

itea

información técnica económica agraria

REVISTA DE LA ASOCIACIÓN INTERPROFESIONAL PARA EL DESARROLLO AGRARIO



Volumen 119

Número 3

Septiembre 2023



aida-itea.org

2023- AÑO LIV
Vol. 119 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 Lleida. 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 Jorge Álvaro, EEAD Zaragoza. España Arancha Arbeloa, EEAD Zaragoza. España Carlos Calvete, CITA de Aragón. España Fernando Escriu, CITA de Aragón. España Vicente González, CITA de Aragón. España Cristina Mallor, CITA de Aragón. España Javier Rodrigo, CITA de Aragón. España
COMITÉ ASESOR:	Ricardo Aké, Universidad Autónoma de Yucatán, México • Joaquim Balcells, Universidad de Lleida, España • Carlos Cantero, Universidad de Lleida, España M ^a Elena Daorden, INTA, Argentina • M ^a José Díez, Universidad Politécnica de Valencia, España • Miguel Gómez, Cornell University EEUU • Margarita López, Centro de Investigación Agraria "Finca La Orden-Valdesequera", España • Ana Meikle, Universidad de la República, Uruguay • Camilla Moonen, Scuola Superiore Sant'Anna di Pisa, Italia • M ^a Teresa Muiño, Universidad de Zaragoza, España • César Revoredo-Giha, SAC, Reino Unido • Ricardo Revilla, España • José Antonio Rubio, ITACYL, España Pierre Sans, École Nationale Vétérinaire de Toulouse, Francia • Guillermo Studdert, Universidad del Mar del Plata, Argentina • Alfredo Teixeira, Escola Superior Agrária de Bragança, Portugal • Luis Varona, Universidad de Zaragoza, España

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

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



Foto y Texto: Cristina Mallor

Las judías son plantas leguminosas que pertenecen a la familia de las Fabáceas, caracterizadas por formar como fruto una vaina en cuyo interior se desarrollan las semillas. La vaina está compuesta por dos valvas unidas por una sutura ventral y otra dorsal, también denominada placentar porque en ella se insertan las semillas. Las vainas difieren en la sección transversal, la curvatura, el pico, el tamaño, el color o la presencia de pergamino, que es el tejido intercalado en la zona media de las dos valvas. Cuando se consumen los frutos y semillas inmaduros fisiológicamente se considera una verdura y se engloban bajo el término de judías verdes. Cuando se recolectan las vainas secas y se extraen los granos para su consumo, se considera una legumbre. Otra opción es la recolección de vainas inmaduras, pero próximas a la madurez, que se desgranar y cuecen para su consumo, conocidas como bachocas o pochas.

Sumario

Producción Vegetal

- Mecanismos de resistencia de poblaciones de maíz originarias de México al ataque del picudo *Sitophilus zeamais*.
Resistance of mechanisms of maize populations native to México against the weevil Sitophilus zeamais.
 Henry López-López, Joel de Santiago-Meza, Eduardo Hernandez-Alonso, Juan Carlos Delgado-Ortiz, Epifanio Castro-del Ángel y Agustín Hernández-Juárez 196
- Cultivo de berenjena (*Solanum melongena* L.) en hidroponía bajo invernadero y malla sombra con estrés salino.
Eggplant (Solanum melongena L.) culture in hydroponics under greenhouse and shade net with saline stress.
 Ana Yesenia Lara-Izaguirre, Ángel Natanael Rojas-Velázquez, Jorge Alonso Alcalá-Jáuregui, Irán Alía-Tejacal y Gisela Aguilar-Benítez 211

Producción Animal

- Correlaciones genéticas entre caracteres morfológicos y caracteres reproductivos, de crecimiento y calidad de la canal en la raza bovina Pirenaica.
Genetic correlations between morphological and reproductive, growth and carcass quality traits in the Pirenaica beef cattle breed.
 David López-Carbonell, Juan Altarriba, Marco Aurelio Ramírez, Houssemeddine Srih y Luis Varona 225
- Oportunidades productivas y medioambientales del pastoreo primaveral de triticale con ovejas Manchegas en Castilla La Mancha.
Productive and environmental opportunities of spring grazing of triticale with Manchega sheep in Castilla La Mancha.
 Gregorio Salcedo, Oscar García, Roberto Gallego, Daniel Salcedo y Rafael González 244
- Determinación del patrón de crecimiento en cerdo ibérico (50 % Duroc) criado en régimen extensivo desde los 70 a los 365 días de edad.
Determination of the growth pattern in Iberian pigs (50% Duroc) reared outdoor from 70 to 365 days of age.
 Guillermo Usero-Alonso, Jose A. López-Moya, Francisco Gil-Rueda, Beatriz Isabel Redondo, Guillermo Ramis-Vidal y Antonio Muñoz-Luna 270

Economía Agraria

- Percepción social de la calidad estética del paisaje agrícola mediterráneo: los frutales en floración de la Región de Murcia.
Social perception of the aesthetic quality of the Mediterranean agricultural landscape: the fruit trees in bloom in the Region of Murcia.
 José Antonio Albaladejo-García, José Ángel Zabala, María Isabel Rodríguez-Valero, Francisco Alcon y José Miguel Martínez-Paz 288

Mecanismos de resistencia de poblaciones de maíz originarias de México al ataque del picudo *Sitophilus zeamais*

Henry López-López^{1,2}, Joel de Santiago-Meza^{1,2}, Eduardo Hernandez-Alonso³, Juan Carlos Delgado-Ortiz^{2,4}, Epifanio Castro-del Ángel² y Agustín Hernández-Juárez^{2,*}

- ¹ Estudiante de posgrado. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Calzada Antonio Narro 1923. 25315, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México
- ² Departamento de Parasitología, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Calzada Antonio Narro 1923. 25315, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México
- ³ Instituto Mexicano del Maíz, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Calzada Antonio Narro 1923. 25315, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México
- ⁴ Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. Av. Insurgentes Sur 1582, Col. Crédito Constructor, Alcaldía Benito Juárez. 03940, Ciudad de México, México

Resumen

Sitophilus zeamais (Motschulsky) (Coleoptera: Curculionidae) es una plaga responsable de enormes pérdidas de granos de maíz en postcosecha, estimadas en un 60 % durante los primeros seis meses de almacenamiento. El objetivo de la presente investigación fue evaluar la resistencia de cinco poblaciones de maíz nativo de México, frente al daño causado por *S. zeamais*. Se apreció que las poblaciones de los colores 'VAN-Azul' y 'VAN-Variegado' son duras, en comparación con el híbrido blanco 'AN-456' y 'VAN-Roja' que fueron medianamente duras. En la libre elección (antixenosis), 'VAN-Azul' y 'VAN-Morada' ejercen repelencia sobre adultos de *S. zeamais*. La población 'VAN-Azul' perdió menos peso ante el ataque de *S. zeamais*; sin embargo, 'VAN-Roja' y el híbrido blanco 'AN-456' fueron muy susceptibles. El efecto de antibiosis se manifestó a los 45 días posteriores a la infestación (dpi) en el híbrido blanco y 'VAN-Azul', con la tasa de daño más baja (38 %). La mortalidad de adultos fue del 100 % en 'VAN-Morada' a los 60 dpi. Se encontró correlación positiva entre los parámetros de antixenosis y pérdida de peso. Las poblaciones 'VAN-Morado' y 'VAN-Azul' presentaron las mejores características de resistencia ante el daño de *S. zeamais*, lo cual sugiere que son potencialmente útiles como opción de mejoramiento para el desarrollo de variedades mejoradas con características de resistencia ante el ataque *S. zeamais*.

Palabras clave: Antibiosis, antixenosis, mortalidad, razas de maíz, tolerancia.

* Autor para correspondencia: chinoahj14@hotmail.com

Resistance of mechanisms of maize populations native to México against the weevil *Sitophilus zeamais*

Abstract

Sitophilus zeamais (Motschulsky) (Coleoptera: Curculionidae) is a pest responsible for enormous post-harvest grain losses of maize, estimated at 60 % during the first six months of storage. This study evaluated the resistance of five native maize populations in Mexico to damage caused by *S. zeamais*. It was appreciated that the populations of the color 'VAN-Blue' and 'VAN-Variegado' were hard, while the white hybrid 'AN-456' and 'VAN-Red' were moderately hard. In free choice (antixenosis), 'VAN-Blue' and 'VAN-Purple' exerted repellency on adults of *S. zeamais*. The 'VAN-Blue' population lost less weight to the attack of *S. zeamais*; however, 'VAN-Red' and the white hybrid 'AN-456' were highly susceptible. The antibiosis effect was manifested after 45 days post-infestation (dpi) in the white hybrid and 'VAN-Blue' with the lowest damage rate (38 %). Adult mortality ranged from 100 % in 'VAN-Purple' at 60 dpi. A positive correlation existed between antixenosis parameters and weight loss. The 'VAN-Purple' and 'VAN-Blue' populations showed the best resistance characteristics against *S. zeamais* damage, suggesting that they are potentially useful as a breeding option for developing improved varieties with resistance characteristics against *S. zeamais* attack.

Keywords: Antibiosis, antixenosis, maize breeds, mortality, tolerance.

Introducción

Desde la antigüedad en Mesoamérica se ha cultivado el maíz *Zea mays* L. (Poaceae) (Mejía et al., 2022). La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), señaló que en 2019/2020 México fue el quinto mayor consumidor de maíz a nivel mundial con 44,5 millones de toneladas (Žilić et al., 2022), ocupando el séptimo lugar en cuanto a producción con 27.424.527,55 toneladas en 2020 (SIAP, 2022). El maíz exhibe una gran biodiversidad, ocupando el tercer lugar en importancia después del trigo *Triticum aestivum* L. y el arroz *Oryza sativa* L. (Poaceae), y se emplea como alimento, forraje y materia prima para la industria (Rathna Priya y Manickavasagan, 2021). Su producción se mantiene todo el año, lo que genera condiciones favorables para el desarrollo de plagas y enfermedades, cuya prevalencia es un riesgo potencial para el manejo del cultivo (Hernández-Cruz et al., 2019).

El picudo del maíz *Sitophilus zeamais* (Motschulsky) es un insecto del orden Coleoptera: Curculionidae, y se considera una de las principales plagas pre y postcosecha, cuyo daño

se detecta principalmente durante el almacenamiento (García-Lara y Bergvinson 2013; Mamoon-Ur-rashid et al., 2021) como un colonizador primario del grano de maíz (Trematerra et al., 2014), donde produce hasta un 60 % de pérdidas de peso y calidad dentro de los 3 a 6 primeros meses de almacenamiento en los países en desarrollo (Ileke et al., 2020). Su distribución es mundial, afecta principalmente a regiones tropicales, subtropicales húmedas y templadas (Hong et al., 2018). Los adultos perforan el grano para ovipositar, mientras que las larvas forman surcos en el endospermo al alimentarse, su ciclo de vida es de 30 a 113 días, y su presencia favorece el ataque de otros organismos (García-Lara et al., 2019).

Para disminuir el ataque de estos insectos, reducir las pérdidas postcosecha y mantener la calidad del grano se han generado diversas alternativas, destacando la búsqueda de resistencia genética de materiales vegetales (García-Lara y Bergvinson, 2013). La resistencia de las variedades de maíz al gorgojo *S. zeamais* se relaciona con el pericarpio o la no preferencia y con el endospermo o antibiosis. El principal componente del grano de maíz

que contribuye a su dureza es el endospermo (Figuroa-Cárdenas *et al.*, 2013). La dureza y la textura cristalina del grano es una propiedad fisiológica que ayuda a que exista un menor daño ocasionado por las plagas de almacén (Velásquez-Salazar y Diamont, 2014).

De las 220 poblaciones nativas de maíz identificadas en América Latina, 64 se han registrado en México; con características particulares en el tipo de endospermo y dureza del grano, contribuyendo a la calidad del grano en comparación con los híbridos comerciales (Palacios-Pola *et al.*, 2021; Velásquez-Salazar *et al.*, 2021). La existencia de pigmentos en el maíz se debe a los metabolitos secundarios que contienen, como flavonoides, carotenoides y fenoles; que se concentran en la capa de aleurona de los granos y el pericarpio grueso (Colombo *et al.*, 2021). Los maíces de colores originarios de México (amarillo, rojo, rosa, naranja, azul y morado) muestran propiedades antioxidantes, antiinflamatorias, anticancerígenas y nutricionales; el maíz azul o morado particularmente son buenas fuentes de compuestos como los polifenoles y antocianinas (Velásquez-Salazar *et al.*, 2021; Kim *et al.*, 2022). El objetivo de la pre-

sente investigación fue evaluar los mecanismos de resistencia del grano de poblaciones de maíz de colores contra el daño causado por el picudo del maíz *S. zeamais* bajo condiciones de laboratorio.

Material y métodos

Material vegetal

Los granos de cuatro poblaciones ('VAN-Morado', 'VAN-Azul', 'VAN-Rojo' y 'VAN-Variegado') y un híbrido ('AN-456 Blanco') de maíz con diferentes pigmentaciones provienen de accesiones proporcionadas por el Dr. Humberto De León Castillo (Hernández-Alonso y De León-Castillo, 2021) del programa de mejoramiento del Instituto Mexicano del Maíz de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. La pigmentación fue rojo, variegado, morado y azul, cuyas poblaciones se encuentran en proceso de mejoramiento a través de selección recurrente, y un híbrido blanco denominado 'AN-456' que se encuentra en proceso de comercialización (Tabla 1). El estudio se llevó a cabo en el área de cáma-

Tabla 1. Descripción de las poblaciones e híbrido de maíces de color utilizados en el estudio.
Table 1. Description of the populations and hybrids of colored maize used in this study.

Poblaciones	Descripción
VAN-Morado y VAN-Azul	Presentan un tipo de grano que va desde semicristalino a semidentado, se caracteriza por su alto contenido en antocianinas, las cuales brindan el color intenso al grano.
VAN-Rojo	Se caracteriza por un color rojo intenso en la aleurona del grano, muestra un tipo de grano que va desde semidentado ha dentado, además presenta un alto contenido de azúcares.
VAN-Variegado	Se determina por ser un grano de color rojo que muestra franjas de color blanco y amarillo en posición longitudinal, generadas por una alta frecuencia de transposones, presentando variantes en tipo de grano semicristalinas a semidentadas.
AN-456 Blanco	Muestra un tipo de grano semicristalino ha semidentado.

ras bioclimáticas y laboratorios del Departamento de Parasitología de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN) en Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, a una temperatura de 25 ± 2 °C, fotoperíodo de 14/10 h L:O (luz: oscuridad) y humedad relativa (HR) 65 ± 5 %.

Colonia de insectos

Adultos del picudo del maíz *S. zeamais* se colectaron de mazorcas de un híbrido comercial de maíz amarillo, maíz que fue tamizado para separar granos, polvo e insectos. Posteriormente, los adultos obtenidos se colocaron en un recipiente de vidrio protegido con tela de tipo organza de 40 mm para permitir la ventilación, alimentados con semilla de maíz, a 25 ± 2 °C, 65 ± 5 % HR y bajo condición de 14/10 h L:O, hasta el inicio del ensayo (Tefera et al., 2011). La corroboración de la especie se

llevó a cabo con las características mencionadas por Hong et al. (2018); usando claves pictóricas de las longitudes del funículo antenal I y II, la elevación lateral del escutelo, el lóbulo medio del edeago genital masculino, el lóbulo lateral del esclerito en forma 'Y' de los genitales externos femeninos, así como la varilla epifaríngea y los órganos sensoriales apicales en el palpo labial en las larvas.

Dureza de granos de maíz

Se tomaron 100 granos de maíz y se registró el peso de cada población y del híbrido blanco de maíz en una balanza analítica 125-1s (Sartorius). Posteriormente, se determinó la dureza del grano mediante la norma mexicana NMX-FF-034/1-SCFI-2002 con un índice de flotación con nitrato de sodio; de acuerdo con el número de granos flotantes y con base en la clasificación de la Tabla 2.

Tabla 2. Escala de dureza de granos de maíz mediante el índice de flotación de acuerdo con la norma mexicana NMX-FF-034/1-SCFI-2002.

Table 2. Corn kernel hardness scale using the flotation index according to Mexican standard NMX-FF-034/1-SCFI-2002.

Granos flotantes	Dureza	Genotipos
0-12	Muy duro	VAN-Morado
13-37	Duro	VAN-Azul y VAN-Variegado
38-62	Intermedio	VAN-Rojo y AN-456 Blanco
63-87	Suave	
88-100	Muy suave	

Determinación de humedad en las poblaciones de maíz

De acuerdo con la metodología descrita por la norma mexicana NMX-FF-034/1-SCFI-2002,

se calculó la humedad por medio de una diferencia de peso y se expresó en porcentaje:

$$\text{Humedad \%} = \frac{\text{peso original de la semilla} - \text{peso seco de semilla en estufa}}{\text{peso original de la semilla}} \times 100$$

La humedad de todas las poblaciones y del híbrido blanco de maíz se ajustó a 12 % mediante secado en estufa DX 602C (Yamato) a 105 °C durante 24 h.

Prueba de libre elección (antixenosis)

Bajo condiciones controladas de laboratorio a 25 ± 2 °C y una humedad relativa de 65 ± 5 %, esta prueba se basó en lo descrito por Trematerra et al. (2014) con modificaciones. Se llevó a cabo en una caja cilíndrica de plexiglás de 40 cm de alto por 80 cm de diámetro, y recubierta en la parte superior con tela de tipo organza de 40 mm para permitir la ventilación. Se adaptaron cinco cajas a un diseño o arreglo en forma de 'X'. La caja central está conectada con las demás cajas mediante tubos de plástico colocados en diagonal y uno frente al otro. En las cajas de los extremos se colocaron 10 g de las diferentes poblaciones de maíz y en la caja central (sin maíz) se liberaron 20 adultos de *S. zeamais* sin sexar.

La evaluación se realizó a las 24 h, contabilizando el número de insectos atraídos en cada población. Durante el experimento, las poblaciones y el híbrido blanco de maíz se colocaron al azar y se ejecutaron cinco repeticiones. Con los datos se estableció el índice de repelencia mediante la fórmula propuesta por Rodríguez-Ledesma et al. (2017):

$$IR = \frac{2G}{(G+P)}$$

Donde:

IR = índice de repelencia; G = porcentaje de insectos en el tratamiento; P = porcentaje de insectos en el control. Se utilizó como referencia para esta prueba: (IR = 1) neutro; (IR > 1) atrayente y (IR < 1) repelente.

Ensayo de tolerancia de poblaciones de maíz al ataque de *S. zeamais*

Conforme lo establecido por Khakata et al. (2018) con modificaciones, se tomaron 50 semillas de cada población e híbrido blanco de maíz, se colocaron en frascos de 500 mL y posteriormente se colocaron 5 adultos de *S. zeamais* sin sexar de 7 días de edad. Se incluyó un testigo donde no se incorporaron insectos y finalmente los frascos se cubrieron con una malla de tela fina de 40 mm para evitar que los insectos se escapen y asegurar una ventilación adecuada. Se mantuvieron en condiciones de laboratorio a 25 ± 2 °C, 65 ± 5 % HR y fotoperíodo de 14/10 h L:O. Las evaluaciones de pérdida de peso y daño al grano se realizaron a los 15, 30 y 45 días posteriores a la infestación (dpi).

Resistencia (tolerancia) de poblaciones de maíz al ataque de *S. zeamais* a través de la pérdida de peso

Este parámetro se estableció en base al trabajo descrito por Tefera et al. (2011). Se calculó la pérdida de peso en % de los granos por medio del procedimiento de recuento y peso con la siguiente ecuación:

$$\text{Pérdida de peso (\%)} = \frac{(Wd \times Nu) - (Wu \times Nd)}{Wu \times (Nd + Nu)} \times 100$$

Donde:

Wd = peso de semilla dañada por el insecto;
Nu = número de semillas no dañadas.

Wu = peso de la semilla sin daño de insecto;
Nd = número de semillas dañadas por el insecto.

Posteriormente las poblaciones y el híbrido blanco se clasificaron según la categoría de resistencia basada en la pérdida de peso del grano (Tabla 3) (Khakata et al., 2018).

Tabla 3. Nivel de resistencia de los granos de maíz al ataque de *Sitophilus zeamais* basada en la pérdida de peso propuesta por Tefera et al. (2011).

Table 3. Level of corn grain resistance to *Sitophilus zeamais* attack based on weight loss proposed by Tefera et al. (2011).

Escala	Descripción	Reacción de resistencia
1	Pérdida de peso del grano ≤ 2 %, menor que el control.	Resistente
2	Pérdida de peso del grano 2,1-4 %, menor que el control.	Moderadamente resistente
3	Pérdida de peso del grano 4,1-6 %, menor que el control.	Moderadamente susceptible
4	Pérdida de peso del grano 6,1-8 %, menor que el control.	Susceptible
5	Pérdida de peso del grano superior al 8,1 %, menor que el control.	Muy susceptible

Daño en granos (tolerancia) de poblaciones de maíz ante el ataque de S. zeamais

Se determinó el daño que sufrió el grano de maíz con base en lo establecido por Nwosu et al. (2016). Se contabilizó el número de granos dañados a partir de la relación entre el número de granos picados con respecto al número total de granos muestreados a los 15 dpi, 30 dpi y 45 dpi expresando el resultado en porcentaje.

Mortalidad (antibiosis) de adultos de S. zeamais por las poblaciones de maíz

Se evaluó al finalizar el experimento (60 dpi), contando el número de adultos muertos que no respondieron a las punciones con un alfiler y se expresó en porcentaje.

Análisis de datos

Se realizó un diseño completamente al azar, con cinco tratamientos y tres repeticiones para la dureza de grano, antixenosis, tolerancia al ataque y mortalidad de adultos. La normalidad y homogeneidad de las varianzas se probaron mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov. Los datos fueron analizados mediante análisis de varianza y prueba de rango múltiple de Tukey ($p \leq 0,05$) usando el software estadístico Statistical Analysis System versión 9.0 (SAS 2002). Finalmente, se efectuó un análisis de correlación de Pearson para conocer la relación entre las variables.

rov-Smirnov. Los datos fueron analizados mediante análisis de varianza y prueba de rango múltiple de Tukey ($p \leq 0,05$) usando el software estadístico Statistical Analysis System versión 9.0 (SAS 2002). Finalmente, se efectuó un análisis de correlación de Pearson para conocer la relación entre las variables.

Resultados y discusión

Existe gran diversidad de poblaciones de maíces (Figura 1) cuyo color de grano es un factor sustancial, relacionado con diversas concentraciones de betacarotenos y betacriptoxantina (precursores de vitamina A) que impactan en la calidad y el uso final del grano (Rathna Priya y Manickavasagan, 2021). Así mismo, la densidad o la dureza (que influye en la defensa física ante el ataque de plagas y enfermedades, en el secado y molienda) del grano se relacionan con valores de peso (García-Lara et al., 2019).

En la dureza de las diversas poblaciones mejoradas de maíz (Tabla 2) se aprecia que los granos de colores morado, azul y variegado presentan la característica de alta dureza y los granos del híbrido blanco y la población roja

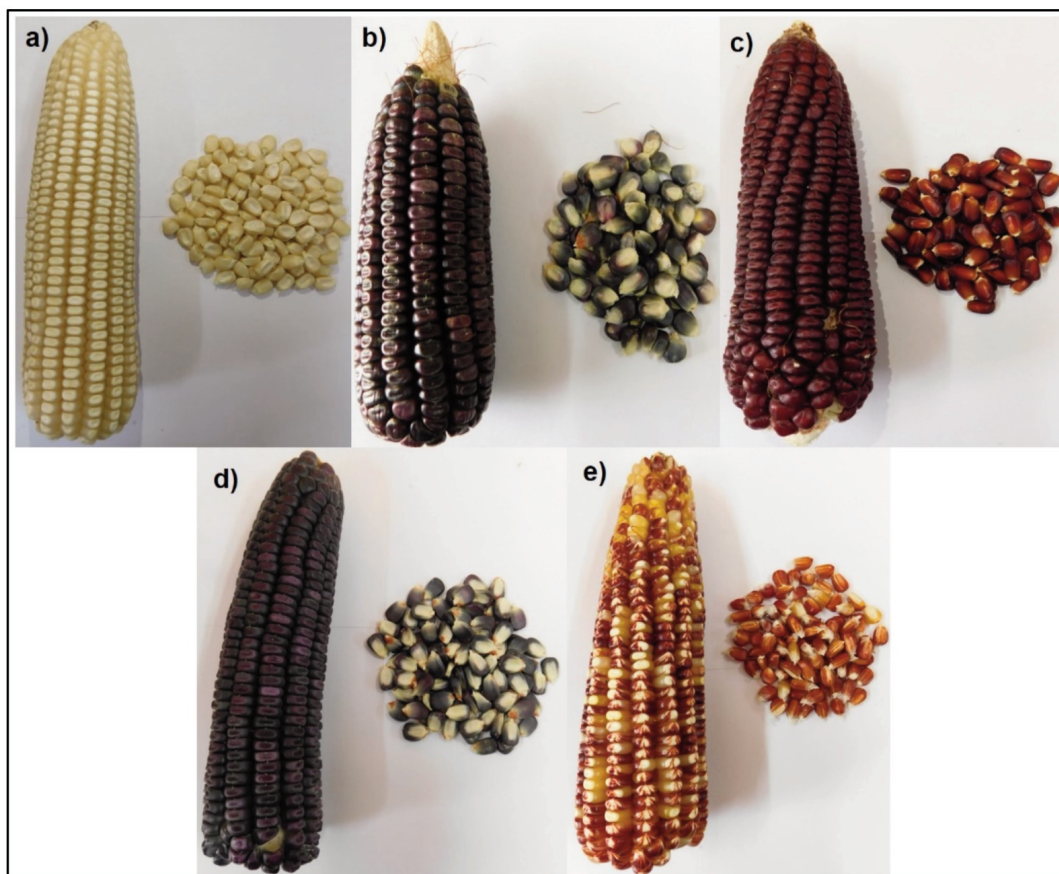


Figura 1. Genotipos de maíz pigmentado utilizado, a) híbrido 'AN-456'; b) 'VAN-Morado'; c) 'VAN-Rojo'; d) 'VAN-Azul' y e) 'VAN-Variegado'.

