Challenge of the Urine Patch for Managing Nitrogen in Grazed Pasture Systems. *Advances in Agronomy* 129: 229-280. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2014.09.004>.
- Shine P., Upton, J., Sefeedpari P., Murphy M. (2020). Energy consumption on dairy farms: a review of monitoring, prediction modelling, and analyses. *Energies* 13: 1288. <https://doi.org/10.3390/en13051288>.
- Siman F.C., Andrade F.V., Passos R.R. (2020). Nitrogen fertilizers and NH₃ volatilization: effect of temperature and soil moisture. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 51(10): 1283-1292. <https://doi.org/10.1080/00103624.2020.1763384>.
- Sneessens I., Sauvée L., Randrianasolo-Rakotobe H., Ingrand S. (2019). A framework to assess the economic vulnerability of farming systems: application to mixed crop-livestock systems. *Agricultural Systems* 176: 102658. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.102658>.
- SPSS (2006). *Statistical Package for the Social Sciences. Guía breve de SPSS 15.0*, SPSS Inc., Chicago.
- Styles D., González-Mejía A., Moorby J., Foskolos A., Gibbons J. (2017). Climate mitigation by dairy intensification depends on intensive use of spared grassland. *Global Change Biology* 24: 681-693. <https://doi.org/10.1111/gcb.13868>.
- 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>.
- Sutton M.A., Billen G., Bleeker A., Erismann J.W., Grennfelt P., van Grinsven H., Grizzetti B., Howard C.M., Leip A., (2011). *The European Nitrogen Assessment: Sources, Effects and Policy Perspectives*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511976988.003>.
- Tan M., Hou Y., Zhang L., Shi S., Long W., Ma Y., Zhang T., Oenema O. (2022). Nutrient use efficiency of intensive dairy farms in China – Current situation and analyses of options for improvement. *Agricultural Systems* 203: 103495. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2022.103495>.

- Thoma G., Popp J., Shonnard D., Nutter D., Matlock M., Ulrich R., Kellogg W., Kim D.S., Neiderman Z., Kemper N., Adom F., East C. (2013) Regional analysis of greenhouse gas emissions from USA dairy farms: a cradle to farm-gate assessment of the American dairy industry circa 2008. *International Dairy Journal* 31(Suppl. 1): S29-S40. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2012.09.010>.
- Upton J., Humphreys J., Groot P., French P., Dillon P., De Boer I. (2013). Energy demand on dairy farms in Ireland. *Journal Dairy Science* 96: 6489-6498. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-6874>.
- Uriel E., Aldás J. (2005). Análisis multivariante aplicado. Paraninfo S.A., Madrid.
- Wattiaux M.A., Uddin M.E., Letelier P., Jackson R.D., Larson R.A. (2019). Invited Review: Emission and mitigation of greenhouse gases from dairy farms: The cow, the manure, and the field. *Applied Animal Science* 35: 238-254. <https://doi.org/10.15232/aas.2018-01803>.
- Weidema B.P., Mortensen B., Nielsen P., Hauschild M. (1996). Elements of an Impact Assessment of Wheat Production. Institute for Product Development. Technical University of Denmark. 12 pp.
- Westhoek H., Lesschen J.P., Rood T., Wagner S., De Marco A., Murphy-Bokern D., Leip A., van Grinsven H., Sutton M.A., Oenema O. (2014). Food choices, health and environment: effects of cutting Europe's meat and dairy intake. *Global Environmental Change* 26: 196-205. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.02.004>.
- Wivstad M., Salomon E., Spångberg J. (2023). Survey of farm gate N and P balances on arable and dairy organic and conventional farms in Sweden—basis for improved management. *Organic Agriculture* 13(3): 411-430. <https://doi.org/10.1007/s13165-023-00436-3>
- Zavattaro L., Bechini L., Grignani C., van Evert F.K., Mallast J., Spiegel H., Sanden T., Pecio A., Cervera J.V.G., Guzman G., Vanderlinden K., D'Hose T., Ruyschaert G., ten Berge H.F.M. (2017). Agronomic effects of bovine manure: a review of long-term European field experiments. *European Journal Agronomy* 90: 127-138. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2017.07.010>.

(Aceptado para publicación el 15 de septiembre de 2025)

PREMIOS DE PRENSA AGRARIA 2025 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 2025 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 2025. 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

Puede encontrar toda la información sobre como hacer los envíos,
las directrices de como hacer los manuscritos y las licencias
bajo las que se publican los artículos en nuestra web, en la URL
<https://www.aida-itea.org/index.php/revista-itea/envio-de-articulos>

Volumen 121

Número 3

Septiembre 2025

itea

información técnica económica agraria

www.aida-itea.org

REVISTA DE LA ASOCIACIÓN INTERPROFESIONAL PARA EL DESARROLLO AGRARIO