Figure 1. Genotypes of pigmented maize used, a) hybrid 'AN-456'; b) 'VAN-Purple'; c) 'VAN-Red'; d) 'VAN-Blue'; and e) 'VAN-Variegated'.

una dureza intermedia. Los métodos para determinar la dureza del grano de maíz varían según a la disponibilidad o la simplicidad del equipo requerido para el análisis y si involucra tratamiento químico, físico o de procesamiento de imágenes. La densidad del grano por el método físico describe la relación entre el tipo de endospermo (vitreo o harinoso) y su flotabilidad (Arriaga-Pérez et al., 2019).

El índice de flotabilidad se usa como una medida indirecta para evaluar la dureza de los

granos de maíz (cuanto mayores son los granos flotantes, menor será el rendimiento del grano). Las poblaciones de maíz que muestran un alto índice de flotación son susceptibles a plagas y enfermedades en postcosecha; así como bajo rendimiento de granos cocidos para la nixtamalización (Odjo et al., 2022). La dureza está relacionada con gránulos poligonales grandes y pequeños dentro de la matriz proteica (proteína zeína) compacta, que propician una densidad alta, expresando de

manera negativa la flotación del grano (Gaytán-Martínez et al., 2006).

Para una mejor dureza y un alto valor proteico del grano maduro, es necesario que el grano presente un endospermo con un grado de empaquetamiento organizado en los espacios intergranulares perfectamente llenos de los componentes celulares de proteína, almidón y un elevado contenido de zeína α o γ . De igual manera, una mayor concentración de endospermo córneo genera mayor dureza del grano en las diferentes poblaciones de maíz (Rathna Priya y Manickavasagan, 2021).

Sandhu et al. (2007) encontraron en diferentes razas de maíz de la India, una correlación positiva entre la dureza de los granos ($r = 0,950$; $p < 0,01$) y una elevada concentración de amilosa del almidón. En Morelos (México),

a partir 26 poblaciones nativas pigmentadas, se identificaron dos de color azul ('ECxPep14' y 'PepxE008') con bajos índices de flotación, demostrando estos granos una mayor dureza (Broa Rojas et al., 2019). Dichos resultados son consistentes con la dureza registrada en la población 'VAN-Azul' de nuestro ensayo.

En la prueba de elección (antixenosis) de *S. zeamais* sobre granos de diferentes poblaciones y del híbrido blanco de maíz se observó que los granos 'VAN-Variegados' son neutros (igual a 1) ante la preferencia de *S. zeamais*. Sin embargo, los granos del híbrido 'AN-456 Blanco' y la población 'VAN-Roja' fueron atractivos para el insecto (mayor a 1), y las poblaciones de grano 'VAN-Morado' ocasionaron repelencia del insecto (menor a 1) (Figura 2). Diferentes estudios han descrito que

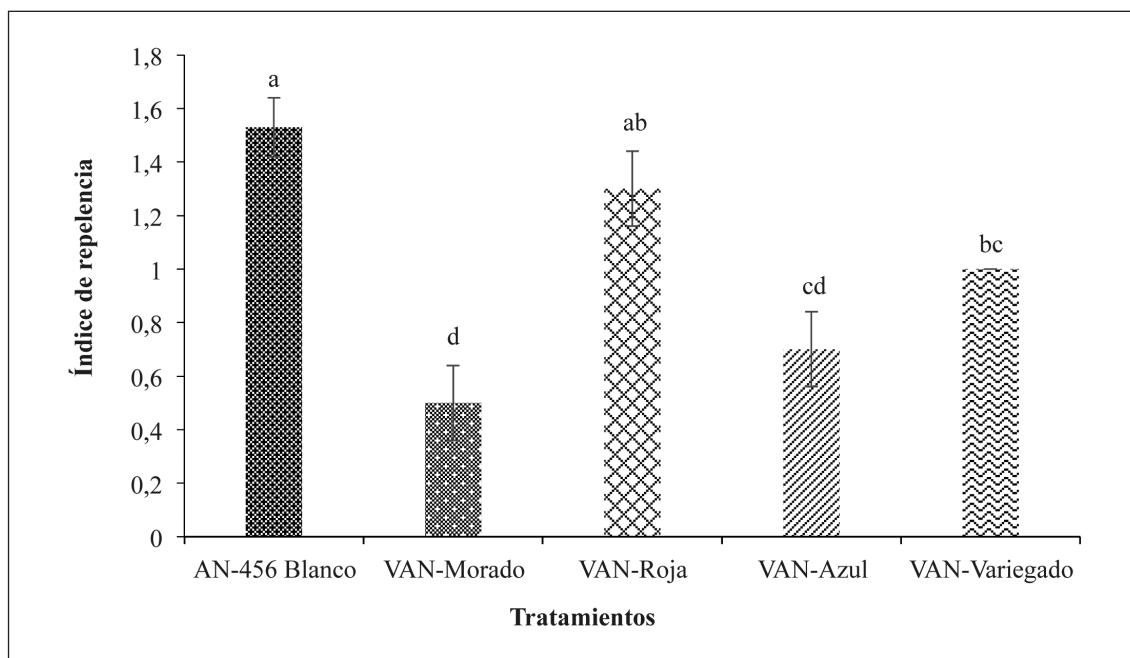


Figura 2. Antixenosis de *Sitophilus zeamais* sobre granos de poblaciones de maíces nativos y el híbrido blanco. Letras iguales no representan diferencia estadística significativa (Tukey $p = 0,05$).

Figure 2. Antixenosis of *Sitophilus zeamais* over grains of native corn populations and the white hybrid. The same letters do not represent a significant statistical difference (Tukey $p = 0.05$).

la cutícula del grano (capa impermeable cerosa) está involucrada en el reconocimiento y repelencia de condiciones abióticas y bióticas. La epicutícula del grano de maíz ha revelado que es la encargada de regular la presencia de alcoholes, esteroides, ácidos grasos, esteroides e hidrocarburos alifáticos que evitan la desecación del grano o el ataque de *S. zeamais* (Usseglio et al., 2018).

En la presente investigación, se pudo observar que los granos de la población de color morado lograron alcanzar hasta 60 % de repelencia, comparada con la población de granos de color rojo (Figura 2). A pesar de que *S. zeamais* es una plaga generalista y con preferencia por el grano de maíz; los compuestos volátiles juegan un papel importante en el ataque al grano junto con la textura, tamaño, edad y dureza externa del grano; que propician más tiempo para ser penetrados y ocasiona que la adaptación del insecto sea más específica con la asignación de más recursos (Stuhl, 2019). La susceptibilidad del

grano también se debe al aumento de almidón y proteínas (Nwosu et al., 2016). Además, Astuti et al. (2019) observaron en diferentes híbridos de maíz la repelencia sobre *S. zeamais* debido al contenido alto de fibra, ácidos fenólicos e inhibición de la tripsina.

En relación con el análisis de la pérdida de peso del grano de maíz se demuestra que la población 'VAN-Azul' fue resistente ante el ataque de *S. zeamais* durante toda la investigación (Tabla 4). Las poblaciones 'VAN-Morado' y 'VAN-Variegado' fueron moderadamente resistentes, mientras que el grano VAN-Variegado fue neutro en la prueba de antixenosis (repelencia o atracción) (Figura 2). Por tanto, estos resultados sugieren que estas poblaciones son potencialmente útiles para resistencia a *S. zeamais*. La población 'VAN-Roja' inicialmente fue moderadamente susceptible, pero incrementó a muy susceptible a los 30 dpi y 45 dpi. Por último, el híbrido blanco 'AN-456' fue muy susceptible durante todo el ensayo. Cabe mencionar que

Tabla 4. Pérdida de peso del grano de maíz ante el ataque de *Sitophilus zeamais* con base en la escala del nivel de resistencia en condiciones controladas de laboratorio a 25 ± 2 °C y una humedad relativa (HR) de 65 ± 5 %.

Table 4. Corn kernel weight loss to *Sitophilus zeamais* attack based on resistance level scale in controlled laboratory conditions at 25 ± 2 °C and relative humidity (RH) of 65 ± 5 %.

Genotipos/Tratamientos	Días posteriores a la infestación		
	15	30	45
AN-456 Blanco	5 ± 0,35 a	5 ± 0,24 a	5 ± 0,20 a
VAN-Morado	1,5 ± 0,70 b	2 ± 1,00 bc	2 ± 0,15 b
VAN-Roja	3,5 ± 2,12 b	4 ± 1,41 ab	5 ± 0,20 a
VAN-Azul	1 ± 0,50 b	1 ± 0,50 c	1 ± 0,50 c
VAN-Variegado	1,5 ± 0,70 b	2 ± 0,50 bc	2 ± 0,20 b
p-valor	0,0494	0,0069	0,0001

Letras iguales en la misma columna no representan diferencia estadística significativa (Tukey $p = 0,05$).

el aumento de proteínas, almidón, sodio, calcio, fósforo, zinc, hierro, magnesio, manganeso y cobalto en el grano de maíz generan mayor susceptibilidad al daño e infestación por gorgojos (Nwosu, 2016). Khakata et al. (2018) demostraron que la línea endogámica 'DUMA 41 (S)' de maíz blanco es muy susceptible ante el ataque de *S. zeamais*, aumentando la pérdida de peso del grano hasta los 120 dpi. Como se ha podido observar en nuestra investigación, el híbrido 'AN-456 Blanco' fue el que mayor pérdida de peso presentó a lo largo del ensayo, posiblemente por lo mencionado previamente, así como por la dureza intermedia y ser un grano semicristalino.

Por otra parte, variedades de maíz palomero de color naranja y amarillo mostraron resistencia ante el ataque de *S. zeamais* a los 90 dpi a 27 °C (Suleiman et al., 2015). Las bases químicas del grano de maíz para los mecanismos de resistencia a *S. zeamais* no solo se basan en la presencia del inhibidor de cisteína proteinasa, es necesaria la presencia de compuestos fenólicos, fibra cruda y el inhibidor de

tripsina y la enzima peroxidasa en el endospermo que no afectan de manera negativa la palatabilidad y nutricional del grano (Nwosu, 2016; López-Castillo et al., 2018).

El daño ocasionado en los granos de las diferentes poblaciones de maíz por *S. zeamais* confirman que el color no es un factor de resistencia para evitar el ataque del insecto, como se observa en la Tabla 5 a los 15 dpi, ya que el porcentaje de grano dañado es bajo y similar en todas las poblaciones. A los 30 dpi los granos dañados por el gorgojo aumentaron en las poblaciones 'VAN-Variegado', 'VAN-Roja' y 'VAN-Morado' con el 52 %, 46 % y 41 %, respectivamente. Al término del estudio (45 dpi) se presentó un alto porcentaje de granos dañados en las poblaciones 'VAN-Roja' y 'VAN-Variegado' (85 % y 83 %, respectivamente). Es importante mencionar que los granos de las poblaciones 'VAN-Morado' y 'VAN-Variegado' a pesar de presentar ataque por el gorgojo, el daño ocasionado en la estructura del grano fue mínimo, no afectó significativamente el peso (Tabla 4) y generó una mortalidad elevada en el insecto (Tabla 6).

Tabla 5. Porcentaje de daño causado por *Sitophilus zeamais* en el grano del híbrido blanco y en las diferentes poblaciones de maíz.

Table 5. Percentage of damage caused by *Sitophilus zeamais* on white hybrid grain and different maize populations.

Genotipos/Tratamientos	Días posteriores a la infestación		
	15	30	45
AN-456 Blanco	11 ± 1,42 b	29 ± 7,07 c	38 ± 16,97 b
VAN-Morado	12 ± 2,82 b	41 ± 1,41 abc	53 ± 4,24 ab
VAN-Roja	22 ± 2,83 a	46 ± 2,83 ab	85 ± 9,89 a
VAN-Azul	9 ± 1,42 b	35 ± 4,24 bc	38 ± 5,66 b
VAN-Variegado	7 ± 1,41 b	52 ± 2,82 a	83 ± 1,42 a
<i>p</i> -valor	0,0052	0,0150	0,0083

Letras iguales en la misma columna no representan diferencia estadística significativa (Tukey $p = 0,05$).

Tabla 6. Mortalidad de *Sitophilus zeamais* en poblaciones nativas de maíces de color y el híbrido blanco a 60 días de infestación.

Table 6. Mortality of *Sitophilus zeamais* in native populations of colored corn and the white hybrid after 60 days of infestation.

Genotipos/Tratamientos	Mortalidad (%)
AN-456 Blanco	50 ± 14,14 b
VAN-Morado	100 ± 0 a
VAN-Rojo	80 ± 0 ab
VAN-Azul	90 ± 14,14 ab
VAN-Variegado	90 ± 14,14 ab
p-valor	0,0359

Letras iguales no representan diferencia estadística significativa (Tukey $p = 0,05$).

Estos resultados sugieren que las poblaciones de maíz de color evaluadas han desarrollado grados de resistencia, probablemente a través de segregantes transgresivos generados a partir de la heredabilidad de los padres, que a pesar de ser atacados por *S. zeamais* limitan su alimentación y el insecto opta por atacar otro grano (Zunjare et al., 2015). Los insectos adultos de *S. zeamais* se ven atraídos por los granos de color, sin embargo, las poblaciones de colores nativas presentan ventajas como: compuestos fenólicos, antocianinas, inhibidores de la proteínasa, bajo índice de flotación, dureza del pericarpio, endospermo y del embrión, forma redonda del grano, bajo contenido de humedad y elevado índice de aminoácidos como el triptófano, que mejoran la repelencia sobre estos insectos generalistas (Broa Rojas et al., 2019; Ugagu et al., 2021).

Los resultados de la presente investigación son congruentes con otros estudios realizados con híbridos de maíz tras la infestación de *S. zeamais* a los 60 días, donde la heredabilidad se demostró que fue de moderada a alta sobre la tolerancia ante el ataque (Khakata et al., 2018),

posiblemente también el grosor del pericarpio juega un papel importante en la interacción insecto-grano que limita la alimentación y la oviposición (López-Castillo et al., 2018). Burgos-Díaz et al. (2020) demostraron que la población nativa morada 'X ej'ub' tenía 14,6 % menos de granos dañados a los 30 dpi por *S. zeamais*, en comparación con las poblaciones blancas 'Nal t'eel' y 'Sac nal'.

Las poblaciones de maíz 'VAN-Morado' y 'VAN-Variegado' ejercieron sobre *S. zeamais* una mortalidad de 90 % a 100 % (Tabla 6), aumentando hasta un 50 % dicha mortalidad en comparación con el híbrido 'AN-456 Blanco' con la menor mortalidad. Diferentes estudios han puesto de manifiesto que los genotipos de maíz que presentan alta concentración de antocianinas (como las razas moradas con 4910 mg/kg de peso seco) (Colombo et al., 2021), compuestos fenólicos y dureza tienden a ser resistentes al ataque de *S. zeamais*, y en algunas ocasiones propician la mortandad por inanición (Rahardjo et al., 2017). También poco polvo en el grano y baja pérdida de peso por el daño del insecto son indicativos positivos del efecto que generan las poblaciones silvestres sobre la mortalidad de *S. zeamais* (Adebowale et al., 2019). Así mismo, algunos factores genéticos de resistencia en el endospermo blando (sen1, sen3 y sen5) son asociados a dicho efecto (López-Castillo et al., 2018). Además, algunos genotipos de maíz promueven una alta mortalidad parental debido a la segregación de las generaciones F₂ que se refleja en la antibiosis, al igual que la presencia de proteínas que impiden la alimentación de *S. zeamais* como la cisteína proteasa de 33 kDa, triptófano, bajo contenido total de azúcares o las propiedades biofísicas (dureza y textura) (Nhamucho et al., 2017).

Los resultados de correlación de Pearson entre los parámetros de antixenosis y pérdida de peso mostraron una relación significativa positiva elevada ($r = 0,8314$; $p < 0,005$).

Una correlación negativa fuerte se pudo observar entre la antixenosis con la mortalidad ($r = -0,838$; $p < 0,005$) y mortalidad con pérdida de peso ($r = -0,860$; $p < 0,005$).

Acheampong et al. (2019) demostraron que la variedad de maíz 'Aseda' inhibió el ataque de *S. zeamais* con menor pérdida de peso, daño y alta germinación del grano; así como una alta mortalidad de adultos y retraso en el desarrollo, minimizando la merma de semillas cuando se almacenan durante tres meses. Los genotipos resistentes reducen la tasa de daño a los granos almacenados causados por escarabajos y palomillas, debido a la dureza del grano, pericarpio liso (impedimento de las mandíbulas para el agarre), así como la

concentración alta de compuestos fenólicos (Mamoon-Ur-rashid et al., 2021). Además mantienen la germinación de los granos y la calidad, muy probablemente por alelos adaptativos como las líneas endogámicas retrocruzadas (BILs) y los locus de rasgos cuantitativos (QTLs) que continúan evolucionando para que los mecanismos de tolerancia y resistencia subsistan (Joshi et al., 2021).

Para el desarrollo de la resistencia del grano sobre plagas de insectos en granos almacenados, se necesita implementar programas de mejoramiento genético a partir de poblaciones nativas de maíz como una alternativa económicamente viable y ecológicamente justificable (López-Castillo et al., 2018).

Tabla 7. Correlación de Pearson entre los parámetros evaluados de las poblaciones de maíz ante el ataque de *Sitophilus zeamais*.

Table 7. The Pearson correlation between the evaluated parameters of maize populations under attack by *Sitophilus zeamais*.

	Antixenosis	Mortalidad	Pérdida de peso	Daño al grano
Antixenosis	1			
Mortalidad	-0,838*	1		
Pérdida de peso	0,831*	-0,860*	1	
Daño al grano	0,174	0,187	-0,187	1

*Correlación significativa a nivel 0,05 (bilateral).

Conclusiones

El ataque del picudo del maíz *Sitophilus zeamais* (Mostchulsky) sobre los granos de las diferentes poblaciones de maíces nativos de México evaluadas en la presente investigación, reveló que, a pesar de presentarse un porcentaje elevado en el número de granos dañados de las poblaciones de color, se pudo comprobar que la dureza del grano juega un papel importante para la penetración y ali-

mentación del insecto. Las poblaciones de color morado y azul generaron un mayor efecto positivo en la antixenosis, tolerancia (pérdida de peso y porcentaje de daño al grano) y mortalidad sobre *S. zeamais*. Esta investigación demuestra que los maíces nativos de color son una alternativa para el desarrollo de variedades mejoradas con características de resistencia ante el ataque *S. zeamais*, así como de conservar el rendimiento neto de los granos ya almacenados.

Referencias bibliográficas

- Acheampong A, Ayertey JN, Eziah VY, Ifie BE (2019). Susceptibility of selected maize seed genotypes to *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae). *Journal of Stored Products Research* 81: 62-68. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2019.01.003>.
- Adebowale TJ, Osipitan AA, Pitan OR, Lawal OI, Joda AO, Filani CO, Ewedairo BI (2019). Resistance of some hybrid maize (*Zea mays* L.) to damage by maize weevil *Sitophilus zeamais* (Motsch.) (Coleoptera: Curculionidae) and larger grain borer, *Prostephanus truncatus* (Horn) (Coleoptera: Bostrichidae). *Nigerian Journal of Entomology* 35: 45-59. <https://doi.org/10.36108/nje/9102/53.01.50>.
- Arriaga-Pérez W, Gaytán-Martínez M, Reyes-Vega ML (2019). Métodos para medir la dureza del grano de maíz: review. *Digital Ciencia@UAQRO*, 2: 67-78.
- Astuti LP, Yahya SM, Hadi MS (2019). Susceptibility of six corn varieties (*Zea mays* L.) to *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera: Curculionidae). *International Journal of Plant Biology* 10: 9-13. <https://doi.org/10.4081/pb.2019.7441>.
- Broa Rojas E, Vázquez Carrillo MG, Estrella Chulím NG, Hernández Salgado JH, Ramírez Valverde B, Bahena Delgado G (2019). Características físico-químicas y calidad de la proteína de maíces nativos pigmentados de Morelos en dos años de cultivo. *Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas* 10: 683-697. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i3.481>.
- Burgos-Díaz JA, Rangel-Fajardo MA, Tucuch-Haas JI, Benítez-Riquelme I, García-Zavala JJ (2020). Susceptibilidad de poblaciones nativas de maíz y preferencia del gorgojo en Yucatán, México. *Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas* 11: 1469-1479. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i7.2081>.
- Colombo R, Ferron L, Papetti A (2021). Colored corn: an up-date on metabolites extraction, health implication, and potential use. *Molecules* 26: 1-42. <https://doi.org/10.3390/molecules26010199>.
- Figuroa-Cárdenas JdeD, Narváez-González DE, Mauricio-Sánchez A, Taba S, Gaytán-Martínez M, Véles-Medina JJ, Rincón-Sánchez F, Aragón-Cuevas F (2013). Propiedades físicas del grano y calidad de los grupos raciales de maíces nativos (criollos) de México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 36: 305-314. <https://doi.org/10.35196/rfm.2013.3-s3-a.305>.
- García-Lara S, Bergvinson DJ (2013). Identification of maize landraces with high level of resistance to storage pests *Sitophilus zeamais* Motschulsky and *Prostephanus truncatus* Horn in Latin America. *Revista Fitotecnia Mexicana* 36: 347-356. <https://doi.org/10.35196/rfm.2013.3-s3-a.347>.
- García-Lara S, Chuck-Hernandez C, Serna-Saldivar SO (2019). Development And Structure Of The Corn Kernel. En: *Corn: Chemistry and Technology 3 Edition* (Ed. Serna-Saldivar SO), pp. 147-163. AACC International press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811971-6.00006-1>.
- Gaytán-Martínez M, Figuroa-Cárdenas JD, Reyes-Vega ML, Rincón-Sánchez F, Morales-Sánchez E (2006). Microstructure of starch granule related to kernel hardness in corn. *Revista Fitotecnia Mexicana* 29: 135-139. Disponible en: <https://revistafitotecniamexicana.org/documentos/29-2 Especial 2/23a.pdf> (Consultado 25 enero 2022).
- Hernández-Alonso E, De León-Castillo H (2021). Comportamiento genético para componentes de rendimiento en una población de maíz enano. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 26: 131-144. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i26.2943>.
- Hernández-Cruz J, Luna-Cruz A, Loera-Alvarado E, Villanueva-Sánchez E, Landero-Valenzuela N, Zárate-Nicolás BH, Granados-Echegoyen CA (2019). Efficiency of the essential oil of *Porophyllum linaaria* (Asteraceae) a Mexican endemic plant against *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae). *Journal of Insect Science* 2019: iez079. <https://doi.org/10.1093/jisesa/iez079>.
- Hong KJ, Lee W, Park YJ, Yang JO (2018). First confirmation of the distribution of rice weevil, *Sitophilus oryzae*, in South Korea. *Journal of Asia-Pacific Biodiversity* 11: 69-75. <https://doi.org/10.1016/j.japb.2017.12.005>.

- Ileke KD, Idoko JE, Ojo DO, Adesina BC (2020). Evaluation of botanical powders and extracts from Nigerian plants as protectants of maize grains against maize weevil, *Sitophilus zeamais* (Motschulsky) [Coleoptera: Curculionidae]. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology* 27: 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2020.101702>.
- Joshi A, Adhikari S, Singh NK (2021). Mapping genomic regions for red flour beetle (*Tribolium castaneum* (Herbst)) resistance in teosintle (*Zea mays* L. subsp. *parviglumis* H. H. Iltis & Doebley) derived maize backcross inbred line population. *Genetic Resources and Crop Evolution* 68: 1529-1544. <https://doi.org/10.1007/s10722-020-01083-3>.
- Khakata S, Mbuthe FN, Chemining'wa GN, Mwimali M, Karanja J, Harvey J, Mwololo JK (2018). Post-harvest evaluation of selected inbred lines to maize weevil *Sitophilus zeamais* resistance. *Journal of Plant Breeding and Crop Science* 10: 105-114. <https://doi.org/10.5897/jpbcs2017.0646>.
- Kim JT, Chung IM, Kim MJ, Lee JS, Son BY, Bae HH, Go YS, Kim SL, Baek SB, Kim SH, Yi G (2022). Comparison of antioxidant activity assays in fresh purple waxy corn (*Zea mays* L.) during grain filling. *Applied Biological Chemistry* 65: 1-7. <https://doi.org/10.1186/s13765-021-00671-w>.
- López-Castillo LM, Silva-Fernández SE, Winkler R, Bergvinson DJ, Arnason JT, García-Lara S (2018). Postharvest insect resistance in maize. *Journal of Stored Products Research* 77: 66-76. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2018.03.004>.
- Mamoon-Ur-rashid M, Riaz-Ud-din, Naeem M, Khan MA, Ashfaq M (2021). Relative resistance of maize varieties against maize weevil, *Sitophilus zeamais* (Motschulsky), (coleoptera: Curculionidae). *Pakistan Journal of Agricultural Sciences* 58: 1169-1176. <https://doi.org/10.21162/PAKJAS/21.45>.
- Mejía AL, Núñez JM, Gallegos B, Cuadra JA, Castillo GU (2022). "Atol Shuco", a traditional corn-fermented salvadorian beverage: phytochemical, microbiological and nutritional considerations. In *Hispanic Foods: Chemistry of Fermented Foods* (Ed. Tunick MH, González de Mejía E), pp. 29-48. American Chemical Society. USA. <https://doi.org/10.1021/bk-2022-1406.ch003>.
- Nhamucho E, Mugo S, Gohole L, Tefera T, Kinyua M, Mulima E (2017). Resistance of selected Mozambican local and improved maize genotypes to maize weevil, *Sitophilus zeamais* (Motschulsky). *Journal of Stored Products Research* 73: 115-124. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2017.07.003>.
- NMX-FF-034/1-SCFI-2002. Productos alimenticios no industrializados para consumo humano – cereales – parte i: maíz blanco para proceso alcalino para tortillas de maíz y productos de maíz nixtamalizado-especificaciones y métodos de prueba. Disponible en: http://sitios1.dif.gob.mx/alimentacion/docs/NMX-FF-034-1-SCFI-2002_MAIZ_blanco.pdf (Consultado 10 octubre 2021).
- Nwosu LC (2016). Chemical bases for maize grain resistance to infestation and damage by the maize weevil, *Sitophilus zeamais* Motschulsky. *Journal of Stored Products Research* 69: 41-50. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2016.06.001>.
- Odjo S, Palacios-Rojas N, Burgueño J, Corrado M, Ortner T, Verhulst N (2022). Hermetic storage technologies preserve maize seed quality and minimize grain quality loss in smallholder farming systems in Mexico. *Journal of Stored Products Research* 96: 101954. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2022.101954>.
- Palacios-Pola G, Perales Rivera H, Figueroa-Cárdenas JdeD, Hernández Estrada ZJ (2021). Changes in the physical, chemical, and sensory properties from three native corn landraces from Chiapas using two nixtamalization times. *International Journal of Gastronomy and Food Science* 25: 100373. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2021.100373>.
- Rahardjo BT, Astuti LP, Sugiarto AN, Rizali A (2017). Susceptibility of maize genotypes to maize weevil *Sitophilus zeamais* Motsch. (Coleoptera: Curculionidae). *AGRIVITA Journal of Agricultural Science* 39: 329-334. <https://doi.org/10.17503/agrivita.v39i3.1278>.
- Rathna Priya TS, Manickavasagan A (2021). Characterising corn grain using infrared imaging and spectroscopic techniques: a review. *Journal of Food Measurement and Characterization* 15: 3234-3249. <https://doi.org/10.1007/s11694-021-00898-7>.

- Rodríguez-Ledesma Y, Mirabal-García R, Suárez-Pérez C, García-González TM, Albert-Rodríguez A, Orrantia-Cárdenas I (2017). Control de *Sitophilus zeamais* Motschulsky con polvo de mármol en granos de maíz almacenados. Pastos y forrajes 40: 296-301. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=269158176006> (Consultado 03 febrero 2022).
- Sandhu KS, Singh N, Malhi NS (2007). Some properties of corn grains and their flours I: Physicochemical, functional and chapati-making properties of flours. Food Chemistry 101: 938-946. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.02.040>.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) 2022. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Disponible en: <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/> (Consultado 14 abril 2022).
- Stuhl CJ (2019). Does prior feeding behavior by previous generations of the maize weevil (Coleoptera: Curculionidae) Determine future descendants feeding preference and ovipositional suitability? Florida Entomologist 102: 366-372. <https://doi.org/10.1653/024.102.0212>.
- Suleiman R, Rosentrater KA, Bern CJ (2015). Evaluation of maize weevils *Sitophilus zeamais* Motschulsky infestation on seven varieties of maize. Journal of Stored Products Research 64: 97-102. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2015.09.005>.
- Tefera T, Mugo S, Tende R, Likhayo P (2011). Methods of screening maize for resistance to stem borers and post-harvest insect pests. International Maize and Wheat Improvement Center (CIMMYT). Nairobi, Kenya.
- Trematerra P, Ianiro R, Athanassiou CG, Kavallieratos NG (2014). Behavioral interactions between *Sitophilus zeamais* and *Tribolium castaneum*: the first colonizer matters. Journal of Pest Science 88: 573-581. <https://doi.org/10.1007/s10340-014-0633-z>.
- Ugagu GM, Nwoke BEB, Opara NK, Onwubuche BC, Isiaka PI, Nwosu LC, Eluwa AN, Ajayi OA, Petgrave GM, Aguwa UO (2021). Investigations on the inherent resistance of twenty-one maize varieties to maize weevil, *Sitophilus zeamais* Motschulsky at F2 generation. Asian Journal of Advances in Research 8: 21-31. Disponible en: <https://mbimph.com/index.php/AJOAIR/article/view/2189/1916> (Consultado 17 mayo 2022).
- Usseglio VL, Dambolena JS, Merlo C, Peschiutta ML, Zunino MP (2018). Insect-corn kernel interaction: Chemical signaling of the grain and host recognition by *Sitophilus zeamais*. Journal of Stored Products Research 79: 66-72. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2018.08.002>.
- Velásquez-Salazar R, Diamont D (2014). Micro-morfología de la epidermis foliar de cultivares de arroz Venezolano (Poaceae) asociado con el daño mecánico de sogata *Tagosodes orizicolus* (Homoptera: Delphacidae). Revista de Biología Tropical 62: 819-827. <https://doi.org/10.15517/rbt.v62i2.10360>.
- Velásquez-Salazar M, Scalzo G, Shanks CB (2021). Colored heirloom corn as a public good: The case of Tlaxcala, México. Sustainability 13: 1507. <https://doi.org/10.3390/su13031507>.
- Žilić S, Nikolić V, Mogol BA, Hamzalioglu A, TaşNG, Kocadağlı T, Simić M, Gökmen V (2022). Acrylamide in corn-based thermally processed foods: a review. Journal of Agricultural and Food Chemistry 70: 4165-4181. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.1c07249>.
- Zunjare R, Hossain F, Muthusamy V, Jha SK, Kumar P, Sekhar JC, Guleria SK, Singh NK, Thirunavukarasu N, Gupta HS (2015). Genetics of resistance to stored grain weevil (*Sitophilus oryzae* L.) in maize. Cogent Food and Agriculture 1: 1075934. <https://doi.org/10.1080/23311932.2015.1075934>.

(Aceptado para publicación el 22 de enero de 2023)

Cultivo de berenjena (*Solanum melongena* L.) en hidroponía bajo invernadero y malla sombra con estrés salino

Ana Yesenia Lara-Izaguirre¹, Ángel Natanael Rojas-Velázquez^{1,*},
Jorge Alonso Alcalá-Jáuregui¹, Irán Alía-Tejagal² y Gisela Aguilar-Benítez³

¹ Facultad de Agronomía y Veterinaria, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Km. 14,5 Carretera San Luis Potosí, Matehuala, Ejido Palma de la Cruz. Apdo. Postal 32. Soledad de Graciano Sánchez, San Luis Potosí, México. CP. 78321

² Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Avenida Universidad, Núm. 1001, Colonia Chamilpa. Cuernavaca, Morelos, México. CP. 62209

³ Instituto de Investigación de Zonas Desérticas, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Altair, Núm. 200, Colonia del Llano. San Luis Potosí, San Luis Potosí, México. CP. 78377

Resumen

Las plantas están expuestas a factores que limitan su crecimiento y rendimiento, como las condiciones ambientales y la salinidad. En la presente investigación se evaluó el crecimiento y concentraciones iónicas en plantas de berenjena en hidroponía bajo invernadero y malla sombra con estrés salino por NaCl. En plantas de berenjena cultivadas en las dos estructuras se aplicaron dosis de NaCl 0 mM, 15 mM, 30 mM y 45 mM. Las variables evaluadas fueron: rendimiento, biomasa seca, área foliar, unidades SPAD, índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) y concentración de iones en hojas NO_3^- , K^+ , Ca^{2+} y Na^+ . Los resultados mostraron diferencias significativas ($p \leq 0,05$) en las estructuras protegidas, con incrementos en el rendimiento, área foliar, el NDVI y la concentración de NO_3^- en hojas bajo la malla sombra. Bajo las dosis de NaCl aplicadas, 15 mM de NaCl disminuyó la biomasa seca y el área foliar; con dosis de 30 mM y 45 mM disminuyó el rendimiento y la concentración de NO_3^- fue menor, sin embargo, aumentó la concentración de Ca^{2+} y Na^+ en hojas. La interacción entre los factores en estudio mostró que aplicar 15 mM y 30 mM de NaCl en invernadero aumenta la biomasa, la concentración de Ca^{2+} y Na^+ en hojas y en malla sombra aumentó la concentración de NO_3^- y Ca^{2+} en las hojas. La dosis de 45 mM afectó negativamente el rendimiento en las dos estructuras. En el cultivo de berenjena bajo la estructura de malla sombra con estrés salino se minimizaron los efectos negativos en el crecimiento de las plantas.

Palabras clave: Cultivo protegido, intensidad de luz, solución nutritiva, salinidad, NaCl.

Eggplant (*Solanum melongena* L.) culture in hydroponics under greenhouse and shade net with saline stress

Abstract

Plants are exposed to factors that limit their growth and yield, such as environmental conditions and salinity. The present research evaluated growth and ionic concentrations in eggplant plants in hydro-

* Autor para correspondencia: angel.rojas@uaslp.mx

Cita del artículo: Lara-Izaguirre AY, Rojas-Velázquez AN, Alcalá-Jáuregui JA, Alía-Tejagal I, Aguilar-Benítez G (2023). Cultivo de berenjena (*Solanum melongena* L.) en hidroponía bajo invernadero y malla sombra con estrés salino. ITEA-Información Técnica Económica Agraria 119(3): 211-224. <https://doi.org/10.12706/itea.2023.004>

ponics under greenhouse and shade net with saline stress by NaCl. Doses of NaCl 0 mM, 15 mM, 30 mM and 45 mM were applied to eggplant grown in the two structures. The variables evaluated were: yield, dry biomass, foliar area, SPAD units, normalized difference vegetation index (NDVI) and ion concentration in NO_3^- , K^+ , Ca^{2+} and Na^+ leaves. The results showed significant differences ($p \leq 0.05$) in the protected structures, with increases in yield, foliar area, NDVI and NO_3^- concentration in leaves under the shade net. Under the NaCl doses applied, 15 mM NaCl decreased dry biomass and foliar area; with doses of 30 mM and 45 mM the yield decreased and the concentration of NO_3^- was lower with doses of 30 mM and 45 mM, however, the concentration of Ca^{2+} and Na^+ in leaves increased. The applied dose of 15 mM of NaCl decreased dry biomass and leaf area; the yield and the concentration of NO_3^- was lower with doses of 30 mM and 45 mM, however, increased the concentration of Ca^{2+} and Na^+ in leaves. The interaction between the factors under study showed that applying 15 mM and 30 mM of NaCl in greenhouse increases the biomass, the concentration of Ca^{2+} and Na^+ in the leaves and in the shade net increased the concentration of NO_3^- and Ca^{2+} on the leaves. The 45 mM dose negatively affected the yield on both structures. In the cultivation of eggplant under the shade mesh structure with saline stress, the negative effects on plant growth were minimized.

Keywords: Protected crop, light intensity, nutrient solution, salinity, NaCl.

Introducción

La berenjena (*Solanum melongena* L.), también conocida como guinea es una especie de importancia agronómica y económica de la familia de las solanáceas (Gürbüz et al., 2018). Es un cultivo versátil adaptado a diferentes regiones climáticas y se puede producir durante todo el año, es perenne, pero se cultiva comercialmente como anual (Priyadarshini et al., 2016).

En las prácticas agrícolas de todo el mundo, las plantas están expuestas a diversos factores de estrés que limitan el rendimiento, el crecimiento y la calidad como la sequía, salinidad, temperatura y otros (Vázquez-Hernández et al., 2019). En este sentido, las condiciones climáticas influyen en la obtención de altos rendimientos en berenjena en ambientes secos, cálidos y moderados, sin embargo, es sensible a las heladas y el crecimiento está limitado cuando la temperatura es menor a 16 °C y mayor a 30 °C (Adamczewska-Sowińska et al., 2016). El cultivo protegido es una alternativa para controlar las condiciones ambientales, además aumenta la calidad de los cultivos sin efectos negativos en el rendimiento (Rouphael et al., 2018).

Las condiciones de luz pueden mejorar la actividad fotosintética de las plantas (Kyriacou et al., 2016), dentro de un invernadero están influenciadas por los materiales de la cubierta, que permiten lograr condiciones de luz específicas, debido a que filtran la radiación solar al reducir la intensidad de la luz a través de la película fotoselectiva (Ilić y Fallik, 2017). Las mallas negras reducen la cantidad, pero no la calidad de luz que llega a las plantas (Shahak, 2008), además reduce la temperatura del aire y el suelo, con menor estrés por calor en las plantas (Ilić y Fallik, 2017). En plantas de berenjena en invernadero el número de frutos por planta aumenta a temperaturas de 15 °C y 17 °C con diferentes intensidades de luz, y se mejora el peso fresco de los frutos a 19 °C y 20 °C con intensidad de luz baja (Uzun, 2007).

Por otra parte, el estrés salino es un estrés abiótico que disminuye la productividad de los cultivos, con impacto negativo en las funciones morfológicas (Arif et al., 2020), bioquímicas y fisiológicas del crecimiento y desarrollo de las plantas (Hatamnia et al., 2013). La salinidad afecta la calidad de los cultivos, al influir en la absorción y el transporte de iones, provoca desordenes nutricionales en los

tejidos vegetales (Martínez-Ballesta et al., 2010), además de pérdida de agua, reducción de la transpiración y concentraciones altas de Na^+ y Cl^- , que son tóxicos para las plantas (Jaramillo-Roman et al., 2020). El uso de NaCl en la solución nutritiva en tomate reduce la materia seca, altura, número de hojas y área foliar (Romero-Aranda et al., 2001), en pimiento con dosis de 30 mM de NaCl en la solución nutritiva disminuye la biomasa total, área foliar y el rendimiento (Rubio et al., 2009).

En berenjena, la salinidad induce alteraciones morfofisiológicas y bioquímicas (Abbas et al., 2010), este cultivo se considera sensible o moderadamente sensible a la salinidad (Ünlükara et al., 2010), sin embargo, existen estudios contradictorios sobre su tolerancia a la salinidad (Priyadarshini et al., 2016). En plantas de berenjena con dosis a partir de 20 mM de NaCl disminuyó la biomasa seca (Hannachi y Van Labeke, 2018), con 50 mM y 150 mM disminuyó el área foliar, la biomasa aérea y la concentración de K^+ en hojas (Assaha et al., 2013). En cultivares de berenjena en hidroponía se observó una marcada disminución en la biomasa y en el rendimiento debido al estrés salino con 100 mM de NaCl (Abbas et al., 2010), con 150 mM disminuyó la biomasa y la concentración de Ca^{2+} y K^+ (Shahbaz et al., 2013). En contraste, con 25 mM NaCl en la solución nutritiva no mostró influencia en el área de la hoja (Savvas y Lenz, 2000), en germinación de cultivares de berenjena con dosis de 20 mM y en etapa de crecimiento con dosis de 20 mM y 40 mM no se observaron efectos en la concentración de K^+ , y con dosis de 20 mM, 40 mM y 80 mM de NaCl no cambió la concentración de Ca^{2+} en hojas (Hannachi y Van Labeke, 2018). Además, dosis de 15 mM, 30 mM y 45 mM de NaCl tienen efectos positivos en la calidad de frutos de berenjena como el aumento de °Brix, vitamina C y actividad antioxidante (Lara-Izaguirre et al., 2022).

La respuesta de las hortalizas de invernadero al estrés salino depende del material gené-

tico, condiciones ambientales, etapa fenológica y el tipo de fuente de sal, concentración y el tiempo de exposición (Rouphael et al., 2018). Varias condiciones adversas en combinación pueden provocar una respuesta diferente a la que provocaría un solo tipo de estrés, es importante el estudio e identificación de qué respuestas promueven o mantienen el crecimiento y desarrollo de las plantas durante el estrés, para comprender el proceso desde el punto de vista del rendimiento agrícola (Priyadarshini et al., 2016). Por lo anterior, el objetivo es evaluar el crecimiento y concentraciones iónicas en plantas de berenjena en hidroponía bajo invernadero y malla sombra con estrés salino por NaCl.

Material y métodos

Ubicación del experimento y material vegetal

El trabajo experimental se realizó en el área de cultivos hidropónicos de la Facultad de Agronomía y Veterinaria ubicada en San Luis Potosí, México, en el ciclo de cultivo verano-otoño del 2019 en dos tipos de cultivo, invernadero y malla sombra.

Para este estudio se utilizaron semillas de berenjena variedad 'Black Beauty' (Semillas Caloro, México), se sembraron en charolas de poliestireno de 220 cavidades con sustrato comercial a base de turba ácida. El trasplante al sistema de producción se llevó a cabo a los 60 días después de la siembra en bolsas de plástico negro de 10 L de volumen, con tezontle rojo como sustrato proveniente de un yacimiento del municipio de Villa Hidalgo, "Materiales Para Construcción Los Rosales", San Luis Potosí, México, con una granulometría de 5-6 mm, bajo un sistema de riego por goteo, se consideró una densidad de plantación de 0,75 planta·m².

Para la nutrición del cultivo se empleó la solución nutritiva universal de Steiner (1984) (en meq·L⁻¹): 12 NO₃⁻, 7 SO₄²⁻, 1 H₂PO₄⁻, 9 Ca²⁺, 7 K⁺ y 4 Mg²⁺. Los fertilizantes utilizados fueron Ca(NO₃)₂·4H₂O, KNO₃, MgSO₄·7H₂O, K₂SO₄ y H₃PO₄. Los micronutrientes se añadieron con Carboxy Micro, el cual aportó Fe 5 %; Zn 2,5 %; Mn 1 % y B 0,5 % en forma quelatada EDDHA. El pH de la solución se ajustó con ácido fosfórico a 5,5. La solución tenía una CE de 2 dS·m⁻¹.

Tratamientos

Se utilizaron dos condiciones ambientales de crecimiento: un invernadero tipo túnel de dimensiones 5,5 m × 18 m con cubierta plástica color blanco y un invernadero tipo capilla con las mismas dimensiones con cubierta de malla sombra color negro. En el invernadero se mostró una temperatura promedio de 23 °C y una intensidad luminosa promedio de 325,74 μmol·m⁻²·s⁻¹. En la malla sombra una temperatura promedio de 17 °C con una intensidad luminosa promedio de 183,22 μmol m⁻²·s⁻¹ (registrador HOBO Onset UA-002-08 Pendant Temperature/Light Data Logger).

Los tratamientos de salinidad se aplicaron bajo cada estructura protegida a los 54 días después del trasplante (inicio de la floración). Se añadió NaCl (J.T. Baker™) a la solución Steiner en tres dosis: 0 mM, 15 mM, 30 mM y 45 mM.

VARIABLES EVALUADAS EN LA COSECHA

Se cosecharon frutos maduros con una coloración negro brillante, en tres cortes a partir de los 105 días después de la aplicación de NaCl y se pesaron en una balanza digital (Ohaus® PAJ4102N Gold series, Parsippany, New Jersey, USA). El peso se tomó en g y el rendimiento en g/planta. En la malla sombra se cosecharon los frutos en tres fechas, 105 días después del trasplante (ddt), 130 ddt y 154 ddt.

En el invernadero se cosecharon a los 130 ddt y 154 ddt.

A los 131 días se midió área foliar (medidor laser de área foliar CI-202 CID Bio- Science, Camas, Washington, USA) y posteriormente se colocaron tallo y hoja a la estufa para obtener la biomasa seca aérea (estufa de secado Omron, Kyoto, Japón y balanza digital, Ohaus® PAJ4102N Gold series, Parsippany, New Jersey, USA) a una temperatura de 72 °C hasta peso constante.

Antes de la primera cosecha de los frutos, se midieron en las plantas las unidades SPAD (Soil Plant Analysis Development, SPAD-502 Plus Chlorophyll Meter, 2900P, Spectrum Technologies, Aurora, Illinois, USA) en hojas intermedias y visiblemente sanas y el índice NDVI (Normalized Difference Vegetation Index, GreenSeeker Trimble Handheld Crop Sensor, Sunnyvale, California, USA), al colocar el medidor a 30 cm de distancia de la parte apical de la planta.

La concentración de iones Na⁺, NO₃⁻, K⁺ y Ca²⁺ se midió en el extracto celular del peciolo con ionómetros (Laqua Twin Compact Ion Meter, Horiba, Kyoto, Japón) en mg·L⁻¹.

Diseño experimental

Se utilizó un diseño completamente al azar. La unidad experimental fue una planta por maceta, fueron cuatro tratamientos de NaCl en cada estructura protegida y 20 repeticiones por tratamiento, con 80 unidades experimentales por estructura. Con un total de 8 tratamientos y 160 plantas.

Análisis estadístico

Con los datos obtenidos se realizó un análisis de varianza y una comparación de medias con la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$), por medio del programa estadístico SAS (Statistical Analysis System) versión 9,0.

Resultados y discusión

Biomasa seca

Se mostraron diferencias ($p \leq 0,05$) en las plantas cultivadas en las dos estructuras protegidas, en invernadero la biomasa seca fue mayor en 18 % (Tabla 1). De acuerdo con Adamczewska-Sowińska *et al.* (2016) mencionaron que la producción de berenjena depende en gran medida de las condiciones climáticas, y que el crecimiento se ve limitado por temperaturas inferiores a 16 °C. En este

estudio, la temperatura media mostrada en invernadero fue de 23 °C lo cual podría ser favorable para el crecimiento de las plantas, en comparación con la malla sombra que presentó 17 °C. La intensidad de luz en las estructuras utilizadas fue de 325,74 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ en invernadero y 183,22 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ en malla sombra. En un caso similar, al inducir estrés con luz elevada de 800 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ en el cultivo de lechuga, la biomasa seca aumentó 11 % (Oh *et al.*, 2009). En otro estudio, con 220 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ aumentó 50 % en comparación con la menor intensidad de luz 60 μmol

Tabla 1. Crecimiento de plantas de berenjena bajo dos estructuras protegidas (invernadero y malla sombra) y diferentes dosis de NaCl.

Table 1. Eggplant plant growth under two protected structures (greenhouse and shade net) and different NaCl doses.

		Biomasa seca (g)	Área foliar (cm ²)	Rendimiento (g/planta)	Unidades SPAD	NDVI
Estructura protegida (EP)	I	106,73 a	4084,16 b	184,91 b	58,63 a	0,63 b
	MS	87,70 b	4878,91 a	624,16 a	61,06 a	0,66 a
	DMS	13,38	209,73	109,17	2,77	0,02
NaCl (N)	0 mM	121,03 a	5497,9 a	505,76 a	59,58 a	0,65 a
	15 mM	98,38 ab	4366,6 b	530,49 a	60,68 a	0,62 a
	30 mM	89,87 b	4200,0 bc	389,84 ab	58,54 a	0,65 a
	45 mM	79,57 b	3861,6 c	192,07 b	60,58 a	0,65 a
	DMS	25,29	399,62	206,36	5,19	0,04
Interacción (EP×N)	EPI×N0	139,00 a	5049,2 b	315,3 bc	57,61 a	0,62 a
	EPI×N15	111,53 ab	4002,1 d	171,3 c	59,60 a	0,61 a
	EPI×N30	94,70 ab	4128,0 cd	157,5 c	57,83 a	0,64 a
	EPI×N45	78,70 b	3157,4 e	95,5 c	59,47 a	0,64 a
	EPMS×N0	103,80 ab	5946,7 a	696,2 a	61,56 a	0,67 a
	EPMS×N15	85,25 b	4731,1 bc	889,7 a	61,76 a	0,63 a
	EPMS×N30	82,05 b	4272,0 cd	622,1 ab	59,25 a	0,66 a
	EPMS×N45	80,45 b	4565,9 bcd	288,6 bc	61,70 a	0,66 a
	DMS	42,95	682,96	350,37	8,73	0,07
CV	18,86	6,27	36,98	9,27	7,08	

Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0,05$); EP: estructura protegida; I: invernadero y MS: malla sombra N: dosis de NaCl; CV: coeficiente de variación; DMS: diferencia mínima significativa.

$\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (Fu et al., 2017), lo cual sugiere que la intensidad luminosa beneficia el desarrollo de la biomasa aérea (Tabla 1).

Con las dosis 30 mM y 45 mM de NaCl aplicadas disminuyó la biomasa seca ($p \leq 0,05$) en 26 % en comparación con 0 mM (Tabla 1). De acuerdo con Hannachi y Van Labeke (2018) en cultivares de berenjena en invernadero con dosis a partir de 20 mM de NaCl disminuyó la biomasa seca en 30 % y con dosis de 150 mM de 42 % a 62 % (Shahbaz et al., 2013). Con dosis de 50 mM en plantas de berenjena la biomasa seca disminuyó en 49 % (Assaha et al., 2013). En este sentido, la reducción del peso seco de brotes y raíces es el resultado de varios efectos inducidos por la sal, como el ajuste osmótico debido a la adaptación de la planta a los cambios osmóticos, la exclusión de iones y las limitaciones de crecimiento, debido a desequilibrios nutricionales (Debnath et al., 2018). En la interacción de los factores de estudio disminuyó la biomasa seca ($p \leq 0,05$) al aplicar las dosis de NaCl en ambas estructuras, sin embargo, la disminución en la biomasa fue mayor en los tratamientos aplicados en el invernadero en 43 % con dosis de 45 mM (Tabla 1), estructura en la cual se presentó la intensidad de luz más alta, en $325,74 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Zhang et al. (2020) mencionaron que el estrés salino generalmente inhibe el crecimiento de las plantas y puede depender de las condiciones de luz; en plantas de tomate bajo intensidad de luz de $200 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ con 80 mM de NaCl aplicado a las plantas disminuyó la biomasa seca en 33 % respecto a 0 mM, mientras que bajo luz de $650 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ con 80 mM se aumentó la reducción a 46 % respecto a 0 mM.

Área foliar

Se mostraron diferencias significativas en el cultivo con la estructura utilizada ($p \leq 0,05$), bajo invernadero fue menor el área foliar en 16 % comparado con la malla sombra (Tabla 1).

De acuerdo con Oh et al. (2009), en lechuga al inducir el estrés con luz alta de $800 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ disminuyó el área foliar en 23 %. En este estudio, bajo las estructuras protegidas la intensidad de luz fue de $325,74 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ en invernadero y $183,22 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ en malla sombra, lo cual pudo disminuir el área foliar de las plantas cultivadas en el invernadero. En este sentido, mencionan Azcón-Bieto et al. (2008) que el ambiente luminoso al que se encuentran expuestas las plantas afecta su crecimiento y desarrollo, lo cual determina su morfología foliar y su fisiología.

Con las dosis de NaCl aplicadas, disminuyó el área foliar ($p \leq 0,05$) entre 21% y 30 % (Tabla 1). Esto coincide con Assaha et al. (2013) en berenjena donde la salinidad por NaCl disminuyó el área foliar con dosis de 50 mM en 50 %. Sin embargo, Hannachi y Van Labeke (2018) mencionaron que esto puede variar según la especie y la variedad, además con el aumento de la concentración de NaCl en la solución nutritiva y el tiempo de exposición a la salinidad (Romero-Aranda et al., 2001). En berenjena 'Black Beauty', 80 mM de NaCl parece ser el nivel umbral entre el estrés osmótico e iónico (Hannachi y Van Labeke, 2018). Para la mayoría de las plantas un nivel de 40 mM de NaCl alrededor de las raíces disminuye la tasa de crecimiento de los brotes, debido a que la salinidad provoca que las células de las hojas pierdan agua, reduce volumen y turgencia, por lo que las hojas son más pequeñas y gruesas (Munns y Tester, 2008).

La interacción de los factores en estudio, con el uso de estructuras protegidas y la aplicación de NaCl disminuyeron el área foliar ($p \leq 0,05$) tanto en invernadero como en malla sombra (Tabla 1). Sin embargo, en el cultivo bajo malla sombra el área foliar fue mayor en 15 % sin la aplicación de NaCl comparado con el invernadero. La aplicación de las dosis en malla sombra disminuyó 20 % el área foliar y en invernadero entre 18 % y 37 %. Bacha et al. (2017) indicaron que la reducción

de área foliar se debe a la disminución del intercambio de gases en las hojas durante el estrés salino, lo que representa una estrategia morfológica adaptativa para la tolerancia a la sal, como sucedió en plantas de tomate con dosis de 50 mM y 150 mM de NaCl, donde se mostró una reducción del 15 % y 41 % del área foliar, respectivamente. Por otra parte, en plantas de pimiento con 30 mM disminuyó el área foliar en 27 % con respecto a las plantas no estresadas (Rubio et al., 2009). En plantas de tomate el estrés salino de 80 mM de NaCl bajo intensidad de luz de $200 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ condujo a una reducción del 37 % respecto a 0 mM del área foliar, el uso de 80 mM con intensidad de luz de $650 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ disminuyó 48 % respecto a 0 mM (Zhang et al., 2020).

Rendimiento

Se presentaron diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0,05$) en las plantas cultivadas bajo las estructuras (Tabla 1); en malla sombra donde se presentó una temperatura media de 17 °C y una intensidad luminosa de $183,22 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ la cosecha inició 25 días antes que en el invernadero, estas condiciones de menor intensidad de luz y temperatura mejoraron el peso de los frutos en 70 %. Caso contrario, en un estudio en el cultivo de berenjena el aumento de la intensidad de la luz resultó en un mayor peso de los frutos (Uzun, 2007) y en lechugas con temperaturas altas de 33 °C mostró 30 % mayor rendimiento que a 25 °C (Sublett et al., 2018). En este estudio, a pesar de que en el invernadero se mostró una intensidad luminosa y temperatura más alta, no favoreció el rendimiento de los frutos de berenjena.

La aplicación de dosis de NaCl mostró diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0,05$) en el rendimiento (Tabla 1). La dosis de 45 mM mostró 62 % menor rendimiento respecto a las dosis 0 mM y 15 mM. Abbas et al.

(2010) mencionaron que en cultivares de berenjena con la aplicación de 100 mM de NaCl disminuyó el rendimiento de los frutos entre 50 % y 60 %.

En la interacción de los dos factores en estudio, las dosis de NaCl aplicadas en las plantas bajo invernadero disminuyeron el rendimiento en 75 % ($p \leq 0,05$) respecto a la malla sombra (Tabla 1). En este sentido, las mallas negras reducen la cantidad de luz que llega a las plantas (Shahak, 2008), reduce la temperatura del aire y el suelo, lo cual produce menor estrés por calor en las plantas (Ilić y Fallik, 2017). El crecimiento y rendimiento de plantas de berenjena está limitado cuando la temperatura es mayor a 30 °C (Adamczewska-Sowińska et al., 2016). Es probable que en invernadero el rendimiento e inicio a cosecha se afectara debido a las altas temperaturas registradas presentando máximas hasta de 47,5 °C.

SPAD

En las plantas cultivadas bajo las estructuras utilizadas, la aplicación de dosis de NaCl y la interacción de los dos factores en estudio no mostraron diferencias significativas ($p \leq 0,05$) en unidades SPAD (Tabla 1). Kang et al. (2013) mostraron que en el cultivo de lechuga las unidades SPAD no mostraron diferencias a intensidades de luz de $200 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, $230 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, $260 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ y $290 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Las lecturas SPAD representan el contenido de clorofila de las hojas, la reducción de la clorofila como respuesta al estrés por salinidad reduce el crecimiento y la biomasa seca de las plantas, demostrado en los cultivares de stevia (*Stevia rebaudiana*) al disminuir las unidades SPAD entre 28 % y 33 % a dosis de 50 mM (Debnath et al., 2018) y en genotipos de quinoa (*Chenopodium quinoa*) disminuyó alrededor del 34 % con dosis de 400 mM de NaCl respecto al testigo (Jaramillo-Roman et al., 2020).

NDVI

Las plantas cultivadas en las estructuras utilizadas mostraron diferencias ($p \leq 0,05$), bajo la malla sombra aumentó el índice en 5 % (Tabla 1). Según lo mencionado por Gutiérrez-Soto et al. (2011) valores de 0,7-0,8 son indicadores de plantas en mejores condiciones, el índice NDVI explica que la luz incidente natural es separada de la producida por el instrumento de medición electrónicamente, y se indica en rangos entre -1,0 y 1,0. Leone et al. (2007) mencionaron que, en el cultivo de berenjena, las plantas en mejores condiciones presentaron valores de NDVI de 0,82, es decir, las plantas testigo sin la inducción de estrés. En este estudio, el cultivo bajo malla sombra mostró el mayor valor del NDVI con 0,66, en comparación con el invernadero (Tabla 1). En otro estudio, el cultivo de trigo, el NDVI mostró un comportamiento inverso con respecto a la radiación; es decir, a mayor incidencia de radiación solar menor NDVI, disminuyó de valores entre 0,82-0,84 a 0,68 (Stocker et al., 2019).

La aplicación de dosis de NaCl y la interacción de los dos factores en estudio no afectaron significativamente ($p \leq 0,05$) el NDVI en las plantas (Tabla 1). Zhang et al. (2011) pusieron de manifiesto que el NDVI se considera un indicador confuso del grado de salinidad del suelo, debido a que este índice se relaciona también con la biomasa, el área foliar, la cobertura vegetal, el contenido de nitrógeno y clorofila en las plantas. Sin embargo, Leone et al. (2007) en un estudio de berenjenas regadas con agua salina, el testigo mostró valores mayores en 7 % y 22 % respecto a los tratamientos con 5,72 g y 10,72 g de NaCl, esto indica que la reflectancia espectral medida por el NDVI puede ser un criterio indirecto efectivo para monitorear los cambios de salinidad/sodicidad del suelo, también cuando la vegetación es moderadamente sensible a la salinidad/sodicidad, como en el caso de las berenjenas (Leone et al., 2007).

NO₃⁻ en peciolo

Se encontraron diferencias ($p \leq 0,05$) en las plantas cultivadas bajo las estructuras utilizadas. En invernadero con temperatura e intensidad de luz más alta, fue menor la concentración de NO₃⁻ en el extracto celular del peciolo en 35 % respecto a la malla sombra (Figura 1A). De acuerdo con Fu et al. (2017), en plantas de tomate la intensidad de la luz en el rango de 60 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ a 140 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ disminuyó 40 % el nitrato del tejido foliar, la alta intensidad de luz de 220 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ disminuyó en 31 % la concentración de este ion en las hojas, similar a los resultados en invernadero en este estudio. Las dosis de 30 mM y 45 mM de NaCl aplicadas disminuyeron en 34 % la concentración de NO₃⁻ en peciolo ($p \leq 0,05$) respecto a 0 mM de NaCl (Figura 1B). Estos resultados difieren de los encontrados por Hannachi y Van Labeke (2018) en la variedad de berenjena 'Black Beauty', donde no encontraron diferencias en la concentración de nitratos en hojas con dosis de 20 mM y 40 mM, sin embargo, con dosis de 80 mM y 160 mM de NaCl disminuyeron 42 % y 76 %, respectivamente. La salinidad influye en la captación y transporte de otros iones, un antagonismo podría ocurrir entre Cl⁻ y NO₃⁻, estos efectos pueden estar implicados en la aparición de trastornos nutricionales en los tejidos vegetales y afectar la calidad de los cultivos (Martínez-Ballesta et al., 2010).

En la interacción de los factores de estudio, las dosis altas en malla sombra de 45 mM y en invernadero 30 mM y 45 mM disminuyeron 46 % la concentración de NO₃⁻ en el extracto celular de peciolo ($p \leq 0,05$) respecto al testigo 0 mM aplicado a las plantas en invernadero (Figura 1C). A mayor intensidad de luz 325 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ mostrada bajo el invernadero, las dosis más altas de NaCl aplicadas a las plantas disminuyeron la concentración de NO₃⁻ en el peciolo. Zhang et al. (2020) indicaron que en plantas de tomate bajo dos in-

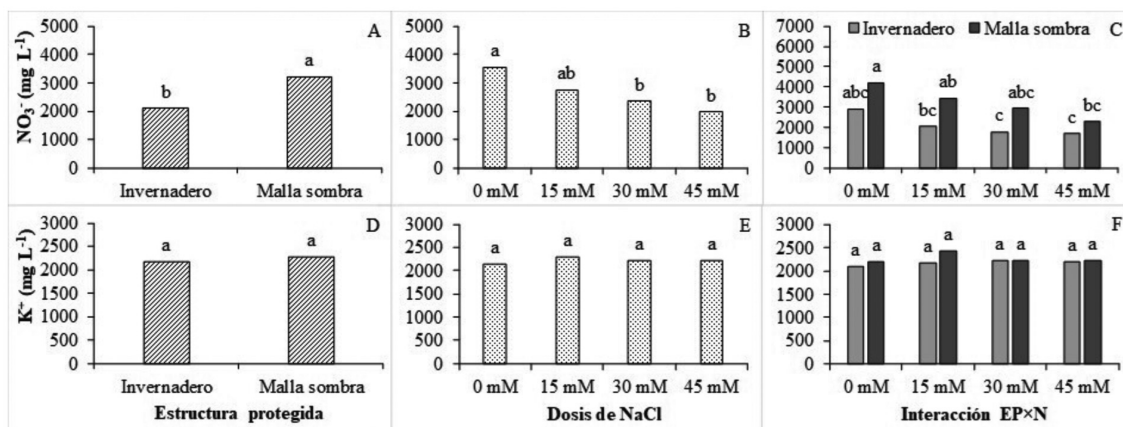


Figura 1. Iones NO_3^- y K^+ en extracto celular de peciolo en plantas de berenjena bajo estructuras protegidas invernadero y malla sombra (A, D), dosis de NaCl (B, E) e interacción estructura protegida y dosis de NaCl (C, F). Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0,05$).

Figure 1. NO_3^- and K^+ ions in petiole cellular extract of eggplant plants under protected structures greenhouse and shade net (A, D), NaCl dose (B, E) and interaction with protected structure and NaCl dose (C, F). Means with the same letters are not statistically different (Tukey, $p \leq 0.05$).

tensidades de luz $200 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ y $650 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, al aplicar el estrés salino mediante 80 mM de NaCl condujo a una reducción del 8 % la concentración de nitrógeno en las hojas respecto a 0 mM en ambas intensidades de luz. En genotipos de quinoa (*Chenopodium quinoa*) las concentraciones de NO_3^- en las hojas disminuyeron 27 % con dosis de 400 mM de NaCl respecto al testigo (Jaramillo-Roman et al., 2020).

K^+ en peciolo

No se observaron diferencias ($p \leq 0,05$) en la concentración de K^+ en las plantas cultivadas bajo las estructuras utilizadas, con la aplicación de dosis de NaCl y en la interacción de los dos factores en estudio (Figuras 1D, 1E y 1F). Brenes et al. (2020) mencionaron que en hojas de berenjena las dosis de 50 mM, 100 mM, 200 mM y 150 mM no modifican las concentraciones de K^+ . De forma similar, en berenjena 'Black Beauty', las dosis de 20 mM,

40 mM y 80 mM no afectaron la concentración foliar de K^+ (Hannachi y Van Labeke, 2018). Aunque este cultivo se considera sensible o moderadamente sensible a la salinidad (Ünlükara et al., 2010), la tolerancia de la berenjena a algunos niveles de salinidad se debe al mantenimiento de los niveles de K^+ con el aumento de Na^+ (Brenes et al., 2020). En condiciones estresantes como la alta salinidad, la capacidad de las plantas para retener una alta concentración de K^+ en el citosol es notable y puede ser esencial para su tolerancia a la sal, aunque puede tener un alto costo metabólico (Jaramillo-Roman et al., 2020). Sin embargo, otros estudios en plantas de berenjena mostraron que la concentración de K^+ disminuye según la dosis, con 50 mM disminuyó en 19 % (Assaha et al., 2013), 100 mM entre 31 % y 40 % (Abbas et al., 2010), 150 mM en 15 % (Shahbaz et al., 2013) y 160 mM en 43 % (Hannachi y Van Labeke, 2018). Zhang et al. (2020) mostraron que la intensidad de luz no influye en la concentración de K^+ pero si la dosis de NaCl,

como en el cultivo de tomate con 80 mM de NaCl con intensidades de $200 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ y $650 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ el K^+ disminuyó en 50 % respecto a 0 mM.

Laohavisit et al. (2013) encontraron que la salida de K^+ de las raíces inducida por NaCl puede ser la consecuencia de una mayor entrada de Na^+ , además puede ser indicativo de una mayor fuerza impulsora para la salida de K^+ dada la pérdida de proteínas como vía de salida del K^+ de la membrana plasmática, y como consecuencia una acumulación de K^+ ; el flujo de salida de K^+ de las raíces está mediado en parte por las especies reactivas de oxígeno que activan el canal de K^+ de la membrana plasmática.

Ca^{2+} en peciolo

No se encontraron diferencias ($p \leq 0,05$) en las plantas cultivadas bajo las estructuras (Figura 2A), a pesar que en invernadero se presentó la mayor temperatura. Sin embargo, en otros estudios llevados a cabo con lechugas cultivadas a diferentes temperaturas, la concentración foliar de calcio disminuyó en un 13 % a 33°C respecto a las plantas cultivadas a 25°C , a temperaturas más bajas se mejora el desarrollo de las raíces y se facilita la absorción y asimilación de nutrientes (Sublett et al., 2018).

Con las dosis 30 mM y 45 mM de NaCl aplicadas, aumentó en 40 % la concentración de Ca^{2+} en peciolo ($p \leq 0,05$) comparado con 0 mM (Figura 2B). En berenjena 'Black Beauty' las dosis de 20 mM, 40 mM y 80 mM no afectaron la concentración foliar de Ca^{2+} (Hannachi y Van Labeke, 2018). En contraste, en cultivares de berenjena con 100 mM disminuyó alrededor de 47 % (Abbas et al., 2010), con 150 mM en 9 % (Shahbaz et al., 2013) y con dosis de 160 mM en 30 % (Hannachi y Van Labeke, 2018). En este sentido, Martínez-Ballesta et al. (2010) mencionaron que la salinidad por NaCl reduce la absorción, transporte y acumulación de Ca^{2+} en las plantas.

El aumento en la concentración de Ca^{2+} podría explicar el efecto no significativo en K^+ (Fig 1E y 1F). Shabala et al. (2006) detectaron que en condiciones salinas el Ca^{2+} evita la pérdida de K^+ del tejido foliar, cuando se aplican 10 mM Ca^{2+} y 50 mM Na^+ juntos a los protoplastos de las raíces, el flujo de salida de K^+ son menores, por lo tanto, el Ca^{2+} puede desactivar la pérdida de K^+ de la raíz. El efecto de mejora del Ca^{2+} y algunos cationes divalentes (Mg^{2+} , Zn^{2+}) sobre la toxicidad del Na^+ puede explicarse por el bloqueo del influjo tóxico de Na^+ a través de los canales catiónicos no selectivos (Demidchik y Tester, 2002).

En la interacción de los factores de estudio, en las plantas bajo malla sombra con dosis de 45 mM aumentó la concentración de calcio en el extracto celular de peciolo en 45 % ($p \leq 0,05$) en comparación con 0 mM y 15 mM en malla sombra y 0 mM en invernadero (Figura 2C). En cultivares de stevia las concentraciones de Ca^{2+} disminuyeron al aumentar las dosis de 50 mM a 300 mM de NaCl (Debnath et al., 2018), en otro estudio, en cultivares de albahaca dosis de 30 mM a 200 mM no afectaron la concentración de Ca^{2+} (Scagel et al., 2019).

Na^+ en peciolo

No se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0,05$) en las plantas cultivadas en las dos estructuras (Figura 2D). Bajo dos intensidades de luz $200 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ y $650 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ la concentración de Na^+ en hojas de tomate tampoco mostraron diferencias (Zhang et al., 2020).

Las dosis de NaCl mostraron diferencias ($p \leq 0,05$), las dosis más altas 30 mM y 45 mM fueron mayores en 78 % respecto a los demás tratamientos (Figura 2 E). En variedades de berenjena, con 40 mM no se encontraron diferencias en la concentración de Na^+ , sin embargo, en 'Black Beauty' al aumentar la dosis a 80 mM y 160 mM se acumuló un 78 %

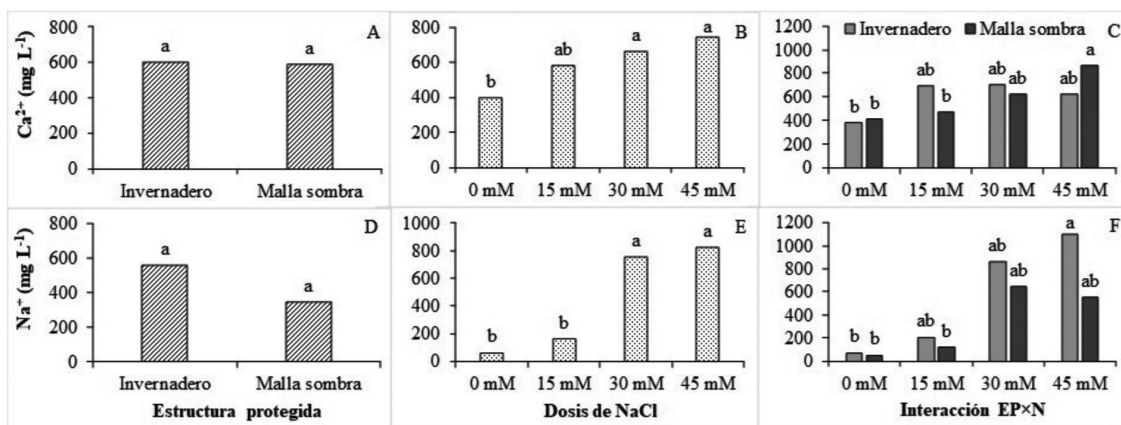


Figura 2. Iones Ca^{2+} y Na^+ en extracto celular de peciolo en plantas de berenjena bajo estructuras protegidas invernadero y malla sombra (A, D), dosis de NaCl (B, E) e interacción estructura protegida y dosis de NaCl (C, F). Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0,05$).

Figure 2. Ca^{2+} and Na^+ ions in petiole cellular extract of eggplant plants under protected structures greenhouse and shade net (A, D), NaCl dose (B, E) and interaction with protected structure and NaCl dose (C, F). Means with the same letters are not statistically different (Tukey, $p \leq 0.05$).

(Hannachi y Van Labeke, 2018). En cultivares de berenjena con 150 mM se acumuló Na^+ entre un 40 % y 50 % (Shahbaz et al., 2013). En especies de berenjena con dosis a partir de 50 mM a 300 mM la concentración de Na^+ en las hojas aumentó desde un 50 % a 88 % (Brenes et al., 2020).

En la interacción de los factores de estudio, en invernadero con la dosis más alta se aumentó la concentración de sodio en peciolo en 89 % ($p \leq 0,05$) en comparación con 0 mM en invernadero, 0 mM y 15 mM en malla sombra (Figura 2F). En diversos cultivos se puede ver respuesta similar en el aumento de Na^+ en hojas con la aplicación de NaCl. En tomate, 98 % y 99 % con 80 mM bajo dos intensidades de luz $200 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ y $650 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ con respecto a 0 mM (Zhang et al., 2020). En cultivares de tomate alrededor de 95 % con 35 mM y 70 mM (Romero-Aranda et al., 2001), en cultivares de berenjena hasta un 93 % con dosis de 50 mM (Assaha et al., 2013) y alrededor de 56 % con 100 mM (Abbas et al., 2010). Cuando el NaCl es abundante en la zona de las

raíces, la corriente de transpiración transporta los iones de Na^+ y Cl^- a las hojas, donde se acumulan y, en ocasiones, alcanzan niveles tóxicos (Scagel et al., 2019). Las plantas mediante adaptaciones fisiológicas y bioquímicas pueden lograr tolerancia al estrés salino, como la síntesis de compuestos orgánicos y la acumulación de iones inorgánicos donde la mayoría acumulan Na^+ y Cl^- en los tejidos, lo que produce toxicidad (Debnath et al., 2018).

Conclusiones

Las condiciones ambientales en la estructura inducen cambios en las plantas de berenjena, la alta temperatura y radiación en invernadero disminuyeron el rendimiento, el área foliar, el índice de vegetación y la concentración de nitrato. En la malla sombra al reducir la temperatura y radiación las plantas mostraron menor estrés, solamente disminuyó la biomasa y en general las variables no se afectaron.

El estrés salino disminuyó el crecimiento de las plantas e influyó en la concentración de iones, con las dosis de NaCl aplicadas a partir de 15 mM disminuyó la biomasa y el área foliar. Con 30 mM y 45 mM disminuyó el rendimiento y la concentración de nitrato y se vio un aumento en la concentración de calcio. Las dosis de NaCl no influyeron en el índice de vegetación, unidades SPAD y concentración de potasio.

Al aplicar NaCl en invernadero aumenta la biomasa, la concentración de calcio y sodio. En la malla sombra no se afectó el rendimiento y aumentó la concentración de nitrato y calcio, por tanto, se reducen los efectos negativos del estrés salino en el crecimiento y rendimiento de berenjena en comparación con el cultivo en invernadero.

Referencias bibliográficas

- Abbas W, Ashraf M, Akram NA (2010). Alleviation of salt-induced adverse effects in eggplant (*Solanum melongena* L.) by glycinebetaine and sugarbeet extracts. *Scientia Horticulturae* 125(3): 188-195. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.04.008>
- Adamczewska-Sowińska K, Krygier M, Turczuk J (2016). The yield of eggplant depending on climate conditions and mulching. *Folia Horticulturae* 28(1): 19-24. <https://doi.org/10.1515/fhort-2016-0003>
- Arif Y, Singh P, Siddiqui H, Bajguz A, Hayat S (2020). Salinity induced physiological and biochemical changes in plants: An omic approach towards salt stress tolerance. *Plant Physiology and Biochemistry* 156: 64-77. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.08.042>
- Assaha DV, Ueda A, Saneoka H (2013). Comparison of growth and mineral accumulation of two solanaceous species, *Solanum scabrum* Mill. (huckleberry) and *S. melongena* L. (eggplant), under salinity stress. *Soil Science and Plant Nutrition* 59(6): 912-920. <https://doi.org/10.1080/00380768.2013.858300>
- Azcón-Bieto J, Fleck I, Aranda X, Gómez-Casnovas N (2008). Fotosíntesis, Factores ambientales y Cambio climático. En: *Fundamentos de Fisiología Vegetal* (Ed. Azcón-Bieto JT, Talon MM), pp. 247-264. Editorial McGraw-Hill Interamericana, Madrid, España
- Bacha H, Tekaya M, Drine S, Guasmi F, Touil L, Enneb H, Triki T, Cheour F, Ferchichi A (2017). Impact of salt stress on morpho-physiological and biochemical parameters of *Solanum lycopersicum* cv. *Microtom* leaves. *South African Journal of Botany* 108: 364-369. <http://dx.doi.org/10.1016/j.sajb.2016.08.018>
- Brenes M, Solana A, Boscaiu M, Fita A, Vicente O, Calatayud A, Prohens J, Plazas M (2020). Physiological and biochemical responses to salt stress in cultivated eggplant (*Solanum melongena* L.) and in *S. insanum* L., a close wild relative. *Agronomy* 10(5): 651. <https://doi.org/10.3390/agronomy10050651>
- Debnath M, Ashwath N, Hill CB, Callahan DL, Dias DA, Jayasinghe NS, Midmore DJ, Roessner U (2018). Comparative metabolic and ionic profiling of two cultivars of *Stevia rebaudiana* Bert. (Bertoni) grown under salinity stress. *Plant Physiology and Biochemistry* 129: 56-70. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.05.001>
- Demidchik V, Tester M (2002). Sodium fluxes through nonselective cation channels in the plasma membrane of protoplasts from Arabidopsis roots. *Plant Physiology* 128(2): 379-387. <https://doi.org/10.1104/pp.010524>
- Fu Y, Li H, Yu J, Liu H, Cao Z, Manukovsky NS, Liu H (2017). Interaction effects of light intensity and nitrogen concentration on growth, photosynthetic characteristics and quality of lettuce (*Lactuca sativa* L. Var. youmaicai). *Scientia Horticulturae* 214: 51-57. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2016.11.020>
- Gutiérrez-Soto MV, Cadet-Piedra E, Rodríguez-Montero W, Araya-Alfaro JM (2011). El Green-Seeker™ y el diagnóstico del estado de salud de los cultivos. *Agronomía Mesoamericana* 22(2): 397-403.
- Gürbüz N, Uluişik S, Frary A, Frary A, Doğanlar S (2018). Health benefits and bioactive compounds of eggplant. *Food Chemistry* 268: 602-610. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.06.093>

- Hannachi S, Van Labeke MC (2018). Salt stress affects germination, seedling growth and physiological responses differentially in eggplant cultivars (*Solanum melongena* L.). *Scientia Horticulturae* 228: 56-65. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2017.10.002>
- Hatamnia AA, Abbaspour N, Darvishzadeh R, Rahmani F, Heidari R (2013). Effect of salt stress on growth, ion content and photosynthesis of two oriental tobacco (*Nicotiana tabacum*) cultivars. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences* 6: 757-761.
- Ilić ZS, Fallik E (2017). Light quality manipulation improves vegetable quality at harvest and postharvest: A review. *Environmental and Experimental Botany* 139: 79-90. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envexpbot.2017.04.006>
- Jaramillo-Roman V, den Toom LA, Castro Gamiz C, van der Pijl N, Visser RG, van Loo EN, van der Linden CG (2020). Differential responses to salt stress in ion dynamics, growth and seed yield of European quinoa varieties. *Environmental and Experimental Botany* 177: 104146. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2020.104146>
- Kang JH, KrishnaKumar S, Atulba SLS, Jeong BR, Hwang SJ (2013). Light intensity and photoperiod influence the growth and development of hydroponically grown leaf lettuce in a closed-type plant factory system. *Horticulture, Environment, and Biotechnology* 54(6): 501-509. <https://doi.org/10.1007/s13580-013-0109-8>
- Kyriacou MC, Rouphael Y, Di Gioia F, Kyratzis A, Serio F, Renna M, De Pascale M, Santamaria P (2016). Micro-scale vegetable production and the rise of microgreens. *Trends in Food Science & Technology* 57: 103-115. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2016.09.005>
- Laohavisit A, Richards SL, Shabala L, Chen C, Colaço RD, Swarbreck SM, Shaw E, Dark A, Shabala S, Shang Z, Davies JM (2013). Salinity-induced calcium signaling and root adaptation in Arabidopsis require the calcium regulatory protein annexin1. *Plant Physiology* 163(1): 253-262. <https://doi.org/10.1104/pp.113.217810>
- Lara-Izaguirre AY, Rojas-Velázquez AN, Alia-Tejaca I, Alcalá-Jáuregui JA (2022). Sodium chloride on bioactive compounds of eggplant (*Solanum melongena* L.) grown in hydroponics under two protected structures. *Agrociencia* 56(2): 207-232. <https://doi.org/10.47163/agrociencia.v56i2.2732>
- Leone AP, Menenti M, Buondonno A, Letizia A, Maffei C, Sorrentino G (2007). A field experiment on spectrometry of crop response to soil salinity. *Agricultural Water Management* 89(1-2): 39-48. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2006.12.004>
- Martínez-Ballesta MC, Dominguez-Perles R, Moreno DA, Muries B, Alcaraz-López C, Bastías E, García-Viguera C, Carvajal M (2010). Minerals in plant food: effect of agricultural practices and role in human health. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 30(2): 295-309. <https://doi.org/10.1051/agro/2009022>
- Munns R, Tester M (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology* 59: 651-681. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911>
- Oh MM, Carey EE, Rajashekar CB (2009). Environmental stresses induce health-promoting phytochemicals in lettuce. *Plant Physiology and Biochemistry* 47: 578-583. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2009.02.008>
- Priyadarshini N, Shishira T, Singh K, Dsouza M (2016). Biochemical response of *Solanum Melongena* to salinity stress in relation to stress factors. *Journal of Chemical, Biological and Physical Sciences* 6: 756-766.
- Romero-Aranda R, Soria T, Cuartero J (2001). Tomato plant-water uptake and plant-water relationships under saline growth conditions. *Plant Science* 160(2): 265-272. [https://doi.org/10.1016/s0168-9452\(00\)00388-5](https://doi.org/10.1016/s0168-9452(00)00388-5)
- Rouphael Y, Kyriacou MC, Petropoulos SA, De Pascale S, Colla G (2018). Improving vegetable quality in controlled environments. *Scientia Horticulturae* 234: 275-289. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.02.033>
- Rubio JS, García-Sánchez F, Rubio F, Martínez V (2009). Yield, blossom-end rot incidence, and fruit quality in pepper plants under moderate salinity are affected by K⁺ and Ca²⁺ fertilization. *Scientia Horticulturae* 119(2): 79-87. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2008.07.009>

- Savvas D, Lenz F (2000). Effects of NaCl or nutrient-induced salinity on growth, yield, and composition of eggplants grown in rockwool. *Scientia Horticulturae* 84: 37-47. [https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(99\)00117-X](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(99)00117-X)
- Shabala S, Demidchik V, Shabala L, Cuin TA, Smith SJ, Miller AJ, Davies JM, Newman IA (2006). Extracellular Ca²⁺ ameliorates NaCl-induced K⁺ loss from Arabidopsis root and leaf cells by controlling plasma membrane K⁺-permeable channels. *Plant Physiology* 141(4): 1653-1665. <https://doi.org/10.1104/pp.106.082388>
- Shahak Y (2008). Photo-selective netting for improved performance of horticultural crops. A review of ornamental and vegetable studies carried out in Israel. *Acta Horticulturae* 770: 161-168. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2008.770.18>
- Stocker V, de Souza EG, Johann JA, Beneduzzi HM, Silva FO (2019). Effect of height, tilt and twist angles of an active reflectance sensor on NDVI measurements. *Engenharia Agrícola* 39(SPE): 96-108. <https://doi.org/10.1590/1809-4430-eng.agric.v39nep96-108/2019>
- Scagel CF, Lee J, Mitchell JN (2019). Salinity from NaCl changes the nutrient and polyphenolic composition of basil leaves. *Industrial Crops and Products* 127: 119-128. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.10.048>
- Shahbaz M, Mushtaq Z, Andaz F, Masood A (2013). Does proline application ameliorate adverse effects of salt stress on growth, ions and photosynthetic ability of eggplant (*Solanum melongena* L.)? *Scientia Horticulturae* 164: 507-511. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2013.10.001>
- Steiner AA (1984). The Universal Nutrient Solution. Proceedings of Sixth International Congress on Soilless Culture, 29 abril-5 mayo, Lunteren, Wageningen, Netherlands. pp. 633-650.
- Sublett WL, Barickman TC, Sams CE (2018). Effects of elevated temperature and potassium on biomass and quality of dark red 'Lollo Rosso' lettuce. *Horticulturae* 4(2): 11. <https://doi.org/10.3390/horticulturae4020011>
- Uzun S (2007). Effect of light and temperature on the phenology and maturation of the fruit of eggplant (*Solanum melongena*) grown in greenhouses. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science* 35(1): 51-59. <https://doi.org/10.1080/01140670709510167>
- Ünlükara A, Kurunç A, Kesmez GD, Yurtseven E, Suarez DL (2010). Effects of salinity on eggplant (*Solanum melongena* L.) growth and evapotranspiration. *Irrigation and Drainage* 59(2): 203-214. <https://doi.org/10.1002/ird.453>
- Vázquez-Hernández MC, Parola-Contreras I, Montoya-Gómez LM, Torres-Pacheco I, Schwarz D, Guevara-González RG (2019). Eustressors: Chemical and physical stress factors used to enhance vegetables production. *Scientia Horticulturae* 250: 223-229. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.02.053>
- Zhang TT, Zeng SL, Gao Y, Ouyang ZT, Li B, Fang CM, Zhao B (2011). Using hyperspectral vegetation indices as a proxy to monitor soil salinity. *Ecological Indicators* 11(6): 1552-1562. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.03.025>
- Zhang Y, Kaiser E, Marcelis LF, Yang Q, Li T (2020). Salt stress and fluctuating light have separate effects on photosynthetic acclimation, but interactively affect biomass. *Plant, Cell & Environment* 43(9): 2192-2206. <https://doi.org/10.1111/pce.13810>

(Aceptado para publicación el 16 de marzo de 2023)

Correlaciones genéticas entre caracteres morfológicos y caracteres reproductivos, de crecimiento y calidad de la canal en la raza bovina Pirenaica

David López-Carbonell, Juan Altarriba, Marco Aurelio Ramírez, Houssemeddine Srihi y Luis Varona*

Unidad de Genética Cuantitativa y Mejora Animal. Instituto Agroalimentario de Aragón (IA2). Universidad de Zaragoza. Avd. Miguel Servet 177. 50013, Zaragoza (España)

Resumen

La mejora genética en vacuno de carne se plantea generalmente a partir de los registros productivos de los animales, obtenidos tanto *in vivo* como en la canal. El desarrollo de una valoración morfológica lineal ofrece la posibilidad de una potencial fuente de información fenotípica en un gran número de animales a edades tempranas. Si estos caracteres muestran una elevada correlación genética con los caracteres incluidos en el objetivo de selección pueden ser utilizados para constituir criterios de selección que permitan una selección indirecta eficaz. Con el fin de evaluar esta posibilidad, se han utilizado los registros fenotípicos de los caracteres incluidos en la hoja de calificación morfológica de la Raza Pirenaica en hasta 16.350 animales. Los caracteres registrados incluyen 6 caracteres relacionados con el desarrollo muscular y su promedio, 6 caracteres relacionados con el desarrollo esquelético y su promedio, 8 caracteres asociados con la aptitud funcional y su promedio, 6 caracteres relacionados con la caracterización racial y su promedio. Adicionalmente, en esta hoja también aparece una valoración morfológica global, además de la condición corporal, el grosor de las cañas, la docilidad, la forma de las pezuñas, la profundidad de la ubre y el grosor y longitud de los pezones. Todos estos caracteres se han analizado mediante modelos bicarácter junto con los caracteres productivos (peso de la canal fría, conformación de la canal y engrasamiento de la canal) y reproductivos (edad al primer parto, intervalo entre partos y supervivencia al cuarto parto) disponibles en la base de datos de CONASPI (Confederación Nacional de Asociaciones de Ganado Pirenaico). Para ello, se ha utilizado la información procedente del libro genealógico de la raza consistente en 343.753 entradas individuo-padre-madre. Los resultados obtenidos confirman la existencia de heredabilidades medias en la mayoría de los caracteres morfológicos. A su vez, destacan las correlaciones genéticas existentes entre los caracteres morfológicos relacionados con el desarrollo esquelético y muscular y los caracteres de la canal. Entre los resultados obtenidos, algunas medias posteriores de la correlación genética alcanzaron valores superiores a 0,30; como entre la redondez de la nalga y la conformación de la canal (0,365) y entre el subtotal de desarrollo esquelético y el peso de canal (0,357). Además, se ha mostrado que la docilidad no se encuentra correlacionada genéticamente de manera importante con ninguno de los caracteres utilizados como criterio de selección.

Palabras clave: Vacuno de carne, correlaciones genéticas, heredabilidad, caracteres morfológicos.

* Autor para correspondencia: lvarona@unizar.es

Cita del artículo: López-Carbonell D, Altarriba J, Ramírez MA, Srihi H, Varona L (2023). Correlaciones genéticas entre caracteres morfológicos y caracteres reproductivos, de crecimiento y calidad de la canal en la raza bovina Pirenaica. ITEA-Información Técnica Económica Agraria 119(3): 225-243. <https://doi.org/10.12706/itea.2023.002>

Genetic correlations between morphological and reproductive, growth and carcass quality traits in the Pirenaica beef cattle breed

Abstract

Genetic improvement in beef cattle is mainly based on the production records of the animals, obtained both *in vivo* and in the carcass. The development of a linear morphological evaluation offers the possibility of a potential source of phenotypic information in a large number of animals at early ages. If these characters show a high genetic correlation with the characters included in the selection objective, they can be used to create new selection criteria that allow an efficient indirect selection. To evaluate this possibility, phenotypic records from linear morphological evaluation of Pirenaica cattle breed have been used. It evaluates up to 16,350 animals per trait. Recorded traits included 6 traits related with muscular development and their average, 6 traits related with skeletal development and their average, 8 traits related with functional ability and their average, 6 traits related with breed morphology and their average. Additionally, this evaluation also tackles a global morphological evaluation, condition score, leg bone thickness, docility, hoof shape, udder depth and nipple length and thickness. All these traits have been analyzed using bivariate models that also included productive (Cold Carcass Weight, Carcass Conformation and Carcass Fatness) and reproductive (Age at First Calving, Calving Interval and Survival to Fourth Calving) characters, available at CONASPI (National Confederation of Pirenaica Breeders Associations) database. To do so, the pedigree information used contains 343,753 Individual-Sire-Dam records. The results obtained confirm the existence of moderate heritabilities in most of the traits. Moreover, genetic correlations between morphological characters related to skeletal and muscular development and carcass traits are highlighted. Among them, some posterior mean estimates were over 0.30, such as between round convexity and conformation (0.365) and between the subtotal for skeletal development and carcass weight (0.357). Furthermore, docility has been shown to not be highly genetically correlated with any of the characters used as selection criteria.

Keywords: Beef Cattle, genetic correlations, heritabilities, morphological traits.

Introducción

Los criterios de selección utilizados en los programas de mejora genética de las razas bovinas de vacuno de carne utilizan habitualmente caracteres productivos y reproductivos (Phocas *et al.*, 1998; Amer *et al.*, 2001; Altarriba *et al.*, 2009). Desafortunadamente, gran parte de estos caracteres no pueden ser registrados en los candidatos a la selección, ya que se expresan en fases avanzadas de la vida del animal o después del sacrificio. Especialmente en el caso de los caracteres reproductivos, que solamente se expresan en una parte de la población, las hembras reproductoras y su recogida puede resultar problemática, en algunos sistemas productivos. Por este motivo, la disponibilidad de caracteres que se puedan medir en los animales jóvenes y que tengan una correlación

genética alta con los caracteres de interés puede permitir incrementar la precisión de la valoración genética de los candidatos a la selección y, de esta manera, contribuir al incremento de la respuesta a selección.

Los caracteres morfológicos han jugado un papel muy relevante en los procesos históricos de selección de las razas ganaderas. La formación de estas razas se realizó a partir de selección y apareamiento entre semejantes, es decir, individuos con parecido morfológico, con el objetivo de fijar los caracteres de interés (Feliús *et al.*, 2014). Sin embargo, el grado de subjetividad implícito en la valoración morfológica de los animales (Goyache *et al.*, 2001) ha implicado que, actualmente, apenas sean utilizados en los criterios de selección de las poblaciones de vacuno de carne en España.

Los procedimientos de valoración morfológica lineal (Short y Lawlor, 1992; Doyle et al., 2018) atribuyen una puntuación más objetiva de las características morfológicas de cada animal y una proporcionalidad (linealidad) entre la escala observada y la escala valorada, facilitando su posible introducción en los índices compuestos de selección. Sin embargo, es imprescindible conocer las correlaciones genéticas entre las valoraciones morfológicas y los caracteres de interés económico directo para valorar su utilidad práctica. Por este motivo, el objetivo de este trabajo es estimar las heredabilidades de los caracteres incluidos en la valoración morfológica lineal de la raza bovina Pirenaica y sus correlaciones genéticas con caracteres productivos (Peso de la Canal fría, Conformación y Engrasamiento de la Canal) que forman parte de los criterios de selección del plan de mejora genética de la raza (MAPA, 2020) y reproductivos (Edad al Primer Parto, Intervalo entre Partos y Supervivencia al Cuarto Parto).

Material y métodos

El material utilizado en el desarrollo de este trabajo ha sido proporcionado por CONASPI (Confederación Nacional de Asociaciones de Ganado Bovino Pirenaico) y ha consistido en una genealogía de 343.753 entradas individuo-padre-madre, la información fenotípica de los caracteres de interés económico (Edad al Primer Parto –EPP–; Intervalo entre Partos –INT–; Supervivencia al Cuarto Parto –SUP–; Peso de la Canal Fría –PCF–; Conformación de la Canal –CON– y Engrasamiento de la Canal –ENG–) y la información procedente de los caracteres incluidos en la hoja de valoración morfológica de la raza. Los caracteres proporcionados por la valoración morfológica incluyen caracteres asociados con: 1) Desarrollo muscular (Anchura de la Cruz –ANC-CRUZ–; Anchura del Dorso –ANCDOR–; Espe-

sor del Lomo –ESPLOM–; Redondez de la Nalga –REDNAL–; Anchura de la Nalga –ANC-NAL– y Longitud de la Nalga –LONNAL–). 2) Desarrollo esquelético (Altura a la Cruz –ALT-CRUZ–; Longitud del Dorso –LONDOR–; Longitud de la Pelvis –LONPEL–; Anchura Interiliaca –ANCILI–; Anchura Intertrocantérica –ANCTRO– y Anchura Interisquiática –ANCISQ–). 3) Aptitud funcional (Anchura del Hocico –ANCHOC–; Vista Delantera de los Aplomos Delanteros –VDAD–; Vista Lateral de los Aplomos Delanteros –VLAD–; Vista Trasera de los Aplomos Traseros –VTAT–; Vista Lateral de los Aplomos Traseros –VLAT–; Profundidad de Pecho –PROPEC–; Rectitud del Dorso –REC-DOR– e Inclinación de la Pelvis –INCPPEL–). 4) Caracteres raciales (Color de la Capa –CAP–; Color de las Mucosas –MUC–; Morfología de la Cabeza –CAB–; Morfología de los Cuernos –CUE–; Armonía –ARM– y Color de Cuernos y Pezuñas –COLCP–). 5) Otros caracteres (Condición corporal –COND–; Grosor de las Cañas –GRO–; Docilidad (comportamiento) –DOC–; Forma de las Pezuñas –PEZ–; Profundidad de la Ubre –PROUBR–; Grosor de los Pezones –GRO-PEZ– y Longitud de los Pezones –LONPEZ–). Todos estos caracteres han sido agrupados en cinco categorías (Desarrollo Muscular, Desarrollo Esquelético, Aptitudes Funcionales, Caracteres Raciales y Otros Caracteres). Los promedios de los caracteres que integran las cuatro primeras categorías (Subtotal Desarrollo Muscular –MUSC–; Subtotal Desarrollo Esquelético –ESQ–; Subtotal Aptitudes Funcionales –FUNC– y Subtotal Caracteres Raciales –RAC–), escalados de 1 a 100, y un promedio ponderado de todos ellos en función del sexo (Puntuación Final –TOT–) son también incluidos como caracteres adicionales en la hoja de calificación. Las ponderaciones utilizadas en TOT fueron $0,35 \times MUSC + 0,25 \times ESQ + 0,25 \times FUNC + 0,15 \times RAC$ para machos y $0,25 \times MUSC + 0,30 \times ESQ + 0,30 \times FUNC + 0,15 \times RAC$. Una descripción más detallada de los caracteres puede encontrarse en un artículo preliminar (Payás et al., 2021), en el que

se incluyeron adicionalmente dos caracteres registrados exclusivamente en machos (Prepucio y Descenso Testicular). Estos caracteres no se han incluido en este estudio a la espera de poseer un mayor número de registros para obtener estimaciones más fiables.

La Edad al Primer Parto, el Intervalo entre Partos y el Peso de la Canal Fría se expresaron en días, los dos primeros, y en kg, el tercero. La Supervivencia al Cuarto Parto se trata de un carácter categórico con dos categorías (sobrevive al cuarto parto o no). La Conformación de la Canal y el Engrasamiento de la Canal se obtuvieron del Sistema Integral de Trazabilidad Animal (SITRAN) y midieron en las escalas de valoración SEUROP (DOUE, 2013), que fueron

transformadas en 18 y 15 categorías (Altarriba et al., 2009), respectivamente. Finalmente, los caracteres de valoración morfológica se midieron en una escala de 1 a 9, y los subtotales para cada grupo de caracteres y la Puntuación Final se expresaron en una escala de 1 a 100. La cantidad de datos disponibles, así como su media, desviación típica y coeficiente de variación se presentan en la Tabla 1.

Los datos se han analizado mediante el desarrollo de modelos animales bicarácter. Los modelos que incluyeron a los caracteres morfológicos junto a Edad al Primer Parto, Peso de la Canal Fría, Conformación de la Canal y Engrasamiento de la Canal se analizaron mediante el siguiente modelo:

$$\begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_1 & 0 \\ 0 & X_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} W_1 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} p_1 \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} Z_1 & 0 \\ 0 & Z_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u_1 \\ u_2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} e_1 \\ e_2 \end{pmatrix}$$

Donde y_1 es el vector del carácter de rendimiento productivo o reproductivo (Edad al Primer Parto, Peso de la Canal Fría, Conformación de la Canal, Engrasamiento de la Canal) e y_2 es el vector del carácter morfológico, b_1 es el vector de efectos sistemáticos para el carácter económico, b_2 es el vector de efectos sistemáticos para los caracteres morfológicos, p_1 es el vector de efectos aleatorios asociados con el rebaño año-estación en el carácter eco-

nómico, y u_1 y u_2 son los efectos genéticos para el carácter económico y morfológico, respectivamente. Finalmente, e_1 y e_2 son los vectores de residuos y X_1, X_2, W_1, Z_1, Z_2 son las correspondientes matrices de incidencia.

Los modelos utilizados para los análisis bivariantes del carácter Intervalo entre Partos (y_1) incluyeron un efecto aleatorio adicional asociado (v_1) con el efecto permanente de la vaca. Por lo tanto, el modelo de análisis fue:

$$\begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_1 & 0 \\ 0 & X_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} W_1 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} p_1 \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} Z_1 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v_1 \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} Z_1 & 0 \\ 0 & Z_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u_1 \\ u_2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} e_1 \\ e_2 \end{pmatrix}$$

Finalmente, para el carácter Supervivencia al Cuarto Parto se ha utilizado el siguiente modelo bivalente umbral-continuo mediante

una transformación probit (Gianola, 1982; Sorensen et al., 1995):

$$\begin{pmatrix} I_1 \\ y_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_1 & 0 \\ 0 & X_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} W_1 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} p_1 \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} Z_1 & 0 \\ 0 & Z_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u_1 \\ u_2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} e_1 \\ e_2 \end{pmatrix}$$

Donde I_1 es el vector de observaciones en una variable subyacente normal que se relaciona con el vector de datos (y_1). Los efectos siste-

máticos y los niveles incluidos para todos los caracteres analizados se presentan en la Tabla 2.

Tabla 1a. Número de datos (N), media, desviación típica (Dt) y coeficiente de variación (CV: relación entre la media y la variación del carácter) de los caracteres analizados (de interés económico y proporcionados por la calificación morfológica).
 Table 1a. Number of records (N), mean (Media), standard deviation (Dt) and variation coefficient (CV: trait mean and variance ratio) of analyzed traits (economical interest and linear morphological evaluation).

Grupo	Carácter	N	Media	Dt	CV
Reproductivo	Edad al Primer Parto (EPP; días)	54.061	1094,24	214,35	19,58
	Intervalo entre Partos (INT; días)	202.439	404,54	72,36	17,88
	Supervivencia al Cuarto Parto (SUP; categórico: sí / no) ¹	66.181	56%		
Productivos	Peso de la Canal Fría (PCF; kg)	102.149	300,62	59,06	19,64
	Conformación de la Canal (CON; escala SEUROP (1 a 18))	97.216	10,82	1,39	12,90
	Engrasamiento de la Canal (ENG; escala SEUROP (1 a 15))	97.447	5,33	1,27	23,94
	Anchura de la Cruz (ANCCRUZ; 1 a 9)	16.338	6,30	0,99	15,77
	Anchura del Dorso (ANCDOR; 1 a 9)	16.338	5,81	1,07	18,43
Desarrollo Muscular	Espesor del Lomo (ESPLOM; 1 a 9)	16.335	5,95	1,04	17,43
	Redondez de la Nalga (REDNAL; 1 a 9)	16.335	6,31	1,05	16,71
	Anchura de la Nalga (ANCNAL; 1 a 9)	16.336	6,50	1,07	16,41
	Longitud de la Nalga (LONNAL; 1 a 9)	16.335	6,53	1,11	16,94
	Subtotal Desarrollo Muscular (MUSC; 1 a 100)	16.279	61,90	8,72	14,09
	Altura de la Cruz (ALTCRUZ; 1 a 9)	16.329	6,37	0,92	14,37
	Longitud del Dorso (LONDOR; 1 a 9)	16.324	6,52	1,14	17,54
Desarrollo Esquelético	Longitud de la Pelvis (LONPEL; 1 a 9)	16.313	6,45	1,03	16,04
	Anchura Interiliaca (ANCLII; 1 a 9)	16.275	6,58	1,07	16,29
	Anchura Intertrocantérica (ANCTRO; 1 a 9)	16.273	6,28	0,98	15,55
	Anchura Interisquiática (ANCISQ; 1 a 9)	16.275	6,06	0,94	15,49
	Subtotal Desarrollo Esquelético (ESQ; 1 a 100)	16.280	63,80	8,85	13,87

¹ El carácter SUP es categórico, por lo tanto, se expresa en forma de porcentaje.

Tabla 1b. Número de datos (N), media, desviación típica (Dt) y coeficiente de variación (CV: relación entre la media y la variación del carácter) de los caracteres analizados (de interés económico y proporcionados por la calificación morfológica) (continuación).
 Table 1b. Number of records (N), mean (Media), standard deviation (Dt) and variation coefficient (CV: trait mean and variance ratio) of analyzed traits (economical interest and linear morphological evaluation) (continuation).

Grupo	Carácter	N	Media	Dt	CV	
Aptitudes Funcionales	Anchura del Hocico (ANCHOC; 1 a 9)	16.297	6,78	1,09	16,12	
	Vista Delantera de los Aplomos Delanteros (VDAD; 1 a 9)	16.278	4,70	0,71	15,00	
	Vista Lateral de los Aplomos Delanteros (VLAD; 1 a 9)	16.276	4,95	0,56	11,39	
	Vista Trasera de los Aplomos Traseros (VTAT; 1 a 9)	16.266	4,79	0,69	14,40	
	Vista Lateral de los Aplomos Traseros (VLAT; 1 a 9)	16.263	4,96	0,73	14,72	
	Profundidad de Pecho (PROPEC; 1 a 9)	16.312	6,70	1,09	16,23	
	Rectitud del Dorso (RECDOR; 1 a 9)	16.320	6,93	1,33	19,17	
	Inclinación de la Pelvis (INCPVL; 1 a 9)	16.304	6,94	1,36	19,64	
	Subtotal Aptitudes Funcionales (FUNC; 1 a 100)	16.279	75,67	6,27	8,28	
	Caracteres Raciales	Color de la Capa (CAP; 1 a 9)	16.322	6,82	1,33	19,58
Color de las Mucosas (MUC; 1 a 9)		16.310	6,93	1,35	19,50	
Morfología de la Cabeza (CAB; 1 a 9)		16.259	6,69	1,17	17,48	
Morfología de los Cuernos (CUE; 1 a 9)		11.438	6,24	1,43	22,88	
Armonía (ARM; 1 a 9)		16.194	6,55	1,05	15,97	
Color de Cuernos y Pezuñas (COLCP; 1 a 9)		15.976	6,92	1,49	21,49	
Subtotal Caracteres Raciales (RAC; 1 a 100)		16.280	66,82	10,05	15,05	
Otros		Condición Corporal (COND; 1 a 9)	16.212	5,91	1,12	18,90
		Grosor de las Cañas (GRO; 1 a 9)	16.275	4,69	1,41	30,13
		Docilidad (DOC; 1 a 9)	12.109	6,12	1,54	25,14
	Forma de las Pezuñas; (PEZ 1 a 9)	15.980	7,08	2,07	29,22	
	Profundidad de la Ubre (PROUBR; 1 a 9)	13.485	4,02	1,65	41,01	
	Grosor de los Pezones (GROPEZ; 1 a 9)	13.487	3,68	1,69	45,99	
	Longitud de los Pezones (LONPEZ; 1 a 9)	13.485	3,99	1,54	38,62	
Total Calificación Morfológica	Puntuación Final (TOT; 1 a 100)	16.346	67,32	7,08	10,52	

¹ El carácter SUP es categórico, por lo tanto, se expresa en forma de porcentaje.

Tabla 2. Efectos ambientales incluidos en el modelo de evaluación por carácter y número de niveles de cada uno.
 Table 2. Environmental effects included in the evaluation model for each trait and number of levels.

Grupo	Carácter	Media	Edad (Días)	Sexo	Matadero	Edad (años)	Controlador/ Explotación/ Fecha de control	Rebaño/ Año/ Estación	Permanente Vaca
Reproductivo	Edad al Primer Parto (EPP; días)	1	-	-	-	-	-	29.485	-
	Intervalo entre Partos (INT; días)	-	-	-	-	23	-	49.283	52.379
	Supervivencia al Cuarto Parto (SUP; categórico: si / no)	1	-	-	-	-	-	19.355	-
Productivo	Peso de la Canal Fría (PCF; kg)	-	1	2	31	-	-	19.003	-
	Conformación de la Canal (CON; escala SEUROP)	-	1	2	30	-	-	17.894	-
	Engrasamiento de la Canal (ENG; escala SEUROP)	-	1	2	30	-	-	17.993	-
Caracteres recogidos en la Hoja de Calificación Morfológica de la raza Pirenaica ¹									
		-	-	2 ⁽¹⁾	-	9	29	696	-

⁽¹⁾ En el caso de los caracteres Profundidad de la ubre, Grosor de los Pezones y Longitud de los Pezones el efecto sexo no fue incluido.

El análisis de los modelos se ha realizado mediante un análisis bayesiano implementado a través del muestreo de Gibbs (Gelfand y Smith, 1990), con un paso de aumento de datos (Taner y Wong, 1987) en el caso del carácter Supervivencia al Cuarto Parto. Para el análisis se utilizó el software TM (Legarra et al., 2011) con una única cadena de 300.000 iteraciones y se descartaron las primeras 50.000.

Resultados y discusión

Los resultados de la estimación de los componentes de varianza y la heredabilidad de los caracteres de interés económico se presentan en la Tabla 3.

Las medias posteriores de la heredabilidad oscilaron entre 0,110 para el carácter Intervalo entre Partos y 0,531 para Conformación de la Canal. Los resultados para los caracteres de peso y calidad de la canal se encuentran dentro del rango de los valores obtenidos en otros estudios en poblaciones de vacuno de carne (Utrera y Van Vleck, 2004; Hickey et al., 2007), o en la misma población (Altarriba et al., 2009). Las heredabilidades estimadas para los caracteres reproductivos Edad al Primer Parto e Intervalo entre Partos fueron más bajas, aunque en el rango alto de los resultados obtenidos en otros estudios (Cammack et al., 2009; Berry et al., 2014). Finalmente, la estimación de la heredabilidad de Supervivencia al Cuarto Parto fue de 0,242; similar a los resultados obtenidos por Martínez et al. (2005) en la raza Hereford y por Jamrozik et al. (2013) en la raza Simmental, y ligeramente superior al obtenido por Boldt et al. (2018) en Red Angus.

En la Tabla 4 se presentan los resultados de las medias y desviaciones típicas posteriores de los componentes de varianza, heredabilidades y correlaciones genéticas entre los caracteres de interés económico y los caracteres de desarrollo muscular.

Tabla 3. Medias y desviaciones típicas posteriores (entre paréntesis) de la varianza aditiva (σ_a^2), varianza asociada al rebaño año estación (σ_p^2), varianza permanente de la vaca (σ_v^2), varianza residual (σ_e^2) y heredabilidad (h^2) de los caracteres de interés económico.

Table 3. Posterior means and standard deviation (inside the brackets) of additive variance (σ_a^2), herd-year-season variance (σ_p^2), permanent cow variance (σ_v^2), residual variance (σ_e^2) and heritability (h^2) of economic interest traits.

Carácter	σ_a^2	σ_p^2	σ_v^2	σ_e^2	h^2
EPP	19.474,08 (681,63)	31.295,41 (603,34)	–	36.623,01 (524,64)	0,223 (0,007)
INT	584,62 (20,81)	1.207,61 (19,60)	161,76 (13,89)	3.371,48 (13,84)	0,110 (0,004)
SUP	0,380 (0,016)	0,194 (0,010)	–	1,000	0,242 (0,008)
PCF	919,73 (24,88)	246,62 (6,90)	–	674,66 (15,66)	0,500 (0,011)
CON	0,901 (0,021)	0,267 (0,007)	–	0,530 (0,013)	0,531 (0,010)
ENG	0,450 (0,016)	0,382 (0,008)	–	0,591 (0,011)	0,316 (0,010)

EPP: Edad al Primer Parto; INT: Intervalo entre Partos; SUP: Supervivencia al Cuarto Parto; PCF: Peso de la Canal Fría; CON: Conformación de la Canal; ENG: Engrasamiento de la Canal.

Las medias posteriores de las heredabilidades de los caracteres de desarrollo muscular oscilaron entre 0,140 de Espesor del Lomo y 0,268 de Redondez de la Nalga y fueron similares a las obtenidas por otros autores en poblaciones diferentes de vacuno de carne (Forabosco et al., 2005; Mazza et al., 2014; Doyle et al., 2018). Los resultados de la estimación de la correlación genética con los caracteres de interés económico confirmaron que los caracteres morfológicos asociados al desarrollo muscular están correlacionados positivamente con Peso de la Canal Fría y Conformación de la Canal, y de manera negativa con Engrasamiento de la Canal, aunque las medias posteriores de las correlaciones siempre fueron inferiores a 0,4. Las estimas de las correlaciones fueron en la misma dirección que las obtenidas por Bouquet et al. (2010) en las razas Blonde de Aquit-

taine y Limousin y Berry et al. (2019) en ganado multiraza irlandés, aunque de menor magnitud. Es interesante mencionar que estos últimos autores (Berry et al., 2019), encuentran correlaciones genéticas algo más elevadas cuando se analizan estas medidas de desarrollo muscular junto con el peso de algunos cortes concretos de la canal, de los cuales no se dispone información actualmente en la raza Pirenaica. En cuanto a las correlaciones genéticas con los caracteres reproductivos, merece la pena destacar que la Anchura del Dorso, Espesor del Lomo y el Subtotal del Desarrollo Muscular parecen estar asociados con un ligero incremento de la Edad al Primer Parto, y que la Redondez de la Nalga tiene una ligera correlación negativa con la capacidad de las hembras de alcanzar el cuarto parto (Supervivencia al Cuarto Parto).

Tabla 4. Medias y desviaciones típicas posteriores (entre paréntesis) de los componentes de varianza aditiva (σ_a^2) y residual (σ_e^2), heredabilidades (h^2) y correlaciones genéticas entre los caracteres de interés económico y los caracteres de desarrollo muscular.
 Table 4. Posterior means and standard deviation (inside the brackets) of additive variance (σ_a^2) and residual components (σ_e^2), heritabilities (h^2) and genetic correlations between economical interest traits and muscular development traits.

Carácter	σ_a^2	σ_e^2	h^2	Correlación Genética					
				EPP	INT	SUP	PCF	CON	ENG
ANCCRUIZ	0,125 (0,011)	0,539 (0,010)	0,189 (0,016)	0,104 (0,060)	-0,011 (0,042)	-0,108 (0,076)	0,181 (0,043)	0,303 (0,048)	-0,201 (0,047)
ANCDOR	0,130 (0,011)	0,519 (0,010)	0,200 (0,016)	0,221 (0,058)	-0,003 (0,042)	-0,109 (0,076)	0,201 (0,044)	0,168 (0,050)	-0,142 (0,048)
ESPLOM	0,078 (0,009)	0,476 (0,009)	0,140 (0,015)	0,168 (0,074)	0,041 (0,049)	-0,060 (0,106)	0,169 (0,057)	0,198 (0,053)	-0,118 (0,064)
REDNAL	0,160 (0,011)	0,427 (0,009)	0,268 (0,017)	0,084 (0,053)	0,018 (0,046)	-0,206 (0,076)	0,177 (0,043)	0,365 (0,039)	-0,183 (0,050)
ANCNAL	0,132 (0,009)	0,409 (0,008)	0,245 (0,016)	0,071 (0,055)	0,030 (0,048)	-0,067 (0,076)	0,227 (0,048)	0,324 (0,046)	-0,135 (0,049)
LONNAL	0,143 (0,011)	0,483 (0,010)	0,228 (0,016)	0,089 (0,056)	0,019 (0,046)	0,068 (0,072)	0,223 (0,047)	0,106 (0,044)	-0,096 (0,056)
MUSC	8,956 (0,670)	25,082 (0,549)	0,263 (0,018)	0,140 (0,052)	0,028 (0,041)	-0,102 (0,067)	0,217 (0,039)	0,273 (0,036)	-0,158 (0,044)

EPP: Edad al Primer Parto; INT: Intervalo entre Partos; SUP: Supervivencia al Cuarto Parto; PCF: Peso de la Canal Fría; CON: Conformación de la Canal; ENG: Engrasamiento de la Canal; ANCCRUIZ: Anchura de la Cruz; ANCDOR: Anchura del Dorso; ESPLOM: Espesor del Lomo; REDNAL: Redondez de la Nalga; ANCNAL: Anchura de la Nalga; LONNAL: Longitud de la Nalga; MUSC: Subtotal Desarrollo Muscular.

En la Tabla 5 se presentan los resultados obtenidos para las medias y desviaciones típicas posteriores de los componentes de varianza, heredabilidades y correlaciones genéticas entre los caracteres de interés económico y los caracteres de desarrollo esquelético.

Las medias posteriores de las heredabilidades para los caracteres de desarrollo esquelético han oscilado entre 0,177 para la Longitud de la Pelvis y 0,276 para el Subtotal de Desarrollo Esquelético (ESQ). Se trata de estimaciones cercanas a las obtenidas en estudios similares en otras poblaciones de vacuno de carne (Gutiérrez y Goyache, 2002; Forabosco et al., 2005; Doyle et al., 2018). Las estimaciones de las correlaciones genéticas muestran que los caracteres de desarrollo esquelético pueden predecir el Peso de la Canal Fría, ya que las medias posteriores de la correlación genética fueron alrededor de 0,35, con la salvedad de Anchura Interilíaca cuya estimación de la correlación genética fue únicamente de 0,20. Sin embargo, las medias posteriores de las correlaciones genéticas con la Conformación de la Canal y el Engrasamiento de la Canal fueron cercanas a cero, salvo entre la Anchura Interisquiática y Conformación de la Canal (0,151). Estos resultados fueron similares a los obtenidos por Berry et al. (2019) en ganado multiraza irlandés, aunque estos autores también encuentran correlaciones positivas con Conformación de la Canal y ligeras correlaciones negativas con Engrasamiento de la Canal. Pueden resultar de interés, además, los resultados para las correlaciones genéticas entre el Intervalo entre Partos y Anchura Interilíaca (-0,160) y las de la Anchura Interilíaca y Anchura del Dorso con la Edad al Primer Parto (0,120 y 0,165; respectivamente), ya que pueden ser informativos en machos y en animales jóvenes.

Las estimaciones posteriores de los componentes de varianza, heredabilidades y correlaciones genéticas entre los caracteres de interés económico y los caracteres de aptitudes funcionales se presentan en la Tabla 6.

Las medias posteriores de la heredabilidad de los caracteres relacionados con aptitudes funcionales presentaron un rango entre 0,088 para Vista Delantera de los Aplomos Delanteros y 0,274 para Anchura del Hocico. Entre ellas, es destacable que las heredabilidades de los caracteres relacionadas con la morfología de los aplomos son más reducidas, ya que oscilan entre 0,088 (Vista Delantera de los Aplomos Delanteros) y 0,154 (Vista Lateral Aplomos Traseros) y similares a las obtenidas por otros autores en las razas Roja Noruega (Ødegård et al., 2014), Holstein Finlandesa (Häggman y Juga, 2013) y Red Angus (Giess et al., 2021). La mayoría de las correlaciones genéticas fueron cercanas a cero, aunque los caracteres relacionados con los aplomos traseros (Vista Trasera Aplomos Traseros y Vista Lateral Aplomos Traseros) tendían a presentar una correlación negativa con Edad al Primer Parto y Engrasamiento de la Canal y positiva con la Supervivencia al Cuarto Parto. La relación con la supervivencia de la morfología de los aplomos traseros ha sido reportada previamente en vacuno de leche (Zavadilová et al., 2011; Khansefid et al., 2021) y se atribuye a la tendencia a desarrollar laminitis en este mismo tipo de ganado (Boettcher et al., 1998). Por otra parte, la Inclinación de Pelvis y la Valoración Funcional Global están correlacionadas negativamente con la Conformación de la Canal y positivamente con el Engrasamiento de la Canal.

Las medias y desviaciones típicas posteriores de los componentes de varianza, heredabilidades y correlaciones genéticas entre los caracteres de interés económico y los caracteres raciales se presentan en la Tabla 7.

Los resultados de estimación de la heredabilidad presentaron medias posteriores en un rango entre 0,170 para Armonía y 0,280 para Color de las Mucosas, en consonancia con los valores obtenidos por Abreu et al. (2018) en Guzerat, y Reimann et al. (2018) y Souza et al. (2020) en Hereford y Bradford, respec-

Tabla 5. Medias y desviaciones típicas posteriores (entre paréntesis) de los componentes de varianza aditiva (σ_a^2) y residual (σ_e^2), heredabilidades (h^2) y correlaciones genéticas entre los caracteres de interés económico y los caracteres de desarrollo esquelético.
 Table 5. Posterior means and standard deviation (inside the brackets) of additive variance (σ_a^2) and residual components (σ_e^2), heritabilities (h^2) and genetic correlations between economical interest traits and skeletal development traits.

Carácter	σ_a^2	σ_e^2	h^2	Correlación Genética						
				EPP	INT	SUP	PCF	CON	ENG	
ALTCRUZ	0,143 (0,010)	0,415 (0,008)	0,256 (0,016)	0,029 (0,051)	0,025 (0,041)	0,048 (0,069)	0,349 (0,039)	-0,085 (0,043)	-0,023 (0,042)	
LONDOR	0,123 (0,010)	0,408 (0,008)	0,231 (0,017)	0,028 (0,054)	-0,004 (0,043)	-0,027 (0,075)	0,326 (0,042)	-0,050 (0,048)	0,033 (0,049)	
LONPEL	0,081 (0,008)	0,381 (0,007)	0,177 (0,017)	0,037 (0,063)	-0,020 (0,049)	-0,011 (0,074)	0,312 (0,049)	0,008 (0,055)	-0,037 (0,056)	
ANCILI	0,139 (0,009)	0,387 (0,007)	0,265 (0,016)	0,120 (0,055)	-0,160 (0,045)	0,015 (0,064)	0,200 (0,043)	-0,062 (0,044)	0,038 (0,049)	
ANCTRO	0,093 (0,008)	0,348 (0,007)	0,212 (0,016)	0,165 (0,062)	0,041 (0,049)	-0,043 (0,070)	0,346 (0,046)	0,097 (0,050)	-0,082 (0,053)	
ANCISQ	0,101 (0,008)	0,370 (0,007)	0,214 (0,017)	0,027 (0,062)	0,007 (0,046)	-0,034 (0,070)	0,332 (0,045)	0,151 (0,048)	-0,056 (0,053)	
ESQ	8,250 (0,567)	21,642 (0,465)	0,276 (0,017)	0,081 (0,050)	-0,006 (0,348)	-0,024 (0,063)	0,357 (0,044)	0,009 (0,037)	-0,026 (0,047)	

EPP: Edad al Primer Parto; INT: Intervalo entre Partos; SUP: Supervivencia al Cuarto Parto; PCF: Peso de la Canal Fría; CON: Conformación de la Canal; ENG: Engrasamiento de la Canal; ALTCRUZ: Altura de la Cruz; LONDOR: Longitud del Dorso; LONPEL: Longitud de la Pelvis; ANCILI: Anchura Interiliaca; ANCTRO: Anchura Intertrocantérica; ANCISQ: Anchura Interisquiática; ESQ: Subtotal Desarrollo Esquelético.

Tabla 6. Medias y desviaciones típicas posteriores (entre paréntesis) de los componentes de varianza aditiva (σ_a^2) y residual (σ_e^2), heredabilidades (h^2) y correlaciones genéticas entre los caracteres de interés económico y los caracteres de aptitudes funcionales.
 Table 6. Posterior means and standard deviation (inside the brackets) of additive variance (σ_a^2) and residual components (σ_e^2), heritabilities (h^2) and genetic correlations between economical interest traits and functional aptitudes traits.

Carácter	σ_a^2	σ_e^2	h^2	Correlación Genética					
				EPP	INT	SUP	PCF	CON	ENG
ANCHOC	0,211 (0,015)	0,560 (0,012)	0,274 (0,018)	-0,005 (0,053)	0,051 (0,042)	-0,066 (0,063)	-0,019 (0,041)	-0,051 (0,043)	0,018 (0,043)
VDAD	0,021 (0,003)	0,212 (0,003)	0,088 (0,013)	-0,006 (0,079)	0,018 (0,062)	0,122 (0,097)	0,016 (0,053)	-0,063 (0,063)	0,068 (0,056)
VLAD	0,020 (0,002)	0,125 (0,002)	0,135 (0,014)	-0,021 (0,073)	-0,070 (0,067)	0,126 (0,094)	-0,026 (0,061)	-0,113 (0,061)	0,012 (0,021)
VTAT	0,020 (0,004)	0,197 (0,004)	0,091 (0,017)	-0,130 (0,088)	-0,093 (0,056)	0,200 (0,105)	-0,146 (0,069)	-0,040 (0,067)	-0,157 (0,086)
VLAT	0,047 (0,005)	0,262 (0,005)	0,154 (0,016)	-0,196 (0,065)	-0,039 (0,056)	0,239 (0,083)	-0,056 (0,050)	-0,049 (0,051)	-0,113 (0,060)
PROPEC	0,123 (0,009)	0,424 (0,008)	0,225 (0,014)	-0,012 (0,057)	-0,053 (0,048)	-0,180 (0,082)	0,057 (0,053)	-0,068 (0,052)	0,093 (0,051)
RECDOR	0,165 (0,014)	0,651 (0,013)	0,202 (0,015)	-0,009 (0,058)	-0,044 (0,043)	0,032 (0,071)	-0,007 (0,050)	-0,014 (0,049)	0,062 (0,047)
INCPCL	0,176 (0,014)	0,646 (0,017)	0,214 (0,017)	0,069 (0,054)	0,031 (0,043)	-0,047 (0,073)	0,068 (0,047)	-0,257 (0,049)	0,123 (0,051)
FUNC	4,599 (0,344)	14,495 (0,321)	0,241 (0,017)	0,043 (0,056)	0,029 (0,044)	-0,047 (0,071)	0,058 (0,042)	-0,153 (0,047)	0,117 (0,047)

EPP: Edad al Primer Parto; INT: Intervalo entre Partos; SUP: Supervivencia al Cuarto Parto; PCF: Peso de la Canal Fria; CON: Conformación de la Canal; ENG: Engrasamiento de la Canal; ANCHOC: Anchura del Hocico; VDAD: Vista Delantera de los Aplomos Delanteros; VLAD: Vista Lateral de los Aplomos Delanteros; VTAT: Vista Trasera de los Aplomos Traseros; VLAT: Vista Lateral de los Aplomos Traseros; PROPEC: Profundidad de Pecho; RECDOR: Rectitud del Dorso; INCPCL: Inclinación de la Pelvis; FUNC: Subtotal Aptitudes Funcionales.

Tabla 7. Medias y desviaciones típicas posteriores (entre paréntesis) de los componentes de varianza aditiva (σ_e^2) y residual (σ_r^2), heredabilidades (h^2) y correlaciones genéticas entre los caracteres de interés económico y los caracteres raciales.
 Table 7. Posterior means and standard deviation (inside the brackets) of additive variance (σ_a^2) and residual components (σ_e^2), heritabilities (h^2) and genetic correlations between economical interest traits and breed morphology traits.

Carácter	σ_a^2	σ_e^2	h^2	Correlación Genética					
				EPP	INT	SUP	PCF	CON	ENG
CAP	0,355 (0,024)	0,998 (0,020)	0,262 (0,016)	-0,120 (0,053)	0,019 (0,039)	-0,068 (0,069)	-0,019 (0,043)	-0,029 (0,040)	-0,030 (0,043)
MUC	0,275 (0,018)	0,526 (0,015)	0,280 (0,017)	0,008 (0,049)	0,016 (0,038)	-0,197 (0,063)	0,025 (0,043)	-0,027 (0,043)	-0,075 (0,043)
CAB	0,200 (0,017)	0,546 (0,013)	0,268 (0,020)	-0,124 (0,056)	-0,019 (0,041)	-0,072 (0,063)	-0,124 (0,038)	0,015 (0,039)	-0,006 (0,041)
CUE	0,197 (0,021)	0,617 (0,017)	0,242 (0,023)	-0,198 (0,063)	0,011 (0,047)	0,158 (0,076)	-0,011 (0,045)	0,020 (0,049)	-0,003 (0,055)
ARM	0,096 (0,010)	0,467 (0,009)	0,170 (0,016)	-0,099 (0,067)	-0,052 (0,050)	0,054 (0,082)	0,083 (0,043)	0,040 (0,056)	-0,025 (0,056)
COLCP	0,200 (0,016)	0,702 (0,014)	0,221 (0,016)	-0,158 (0,059)	-0,019 (0,041)	-0,026 (0,068)	0,043 (0,049)	0,035 (0,045)	-0,062 (0,044)
RAC	10,724 (0,768)	28,833 (0,642)	0,271 (0,017)	-0,152 (0,051)	0,024 (0,039)	-0,063 (0,065)	0,038 (0,034)	0,043 (0,041)	-0,040 (0,039)

EPP: Edad al Primer Parto; INT: Intervalo entre Partos; SUP: Supervivencia al Cuarto Parto; PCF: Peso de la Canal Fria; CON: Conformación de la Canal; ENG: Engrasamiento de la Canal; CAP: Capa; MUC: Mucosas; CAB: Morfología de la Cabeza; CUE: Morfología de los Cuernos; ARM: Armonía; COLCP: Color de los Cuernos y Pezuñas; RAC: Subtotal Caracteres Raciales.

tivamente. En cuanto a las correlaciones genéticas, merecen ser destacadas las correlaciones negativas entre varios caracteres (Color de la Capa, Morfología de la Cabeza, Morfología de los Cuernos, Armonía y Color de Cuernos y Pezuñas) y el Subtotal de Caracteres Raciales con la Edad al Primer Parto. Es decir, los individuos más acordes al patrón racial tienden a iniciar su vida reproductiva más prematuramente. En este sentido, Gutiérrez et al. (2002) estudian la relación entre la caracterización racial y los caracteres reproductivos en raza Asturiana de los Valles, aunque sus resultados son difícilmente comparables con los de este estudio debido a la heterogeneidad en cuando la definición de los patrones raciales en cada población.

En la Tabla 8 se presentan los resultados de las medias y desviaciones típicas posteriores de la heredabilidad y correlaciones genéticas para el resto de los caracteres analizados (Condición corporal, Grosor de las Cañas, Docilidad, Forma de las Pezuñas, Profundidad de la Ubre, Grosor de los Pezones y Longitud de los Pezones)

La heredabilidad más reducida se observó para el carácter Condición Corporal, similar a las obtenidas por otros autores (Dal Zotto et al., 2007; Köck et al., 2018), y se confirma su correlación genética con el Peso de la Canal Fría (Nephawe et al., 2004; Berry et al., 2021) y la Conformación de la Canal (Nephawe et al., 2004). Por otra parte, el Grosor de las Cañas presenta correlaciones genéticas de potencial interés con la Conformación de la Canal (-0,218), Supervivencia al Cuarto Parto (-0,157), Edad al Primer Parto (0,178) e Intervalo entre Partos (0,179), mientras que el carácter Docilidad no parece estar relacionado genéticamente con ningún carácter incluido en los criterios de selección, confirmando los resultados obtenidos por Varona et al. (2012) con la supervivencia y por Walkom et al. (2018) con varios caracteres productivos. Además, la estimación de la here-

dabilidad fue relativamente alta (0,329), similar a la obtenida en otras poblaciones (Torres-Vázquez y Spangler, 2016; Walkom et al., 2018; Yu et al., 2020). Por lo tanto, sería interesante analizar si la inclusión de la docilidad entre los criterios de selección de la población permitiría incrementar este carácter sin suponer una reducción o modificación del rendimiento productivo. Por último, la heredabilidad de los caracteres relacionados con la morfología de la ubre (Profundidad de la Ubre, Grosor de los Pezones y Longitud de los pezones) presentaron heredabilidades en torno a 0,35; en consonancia con las estimaciones obtenidas por otros autores en vacuno de leche (Poppe et al., 2019) y vacuno de carne (Devani et al., 2019), y mostraron ligeras correlaciones genéticas con la Supervivencia al Cuarto Parto.

Finalmente, las medias (y desviaciones típicas) posteriores de las varianzas aditiva y residual del carácter Puntuación Final fueron 4,948 (0,292) y 12,194 (0,254) y la media (y desviación típica) posterior de la heredabilidad fue 0,288 (0,016). Por otra parte, las medias (y desviaciones típicas) posteriores de las correlaciones genéticas con los caracteres de interés económico fueron 0,076 (0,053) con Edad al Primer Parto; 0,018 (0,046) con Intervalo entre Partos; -0,073 (0,065) con Supervivencia al Cuarto Parto; 0,264 (0,037) con Peso de la Canal Fría; 0,080 (0,040) con Conformación de la Canal; -0,052 (0,048) con Engrasamiento de la Canal. Por lo tanto, esta valoración global de todos los caracteres incluidos en la calificación morfológica únicamente tiene cierta capacidad predictiva con el Peso de la Canal Fría, aunque mucho menor que la proporcionada por el Peso al Destete, que, en esta misma población, presenta una correlación genética con el Peso de la Canal Fría superior a 0,5 (Altarrriba et al., 2009).

A modo de análisis global, los resultados del estudio únicamente han confirmado la capacidad predictiva de los caracteres morfo-

Tabla 8. Medias y desviaciones típicas posteriores (entre paréntesis) de los componentes de varianza aditiva (σ_a^2) y residual (σ_e^2), heredabilidades (h^2) de los caracteres del grupo Otros caracteres y de sus correlaciones genéticas con los caracteres de interés económico. Table 8. Posterior means and standard deviation (inside the brackets) of additive variance (σ_a^2) and residual components (σ_e^2), heritabilities (h^2) and genetic correlations between economical interest traits and "Others" trait group.

Carácter	σ_a^2	σ_e^2	h^2	Correlación Genética					
				EPP	INT	SUP	PCF	CON	ENG
COND	0,107 (0,009)	0,483 (0,008)	0,181 (0,014)	0,170 (0,067)	-0,076 (0,051)	0,060 (0,081)	0,217 (0,047)	0,148 (0,045)	0,019 (0,056)
GRO	0,154 (0,011)	0,487 (0,010)	0,241 (0,016)	0,179 (0,058)	0,178 (0,044)	-0,157 (0,079)	0,074 (0,042)	-0,218 (0,053)	0,056 (0,045)
DOC	0,572 (0,038)	1,163 (0,031)	0,329 (0,019)	-0,015 (0,052)	0,062 (0,044)	-0,060 (0,069)	0,068 (0,045)	0,040 (0,040)	-0,015 (0,050)
PEZ	0,170 (0,044)	1,737 (0,037)	0,259 (0,017)	-0,074 (0,055)	-0,004 (0,042)	0,055 (0,061)	0,007 (0,042)	-0,010 (0,044)	0,047 (0,054)
PROUBR	0,314 (0,021)	0,587 (0,015)	0,348 (0,020)	-0,037 (0,050)	-0,161 (0,045)	0,121 (0,069)	0,046 (0,040)	0,017 (0,045)	0,082 (0,043)
GROPEZ	0,271 (0,017)	0,523 (0,014)	0,341 (0,019)	-0,037 (0,050)	-0,053 (0,044)	0,138 (0,072)	0,096 (0,038)	-0,060 (0,042)	0,068 (0,047)
LONPEZ	0,426 (0,027)	0,753 (0,020)	0,361 (0,019)	-0,002 (0,048)	-0,073 (0,044)	0,178 (0,098)	0,078 (0,037)	-0,010 (0,043)	0,099 (0,041)

EPP: Edad al Primer Parto; INT: Intervalo entre Partos; SUP: Supervivencia al Cuarto Parto; PCF: Peso de la Canal Fría; CON: Conformación de la Canal; ENG: Engrasamiento de la Canal; COND: Condición Corporal; GRO: Grosor de la Caña; DOC: Docilidad; PEZ: Forma de las Pezuñas; PROUBR: Profundidad de la Ubre; GROPEZ: Grosor de los Pezones; LONPEZ: Longitud de los Pezones.

lógicos relacionados con el desarrollo esquelético y muscular para los caracteres de peso y calidad la canal. Sin embargo, se ha observado que las estimaciones posteriores de las heredabilidades de los caracteres morfológicos registrados por los controladores de CONASPI oscilaron entre 0,088 para Vista Delantera de los Aplomos Delanteros y 0,361 para Longitud de Pezones. Estos resultados pueden permitir alguna respuesta directa a la selección en el caso de ser incluidas en los criterios de selección del programa de mejora de la población. Para ello, el impacto económico directo de estos caracteres en el marco del sistema de producción de la Raza Pirenaica debe ser evaluado, tanto en la actualidad como a medio y largo plazo. En este sentido, es posible que algunos caracteres de desarrollo muscular puedan tener una mayor capacidad predictiva del peso de algunos cortes de especial interés tras el despiece. Por otra parte, es previsible que la evolución de la producción extensiva de montaña se dirija hacia una mayor relevancia *per se* de los caracteres relacionados con el bienestar animal, como los relacionados con los aplomos, o con la facilidad de manejo de los animales, como la docilidad. En el caso de este último carácter, se abre la posibilidad de ser incluido en los criterios de selección, ya que tiene una heredabilidad relativamente elevada y no presenta correlaciones genéticas indeseables con los caracteres de interés económico.

Conclusiones

El objetivo principal de este trabajo era evaluar la potencial utilidad de los caracteres incluidos en la hoja de valoración morfológica de la Raza Pirenaica como predictores *in vivo* de los caracteres incluidos en los criterios de selección del programa de mejora. Los resultados de este trabajo muestran que la capacidad predictiva de los caracteres actualmente registrados en el plan de mejora de la

raza Pirenaica es escasa, ya que las estimaciones de las correlaciones genéticas obtenidas son moderadas o cercanas a cero. Sin embargo, se ha confirmado la presencia de variabilidad genética aditiva (o heredabilidad) en ellos. Por lo tanto, se podría obtener una respuesta directa a la selección si se considerase económicamente relevante.

Agradecimientos

Los autores agradecen a CONASPI (Confederación Nacional de Asociaciones de Ganado Pirenaica), la disponibilidad de los datos utilizados en este estudio.

Referencias bibliográficas

- Abreu LRA, Mota LFM, Ferreira TA, Pereira IG, Pires AV, Villela SDJ, Merlo FA, Martins PGMA (2018). Genetic evaluation of bodyweight, scrotal circumference, and visual appraisal scores in *Bos indicus* cattle. *Animal Production Science* 58(9): 1584-1594. <https://doi.org/10.1071/AN16548>
- Altarriba J, Yagüe G, Moreno C, Varona L (2009). Exploring the possibilities of genetic improvement from traceability data. An example in the Pirenaica beef cattle. *Livestock Science* 125(2-3): 115-120. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2009.03.013>
- Amer PR, Simm G, Keane MG, Diskin MG, Wickham BW (2001). Breeding objectives for beef cattle in Ireland. *Livestock Production Science* 67(3): 223-239. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(00\)00201-3](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(00)00201-3)
- Berry DP, Wall E, Pryce JE (2014). Genetics and genomics of reproductive performance in dairy and beef cattle. *Animal* 8(Suppl. 1): 105-121. <https://doi.org/10.1017/S1751731114000743>
- Berry DP, Pabiou T, Fanning R, Evans RD, Judge MM (2019). Linear classification scores in beef cattle as predictors of genetic merit for indivi-

- dual carcass primal cut yields. *Journal of Animal Science* 97(6): 2329-2341. <https://doi.org/10.1093/jas/skz138>
- Berry DP, Evans RD, Kelleher MM (2021). Prediction of genetic merit for live weight and body condition score in dairy cows using routinely available linear type and carcass data. *Journal of Dairy Science* 104(6): 6885-6896. <https://doi.org/10.3168/jds.2021-20154>
- Boettcher PJ, Dekkers JCM, Warnick LD, Wells SJ (1998). Genetic analysis of clinical lameness in dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 81(4): 1148-1156. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(98\)75677-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(98)75677-2)
- Boldt RJ, Speidel SE, Thomas MG, Enns RM (2018). Genetic parameters for fertility and production traits in Red Angus cattle. *Journal of Animal Science* 96(10): 4100-4111. <https://doi.org/10.1093/jas/sky294>
- Bouquet A, Fouilloux MN, Renand G, Phocas F (2010). Genetic parameters for growth, muscularity, feed efficiency and carcass traits of young beef bulls. *Livestock Science* 129(1-3): 38-48. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2009.12.010>
- Cammack KM, Thomas MG, Enns RM (2009). Reproductive traits and their heritabilities in beef cattle. *Professional Animal Scientist* 25(5): 517-528. [https://doi.org/10.15232/S1080-7446\(15\)30753-1](https://doi.org/10.15232/S1080-7446(15)30753-1)
- Dal Zotto R, De Marchi M, Dalvit C, Cassandro M, Gallo L, Carnier P, Bittante G (2007). Heritabilities and genetic correlations of body condition score and calving interval with yield, somatic cell score, and linear type traits in Brown Swiss cattle. *Journal of Dairy Science* 90(12): 5737-5743. <https://doi.org/10.3168/jds.2007-0280>
- Devani K, Valente TS, Crowley JJ, Orsel K (2019). Development of optimal genetic evaluations for teat and udder structure in Canadian Angus cattle. *Journal of Animal Science* 97(11): 4445-4452. <https://doi.org/10.1093/jas/skz314>
- DOUE (2013). Reglamento (UE) No 1308/2013 del Parlamento Europeo y del Consejo de 17 de diciembre de 2013 por el que se crea la organización común de mercados de los productos agrarios y por el que se derogan los Reglamentos (CEE) no 922/72, (CEE) no 234/79, (CE) no 1. *Diario Oficial de la Unión Europea*, núm. 347, de 20 de diciembre de 2013, pp. 671-854.
- Doyle JL, Berry DP, Walsh SW, Veerkamp RF, Evans RD, Carthy TR (2018). Genetic covariance components within and among linear type traits differ among contrasting beef cattle breeds. *Journal of Animal Science* 96(5): 1628-1639. <https://doi.org/10.1093/jas/sky076>
- Felius M, Beerling ML, Buchanan DS, Theunissen B, Koolmees PA, Lenstra JA (2014). On the history of cattle genetic resources. *Diversity* 6(4): 705-750 <https://doi.org/10.3390/d6040705>
- Forabosco F, Bozzi R, Boettcher P, Filippini F, Bijma P, Van Arendonk JAM (2005). Relationship between profitability and type traits and derivation of economic values for reproduction and survival traits in Chianina beef cows. *Journal of Animal Science* 83(9): 2043-2051. <https://doi.org/10.2527/2005.8392043x>
- Gelfand AE, Smith AFM (1990). Sampling-based approaches to calculating marginal densities. *Journal of the American Statistical Association* 85(410): 398-409. <https://doi.org/10.2307/2289776>
- Gianola D (1982). Theory and analysis of threshold characters. *Journal of Animal Science* 54(5): 1079-1096. <https://doi.org/10.2527/jas1982.5451079x>
- Giess LK, Jensen BR, Bormann JM, Rolf MM, Weaber RL (2021). Genetic parameter estimates for feet and leg traits in Red Angus cattle. *Journal of Animal Science* 99(11): skab256. <https://doi.org/10.1093/jas/skab256>
- Goyache F, Del Coz JJ, Quevedo JR, López S, Alonso J, Ranilla J, Luaces O, Alvarez I, Bahamonde A (2001). Using artificial intelligence to design and implement a morphological assessment system in beef cattle. *Animal Science* 73(1): 49-60. <https://doi.org/10.1017/S1357729800058045>
- Gutiérrez JP, Alvarez I, Fernández I, Royo LJ, Díez J, Goyache F (2002). Genetic relationships between calving date, calving interval, age at first calving and type traits in beef cattle. *Livestock Production Science* 78(3): 215-222. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(02\)00100-8](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(02)00100-8)

- Gutiérrez JP, Goyache F (2002). Estimation of genetic parameters of type traits in Asturiana de los Valles beef cattle breed. *Journal of Animal Breeding and Genetics* 119(2): 93-100. <https://doi.org/10.1046/j.1439-0388.2002.00324.x>
- Häggman J, Juga J (2013). Genetic parameters for hoof disorders and feet and leg conformation traits in Finnish Holstein cows. *Journal of Dairy Science* 96(5): 3319-3325. <https://doi.org/10.3168/jds.2012-6334>
- Hickey JM, Keane MG, Kenny DA, Cromie AR, Veerkamp RF (2007). Genetic parameters for EUROP carcass traits within different groups of cattle in Ireland. *Journal of Animal Science* 85(2): 314-321. <https://doi.org/10.2527/jas.2006-263>
- Jamrozik J, McGrath S, Kemp RA, Miller SP (2013). Estimates of genetic parameters for stayability to consecutive calvings of Canadian Simmentals by random regression models. *Journal of Animal Science* 91(8): 3634-3643. <https://doi.org/10.2527/jas.2012-6126>
- Khansefid M, Haile-Mariam M, Pryce JE (2021). Improving the accuracy of predictions for cow survival by multivariate evaluation model. *Animal Production Science* 61(18): 1828-1836. <https://doi.org/10.1071/AN21128>
- Köck A, Ledinek M, Gruber L, Steininger F, Fuerst-Waltl B, Egger-Danner C (2018). Genetic analysis of efficiency traits in Austrian dairy cattle and their relationships with body condition score and lameness. *Journal of Dairy Science* 101(1): 445-455. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13281>
- Legarra A, Varona L, López de Maturana E (2011). TM. Disponible en: http://genoweb.toulouse.inra.fr/~alegarra/tm_folder/ (consultado: 2 mayo 2022).
- MAPA (2020). Programa de cría de la raza vacuna pirenaica. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 57pp.
- Martinez GE, Koch RM, Cundiff LV, Gregory KE, Kachman SD, Van Vleck LD (2005). Genetic parameters for stayability, stayability at calving, and stayability at weaning to specified ages for Hereford cows. *Journal of Animal Science* 83(9): 2033-2042. <https://doi.org/10.2527/2005.8392033x>
- Mazza S, Guzzo N, Sartori C, Berry DP, Mantovani R (2014). Genetic parameters for linear type traits in the Rendena dual-purpose breed. *Journal of Animal Breeding and Genetics* 131(1): 27-35. <https://doi.org/10.1111/jbg.12049>
- Nephawe KA, Cundiff L V, Dikeman ME, Crouse JD, Van Vleck LD (2004). Genetic relationships between sex-specific traits in beef cattle: Mature weight, weight adjusted for body condition score, height and body condition score of cows, and carcass traits of their steer relatives. *Journal of Animal Science* 82(3): 647-653. <https://doi.org/10.2527/2004.823647x>
- Ødegård C, Svendsen M, Heringstad B (2014). Genetic correlations between claw health and feet and leg conformation in Norwegian Red cows. *Journal of Dairy Science* 97(7): 4522-4529. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-7837>
- Payás J, Aranguren P, Altarriba J (2021). Evaluación genética de caracteres morfológicos en la raza bovina Pirenaica. Resultados preliminares. FEA-GAS 44: 80-90.
- Phocas F, Bloch C, Chapelle P, Bécherel F, Renand G, Ménissier F (1998). Developing a breeding objective for a French purebred beef cattle selection programme. *Livestock Production Science* 57(1): 49-65. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(98\)00157-2](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(98)00157-2)
- Poppe M, Mulder HA, Ducro BJ, de Jong G (2019). Genetic analysis of udder conformation traits derived from automatic milking system recording in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 102(2): 1386-1396. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-14838>
- Reimann FA, Boligon AA, Campos GS, Cardoso LL, Junqueira VS, Cardoso FF (2018). Genetic parameters and accuracy of traditional and genomic breeding values for eye pigmentation, hair coat and breed standard in Hereford and Braford cattle. *Livestock Science* 213: 44-50. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2018.04.007>
- Short TH, Lawlor TJ (1992). Genetic parameters of conformation traits, milk yield, and herd life in Holsteins. *Journal of Dairy Science* 75(7): 1987-1998. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(92\)77958-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(92)77958-2)

- Sorensen DA, Andersen S, Gianola D, Korsgaard I (1995). Bayesian inference in threshold models using Gibbs sampling. *Genetics Selection Evolution* 27(3): 229-249. <https://doi.org/10.1186/1297-9686-27-3-229>
- Souza JS, Silveira DD, Teixeira BBM, Boligon AA (2020). Parameters and genetic associations of visual scores and weights in Hereford and Braford breeds. *Livestock Science* 241: 104216. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2020.104216>
- Tanner MA, Wong WH (1987). The calculation of posterior distributions by data augmentation. *Journal of the American Statistical Association* 82(398): 528-540. <https://doi.org/10.1080/01621459.1987.10478458>
- Torres-Vázquez JA, Spangler ML (2016). Genetic parameters for docility, weaning weight, yearling weight, and intramuscular fat percentage in Hereford cattle. *Journal of Animal Science* 94(1): 21-27. <https://doi.org/10.2527/jas.2015-9566>
- Utrera AR, Van Vleck LD (2004). Heritability estimates for carcass traits of cattle: a review. *Genetics and Molecular Research* 3(3): 380-394
- Varona L, Moreno C, Altarriba J (2012). Genetic correlation of longevity with growth, *post-mortem*, docility and some morphological traits in the Pirenaica beef cattle breed. *Animal* 6(6): 873-879. <https://doi.org/10.1017/S1751731111002072>
- Walkom SF, Jeyaruban MG, Tier B, Johnston DJ (2018). Genetic analysis of docility score of Australian Angus and Limousin cattle. *Animal Production Science* 58(2): 213-223. <https://doi.org/10.1071/AN16240>
- Yu H, Morota G, Celestino EF, Dahlen CR, Wagner SA, Riley DG, Hulsman Hanna LL (2020). Deciphering cattle temperament measures derived from a four-platform standing scale using genetic factor analytic modeling. *Frontiers in Genetics* 11. <https://doi.org/10.3389/fgene.2020.00599>
- Zavadilová L, Němcová E, Štípková M (2011). Effect of type traits on functional longevity of Czech Holstein cows estimated from a Cox proportional hazards model. *Journal of Dairy Science* 94(8): 4090-4099. <https://doi.org/10.3168/jds.2010-3684>

(Aceptado para publicación el 13 de enero de 2023)

Oportunidades productivas y medioambientales del pastoreo primaveral de triticale con ovejas Manchegas en Castilla La Mancha

Gregorio Salcedo^{1,*}, Oscar García², Roberto Gallego², Daniel Salcedo³ y Rafael González⁴

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

² AGRAMA. Avda. Gregorio Arcos, 19. 02005, Albacete, España

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

⁴ Instituto Regional de Investigación y Desarrollo Agroalimentario y Forestal de Castilla-La Mancha (IRIAF) – Centro Regional de Selección y Reproducción Animal (CERSYRA), Avenida del Vino, 10, 13300 Valdepeñas, Ciudad Real, España

Resumen

Los objetivos de este trabajo se centraron en analizar los efectos productivos y ambientales del rebaño de la Asociación Nacional de Criadores de Ganado Ovino Selecto de Raza Manchega (AGRAMA), al cambio de una alimentación en pesebre (AP_e) del año 2019, a otra en pastoreo de triticale (AD_i) durante las primaveras de los años 2020 y 2021. Las ovejas fueron divididas en tres grupos: i) alta producción, ii) baja producción y iii) no lactantes. La producción de leche oveja y día no fue diferente entre años (1,23 L en AP_e y 1,51 L en AD_i), pero sí, menores las concentraciones de proteína bruta y urea de la leche en AD_i . El pastoreo de triticale redujo la compra de alimentos en 165 kg de materia seca por oveja (61 kg de concentrado y 104 kg de forraje por oveja) durante 125 días. Las emisiones de metano y óxido nítrico por oveja y día fueron un 27,6 % y 55,6 % mayores en AD_i , pero menores, por litro de leche un 15,2 % y 46,3 % respectivamente.

El secuestro de carbono contribuyó a reducir la huella de carbono un 4,4 % por litro de leche y un 4,9 % por oveja y día. Se concluye que el pastoreo primaveral de triticale es una práctica que mejora la producción de leche, sin variaciones sustanciales de su composición química y reduce la huella de carbono en las explotaciones de ovino de Castilla La Mancha.

Palabras clave: Ovino lechero, alimentación a diente, huella de carbono.

Productive and environmental opportunities of spring grazing of triticale with Manchega sheep in Castilla La Mancha

Abstract

The objectives of this work were focused on analysing the productive and environmental effects of the flock of the *Asociación Nacional de Criadores de Ganado Ovino Selecto de Raza Manchega* (AGRAMA),

* Autor para correspondencia: gregoriosal57@gmail.com

Cita del artículo: Salcedo G, García O, Gallego R, Salcedo D, González R (2023). Oportunidades productivas y medioambientales del pastoreo primaveral de triticale con ovejas Manchegas en Castilla La Mancha. ITEA-Información Técnica Económica Agraria 119(3): 244-269. <https://doi.org/10.12706/itea.2023.005>

when changing from trough feeding (AP_e) in 2019 to triticale grazing (AD_i) during the springs of 2020 and 2021. Ewes were divided into three groups: i) high producing, ii) low producing and iii) non-lactating. Milk production per day was not different between years (1.23 L in AP_e and 1.51 L in AD_i), but milk crude protein and urea concentrations were lower in AD_i . Triticale grazing reduced feed purchases by 165 kg dry matter per ewe (61 kg feed and 104 kg forage per ewe) for 125 days. Methane and nitrous oxide emissions per ewe per day were 27.6 % and 55.6 % higher in AD_i , but lower per liter of milk by 15.2 % and 46.3 % respectively.

Carbon sequestration contributed to reduce the carbon footprint by 4.4 % per litre of milk and 4.9 % per ewe per day. It is concluded that spring grazing of triticale is a practice that improves milk production without substantial variations in its chemical composition and reduces the carbon footprint of sheep farms in *Castilla La Mancha*.

Keywords: Dairy sheep, tooth feeding, carbon footprint.

Introducción

La raza de oveja Manchega está adaptada a las condiciones climáticas de Castilla La Mancha, con producciones de leche inferiores a otras más especializadas como la Assaf y La caune. Sin embargo, ha evolucionado hacia sistemas más intensivos con una gran especialización de la mano de obra (Montoro et al., 2007). La sustitución de pastoreo por concentrados y forrajes externos fueron las medidas adoptadas para su intensificación (Toro-Mujica et al., 2012). Estos cambios productivos (raza e intensificación) pueden aumentar la productividad, pero al mismo tiempo, incrementar las emisiones de CO_2 (Gerber et al., 2013); pérdida de carbono en los suelos, contaminación del aire y del agua y la disminución de la biodiversidad (Bellarby et al., 2013; Reynolds et al., 2010).

La alimentación representa el mayor coste económico en la explotación de ovino lechero (Rivas et al., 2015) y el metano, el principal gas de efecto invernadero producido por litro de leche (Salcedo, 2020). Según Poore y Nemecek (2018), la producción de alimentos simboliza el 26 % de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero. De aquellas, el 53 % proceden de los animales, el 29 % de los cultivos y el 18 % de la cadena de valor. Los forrajes de alto contenido

en carbohidratos solubles exhiben mejor digestibilidad ruminal, con menor producción de metano (Niu et al., 2018).

La seguridad alimentaria, la sostenibilidad ambiental (reducción de emisiones, mantenimiento población rural, etc.) y el bienestar animal son entre otros, temas actuales de debate en la sociedad y la ciencia. Las diferentes prácticas de producción entre sistemas ganaderos (intensivos o extensivos) no son ajenos aquel debate (Dumont et al., 2018).

Los objetivos de este trabajo se centran en analizar los aspectos productivos y ambientales, al cambio de una alimentación en pesebre a otra de pastoreo con ovejas de alto mérito genético.

Material y métodos

Producción vegetal y animal

Área de estudio, características del suelo y climatología

El estudio se llevó a cabo en la finca experimental "La Nava del Conejo" situada en Valdepeñas, Ciudad Real (38° 43'N; 3° 29'W a 751 msnm), durante las campañas 2019-2020 y 2020-2021. La superficie de pastoreo dentro de cada campaña fueron 20 ha y 23 ha

respectivamente, a su vez divididas en parcelas experimentales de 1,5 ha a 2,5 ha. El suelo presenta una textura franco-arcilloarenoso; pH, 8,49; materia orgánica, 0,50 %; fósforo, 7,3 ppm; calcio, 1076 ppm; 130 ppm y 246 ppm de magnesio y potasio, respecti-

vamente y 7,19 meq/100 g de suelo la capacidad de intercambio catiónico. Los datos climáticos fueron proporcionados por el Servicio Integral de Asesoramiento al Regante (SIAR) de Castilla La Mancha y representados en la Figura 1.

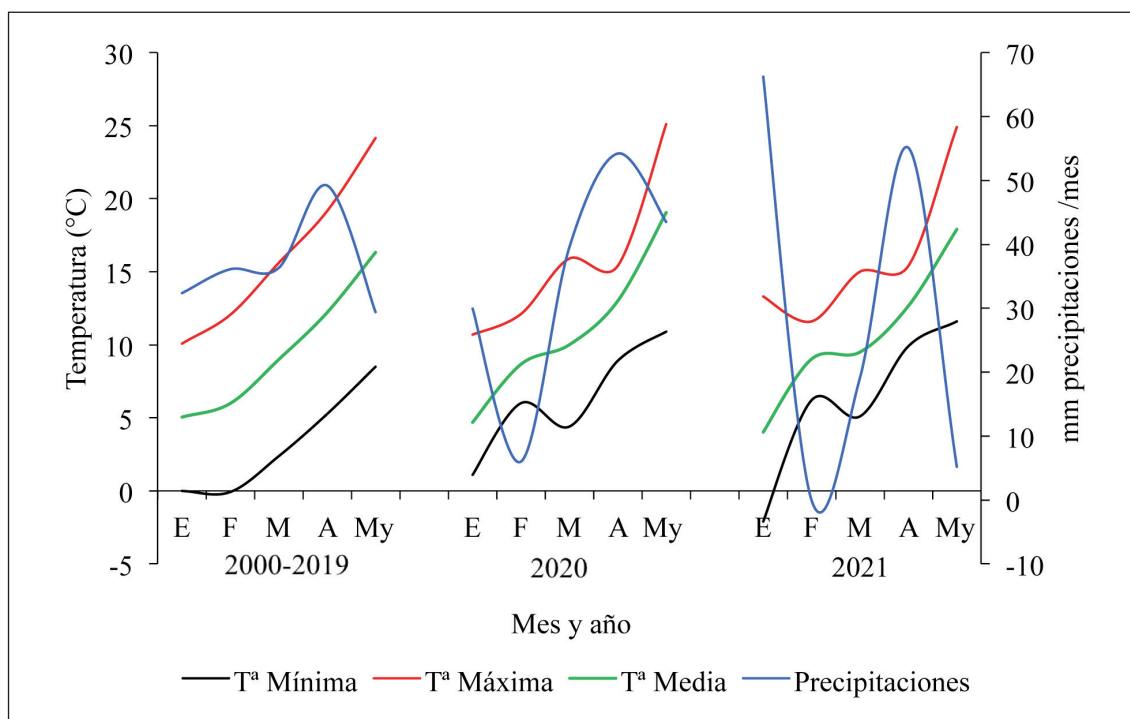


Figura 1. Condiciones climáticas durante el experimento.
Figure 1. Climatic conditions during the experiment.

Operaciones de cultivo

La preparación del terreno consistió en dos pases cruzados de chisel los días 20 de septiembre y 13 de octubre en el año 2019 y los días 3 y 10 de octubre el año 2020. La fertilización de fondo a base de 5 t ha⁻¹ de estiércol de oveja y posteriormente enterrado con la segunda labor de chisel. La cobertura se aplicó 16,5 kg ha¹ de nitrato amónico calcico del 33,5 % después del primer apro-

vechamiento. La siembra se realizó a chorri- llo el 10 de octubre en el año 2019 y el 13 de octubre en 2020, a la dosis de 150 kg ha⁻¹ de triticale. Posterior a la siembra, se pasó un rodillo cultipacker para favorecer la germinación de la semilla.

Animales y dietas

Un total de 655 ovejas en el año 2020 y 631 en 2021 pertenecientes a la Asociación Na-

cional de Criadores de Ganado Ovino Selecto de Raza Manchega (AGRAMA), fueron divididas en tres grupos según un diseño completamente al azar en: i) ovejas de alta producción; ii) ovejas de baja producción y iii)

ovejas no lactantes, que incluye corderas de reposición y ovejas gestantes. La producción de leche y el número de partos de la paridera de invierno de cada año viene representada en la Figura 2.

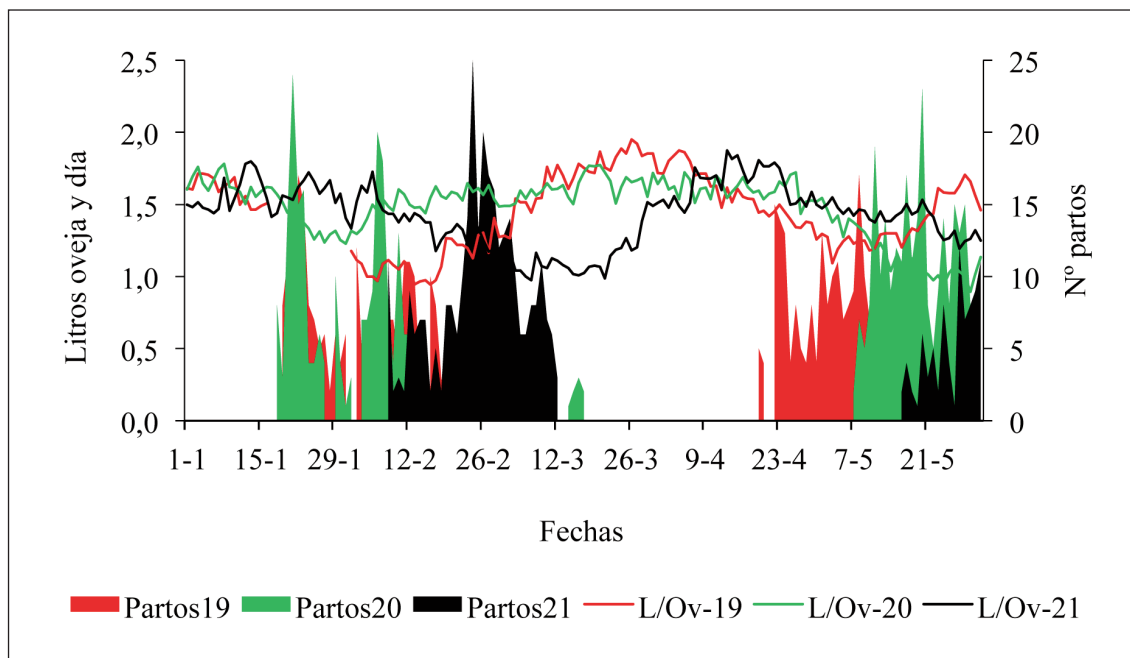


Figura 2. Distribución de partos y producción de leche durante el experimento. El área representa las fechas de las parideras de cada año y las líneas la producción de leche oveja y día.

Figure 2. Distribution of births and milk production during the experiment. The area represents the lambing dates of each year and the lines the ewe's milk production per day.

Las ovejas recién paridas (no incluidas en este trabajo) permanecieron estabuladas hasta el destete de las crías, momento a partir del cual pasaron a formar parte del grupo de alta producción. La fecha de cubrición fue el criterio elegido para el cambio de grupo de alta al de baja producción. Las ovejas de producción se caracterizan por tener un peso vivo medio de 75 kg; $4,8 \pm 0,75$ partos; $3,8 \pm 0,75$ lactaciones; duración media lactación de 187 ± 15 días; producción de leche a 120 días de 294 ± 65 kg;

$8,2 \pm 0,49$ % de grasa y $6,1 \pm 0,58$ % de proteína bruta. Las dietas de cada grupo y año vienen indicadas en la Tabla 1.

El concentrado está formado por maíz molido, 21 %; harina de soja, 10,9 %; guisantes, 15 %; avena, 10 %; pulpa cítricos, 8 %; girasol, 5 %; yeros, 3 %; aceite de palma, 1 %; trigo, 3,3 %; salvado trigo, 3,3 %; cascarilla soja, 3,3 %; granos secos de destilería con solubles (DDGS), 3,3 %; semilla de algodón, 4 %; fosfato bicálcico, 2,5 %; bicarbonato só-

Tabla 1. Alimentación de las ovejas y número de animales.

Table 1. Feeding of ewes and number of animals.

Año	Alta	Nº	Baja	Nº	NL	Nº
2019	Alfalfa (1,00)	223 ± 64	Alfalfa (0,36)	189 ± 34	V-A (0,27)	209 ± 56
	Paja (0,08)		V-A (0,88)		Paja (0,69)	
	Con. (1,88)		Paja (0,09)		Pasto	
			Con. (1,17)			
2020	Alfalfa (0,93)	202 ± 25	V-A (0,47)	187 ± 46	V-A (0,31)	266 ± 89
	Paja (0,08)		Paja (0,08)		Paja (0,11)	
	Con. (1,63)		Con. (0,71)		Pasto	
	Pasto		Pasto			
2021	Alfalfa (0,70)	184 ± 72	V-A (0,48)	197 ± 37	Paja (0,07)	250 ± 78
	Paja (0,08)		Paja (0,08)		Con. (0,22)	
	Con. (1,65)		Con. (0,71)		Pasto	
	Pasto		Pasto			

Alta: Grupo de alta producción. Baja: Grupo de baja producción NL: No lactantes, incluye ovejas gestantes, no lactantes, preñadas y corderas de reposición. Nº: número de ovejas. Entre paréntesis, kilogramos materia seca oveja y día. V-A: heno de veza-avena. Con.: concentrado.

dico, 2,5 %; cloruro sódico, 2 %; urea, 1 % y óxido de magnesio, 0,9 %. El consumo de concentrado oveja y día viene indicado en la Tabla 1, repartido en dos tomas iguales después de los ordeños de mañana y tarde.

Manejo del pastoreo

El triticale fue aprovechado a diente siguiendo un pastoreo rotacional desde el 13 de enero al 27 de mayo en el año 2020, y del 1 de febrero al 28 de mayo en 2021. La entrada de los animales al pasto varió desde el estado de madurez GS24 (vástago principal y 3 tallos) al GS32 (segundo nudo formado en el tallo principal), según la clasificación de Zadoks et al. (1974). Mientras, la salida se realizó con alturas de planta variables de 5 cm a 10 cm del suelo. Los animales dispusieron de agua en todo momento.

Análisis de los alimentos y de la leche

Alrededor de 100 g de pasto verde de la oferta y sobre otros 100 g de pasto rechazo fueron secados en estufa a 80 °C durante 16 h en el laboratorio de Lactología del IRIAF-CERSYRA de Valdepeñas (Ciudad Real) para determinar el contenido de materia seca. Otra muestra de aproximadamente 500 g de la oferta, fue igualmente secada y remitida a la cooperativa AgroCantabria para su posterior análisis en el laboratorio Cargill mediante el método NIRS (espectroscopia de infrarrojo cercano), de igual forma se enviaron muestras de heno de veza-avena y paja de avena.

Los parámetros de composición físico-química de la leche fueron: grasa (%), proteína bruta (%), caseína total (%) y urea (mg/L), siendo analizados mediante un espectrofo-

tómetro de infrarrojo medio Milkoscan 6000 FT (Foss Electric, Hillerød, Dinamarca) en el Laboratorio Interprofesional Lechero de Castilla La Mancha de Talavera de la Reina (Toledo). La presencia de un solo tanque de leche en la explotación forzó a no poder diferenciar la composición físico-química en los grupos de alta y baja producción.

Cálculos

La materia seca en oferta por hectárea, la rechazada y el porcentaje de utilización del pasto se estimó mediante siegas de cuatro cuadrados de 0,5 m x 0,5 m con segadora manual a pilas a 5 cm del suelo a la entrada y salida de los animales del pasto. Como paso previo al cálculo de las emisiones y absorciones del pastoreo, se estimó el consumo de pasto en kilogramos de materia seca (MS) oveja y día a partir de la metodología propuesta por Macoon et al. (2003) como:

$$\frac{(EN_{\text{requerimientos}} - EN_{\text{concentrado}} - EN_{\text{forraje suplemento}})}{EN_{\text{pasto}}} \quad \text{[Ecuación 1]}$$

y la descrita por Salcedo (2000) la energía neta (EN) como:

$$(Oferta_n - Rechazo_{n-1}) + VC_n (d_1 - d_2) / n \quad \text{[Ecuación 2]}$$

donde d_1 y d_2 son las fechas de medición (una a la entrada del pastoreo y otra el día de salida) de la oferta y rechazos respectivamente y n el número de ovejas; VC_n es la velocidad de crecimiento del pasto en kg MS ha⁻¹ y día estimado a partir de la expresión:

$$(Oferta_n - Rechazo_{n-1}) + (d_1 - d_2) \quad \text{[Ecuación 3]}$$

Los valores simulados (ecuación 1) fueron testados con los observados (ecuación 2), utilizando cinco índices estadísticos: i) coeficiente de determinación; ii) índice de concordancia

“ d ”, como medida estandarizada del grado de error de la predicción del modelo (considerando que puede variar de 0 a 1, actúa como un índice estadístico adimensional). Un valor igual a 1 señala una agrupación perfecta entre los valores observados y los simulados; por el contrario, un valor igual a 0 señala que no hay agrupación (Willmott, 1982); iii) error cuadrático medio (RMSE), que actúa como medida de las diferencias entre las observaciones y las predicciones (Nash y Sutcliffe, 1970); iv) el error medio de sesgo (MBE) muestra la desviación sistemática (Nash y Sutcliffe, 1970). Cuando el MBE obtiene un valor negativo indicará una subestimación del modelo; por el contrario, cuando es positivo está señalando una sobreestimación y v) la eficiencia del modelo (EF), según (Nash y Sutcliffe, 1970), puede variar de -1 a 1. Cuando EF obtiene un valor igual a 1 está indicando una perfecta coincidencia entre los valores simulados y los observados; por el contrario, valores de EF inferiores a 0 están mostrando que la media de los valores observados sería un mejor predictor que los valores simulados.

La energía neta leche de los forrajes (Mcal/kg MS) se estimó a partir de los contenidos de materia orgánica (MO) de la materia seca (MS) y de la digestibilidad de la materia orgánica (DMO), calculándose posteriormente la materia orgánica digestible (MOD) por kilogramo de materia seca (DOMD), utilizando la ecuación:

$$DOMD = MO \times DMO \times 0,01 \quad \text{[Ecuación 4]}$$

expresando la DOMD como g MOD/100 g MS; MO en g/100 g MS y DMO como g MO/100 g MS. La DMO del triticale fue evaluada *in vivo* a partir de ensayos previos con ovinos alimentados a nivel de mantenimiento en nave metabólica (Salcedo, 2004a, b), a partir de su contenido en fibra ácido detergente (FAD) como:

$$DMO = 133 - 1,97 \times FAD (\%MS); \pm 7,8 R^2 = 0,59 \quad \text{[Ecuación 5]}$$

A partir de los valores de DOMD se calcularon los valores de la energía leche a nivel de mantenimiento de los forrajes (ENL_m), según la expresión $ENL_m = EM \times K_l$. Se consideró el valor de 3,76 Mcal de energía metabolizable (EM) por kilogramo de MOD para forrajes verdes y secos (AFRC, 1993). La eficiencia de uso de la energía metabolizable (K_l) para la producción de leche se estimada según Vermorel et al. (1989) como $K_l = 0,463 + 0,24 \times q$, siendo q la fracción de la EM de la energía bruta (EB) como $q = EM/EB$ (Van der Honing et al., 1977). Se consideró un valor medio de EB para forrajes verdes y henos de 4,44 Mcal kg^{-1} de materia seca. La energía neta del concentrado fue estimada en base a los valores de FEDNA multiplicado por el porcentaje de cada ingrediente que forma el concentrado.

El valor relativo forrajero de los forrajes (VRF) según Moore y Undersander (2002) fue determinado a partir de las estimaciones de la materia seca digestible (DMS) e ingesta de materia seca (IMS) según las ecuaciones:

$$DMS (\% MS) = 88,9 - (0,779 \times \% FAD) \quad \text{[Ecuación 6]}$$

$$IMS (\% \text{ peso vivo}) = 120 / \% FND \quad \text{[Ecuación 7]}$$

$$VRF = (DMS \times x IMS) / 1,29 \quad \text{[Ecuación 8]}$$

Las necesidades diarias de energía neta lactación (EN_L ; Mcal) y de proteína metabolizable (g) se estimaron según el National Research Council (NRC; 2001); el calcio y el fósforo en g (NRC, 1985) y las de fibra neutro detergente (g) según Tedeschi et al. (2019). La producción diaria de leche fue corregida por grasa y proteína (Pulina et al., 2005) y el N aparentemente recobrado en leche (NAR_{leche}) según Van Horn et al. (1994).

Emisiones y huella de carbono

El ManleCO₂ fue el modelo utilizado para estimar las excretas de N y emisiones de gases de efecto invernadero (Salcedo et al., 2022). Este es un modelo empírico basado en la investigación y análisis estadístico que simula entre otros, aspectos relacionados con el manejo de la explotación, como la alimentación del ganado, fertilización del suelo, la eficiencia (suelo-planta-animal) y la salud ambiental, como las huellas de carbono, hídrica, nitrógeno, energética, etc.

Las unidades funcionales empleadas en este trabajo para la huella de carbono fueron una hectárea, una oveja y un litro de leche corregido por grasa y proteína (Pulina et al., 2005) sin considerar algún sistema de asignación, como por ejemplo leche destinada a las crías, etc.

Análisis estadístico

Las medias del manejo del pastoreo, la producción de biomasa y la composición química de triticale entre años fueron separadas mediante la prueba T para muestras independientes con el (SPSS 15.0; SPSS, 2006). El análisis de varianza para el efecto fijo ovejas (alta, baja y no lactantes) fue analizado mediante ANOVA, separándose las medias con el test de Tukey. Las emisiones por hectárea y tipo de oveja se analizaron con el modelo $Y = \mu + A_i + O_j + (AxO) + \varepsilon_{ijk}$; siendo, μ la media del conjunto; A_i es el efecto fijo del año, (2020 y 2021); O_j , efecto fijo oveja (Alta, Baja y No lactantes); AxO es la interacción y ε_{ij} el error residual. Las medias fueron separadas mediante la prueba de Tukey.

Resultados

Aspectos productivos

La producción de biomasa, el manejo del pastoreo, la alimentación, la fertilización nitrogenada y la composición química del triticale vienen indicadas en la Tabla 2. La materia seca por hectárea no fue diferente entre años, con producciones medias de 2,4 t a 2,2 t. El manejo fue similar entre años, excepto la dosis de fertilizante nitrogenado, superior en 5,2 kg ha⁻¹ el año 2021 ($P < 0,01$). Mientras, la carga instantánea, el número de días por aprovechamiento fue superior en las ovejas de alta producción ($P < 0,05$) e inferior el número de horas diarias de pastoreo ($P < 0,05$).

La compra de alimentos por oveja disminuyó un 38,6 % ($P < 0,001$) en AD_i, equivalente a 165 kg de materia seca, de los que el 37 % es concentrado y el 63 % forraje (Figura 3), sin merma en la ingesta diaria total respecto a la alimentación en pesebre (AP_e) del año 2019 (Tabla 2). El consumo de triticale (pasto) no fue diferente entre años para AD_i (Tabla 2), pero sí ($P < 0,05$) superior en las ovejas no lactantes y menor en las de alta producción. Cada kilogramo de materia seca ingerida de triticale (pasto) reduce la compra de forraje en 0,86 kg MS oveja y día ($r^2 = 0,43$; $P < 0,001$) y 0,48 kg MS oveja y día la de concentrado ($r^2 = 0,49$; $P < 0,001$), equivalente este último a un 42 % por litro de leche en AD_i (Tabla 2). La valoración de la ingestión diaria de pasto a partir de las metodologías propuestas por Salcedo (2000) y Maccoon et al. (2003) viene señalada en la Tabla 3. La simulación fue aceptable tal y como se desprende de los valores positivos de la eficiencia del modelo (EF) y mayores de cero y un índice de agrupamiento d elevado. El signo positivo del error de sesgo medio (MBE) indicó sobreestimación y un bajo porcentaje de la raíz del error cuadrático medio.

El nitrógeno aparentemente recuperado en leche (NAR_{leche}) oveja y día no fue diferente entre años, con máximos de 16,1 % en ovejas de alta producción y mínimos de 10,5 % en las de baja (Tabla 2).

Los litros de leche por oveja y día corregidos por grasa y proteína (FPCM), los litros por kilogramo de materia seca ingerida y los litros por hectárea no fueron diferentes entre años (Tabla 4) y sí entre ovejas de diferente nivel de producción ($P < 0,001$), mayor en las de alta ($P < 0,05$). Por el contrario, la leche por hectárea atribuida al pasto en las ovejas de alta fue superior ($P < 0,05$) en el año 2021 y la menor ($P < 0,05$), en las de baja del año 2020 (Tabla 4). La proteína de la leche disminuyó un 4,9 % ($P < 0,05$) y un 15,6 % la urea ($P < 0,001$) en AD_i.

Aspectos ambientales

Los gases de efecto invernadero (CH₄, CO₂ y N₂O) por hectárea, oveja y litro de leche (FPCM) para la alimentación en pesebre (AP_e, año 2019) o a diente (AD_i, años 2020 y 2021) vienen indicados en la Tabla 5. Las emisiones fuera de la explotación fueron un 46 % mayor en AP_e (Tabla 5) y, dentro de estas, la compra de alimentos representó el 87,8 % en AP_e y el 46,8 % en AD_i. Las emisiones de la producción de forrajes (compra de semillas y laboreo) incluidas en el grupo de otros y la compra de alimentos vienen señaladas en la Tabla 6. Ambas emisiones fueron un 30,3 % inferiores en AD_i respecto solo a la compra del 43,9 % en AP_e. Aquellas diferencias son imputables entre otros aspectos, al menor aporte de concentrado y forraje externo por oveja y día, señalado anteriormente (-0,16 kg y -0,66 kg materia seca y día), sin variar significativamente la producción de leche (Tabla 4). Al considerar el secuestro de carbono del estiércol y de los restos vegetales, la huella del triticale disminuyó un 71,1 %, situándose en

Tabla 2. Producción de forraje, utilización, suplementación, excreción de N y composición química del pasto entre años y ovejas.
 Table 2. Forage production, utilization, supplementation, N excretion and pasture chemical composition between years and sheep.

	Año				Ovejas						
	2019		2020		2021		P		NL	P	sd
	AP _e	AD _i	AD _i	AD _i	AD _i	AD _i	Alta	Baja			
Manejo del pastoreo											
Pastoreos, número ha ⁻¹	-	2,09	1,95	ns	2,0	1,79	2,21	ns	0,91		
Carga instantánea, ovejas ha ⁻¹	-	92	87	ns	121 ^b	81 ^{ab}	76 ^a	*	59		
Días pastoreo ha ⁻¹ y pastoreo	-	9,6	11,2	ns	15 ^b	8,1 ^a	9,1 ^a	**	6,5		
Días de intervalo entre pastoreos	-	55	42	ns	46	46	61	ns	42		
Altura pasto, cm	-	25,6	22,8	ns	28,5	21,3	23,7	ns	10,9		
Horas de pastoreo d ⁻¹	-	4,6	5,1	ns	1,66 ^a	5,8 ^b	6,2 ^b	***	2,6		
Biomasa, kg MS oferta ha ⁻¹ pastoreo ⁻¹	-	1161	1144	ns	1435	948	1125	ns	669		
Utilización pasto, %	-	89,4	88,7	ns	91,1	88,2	88,4	ns	5,04		
Velocidad crecimiento, kg MS ha ⁻¹ día ⁻¹	-	40,2	47,6	ns	60,1 ^a	37,8 ^b	38 ^b	*	25,8		
Fertilizante nitrogenado, kg ha ⁻¹	-	16,5	21,7	**	18,1	19,4	19,9	ns	4,5		
Alimentación											
Materia seca ingerida, kg oveja ⁻¹ día ⁻¹	1,96	2,46	2,42	ns	3,32 ^c	2,50 ^b	1,49 ^a	***	0,85		
Forraje externo, kg MS oveja ⁻¹ día ⁻¹	1,10	0,46	0,42	***	0,96 ^b	0,78 ^b	0,41 ^a	***	0,44		
Pasto, kg MS oveja ⁻¹ día ⁻¹	-	1,35	1,27	ns	0,86 ^a	1,24 ^c	1,64 ^b	***	0,48		
Forraje total, kg MS oveja ⁻¹ día ⁻¹	1,1	1,81	1,70	***	1,57	1,57	1,49	ns	0,44		
Concentrado, kg MS oveja ⁻¹ día ⁻¹	0,84	0,64	0,72	ns	1,75 ^c	0,92 ^b	0,00 ^a	***	0,73		
Concentrado, kg MS L ⁻¹ de leche FPCM	1,38	0,76	0,81	***	0,94	1,01	-	-	0,41		
Alimentación externa, %	100	38,3	38,9	***	82,3 ^b	68,6 ^b	39,8 ^a	***	38,4		

AP_e: alimentación en pesebre; AD_i: alimentación a diente; Alta: Grupo de alta producción; Baja: Grupo de baja producción; NL: Grupo de ovejas no lactantes; FPCM: leche corregida por grasa y proteína; N: nitrógeno; NAR_{leche}: nitrógeno aparentemente recobrado en leche; A: porcentaje sobre materia seca; ENL: energía neta lactación; MS: materia seca; PB: proteína bruta; FND: fibra neutro determinante; MOD: materia orgánica digestible; Ca: calcio; P: fósforo; Mg: magnesio; K: potasio; sd: desviación estándar; ns: no significativo; a, b, c, d dentro de cada fila difieren.

Tabla 2. Producción de forraje, utilización, suplementación, excreción de N y composición química del pasto entre años y ovejas (continuación).
 Table 2. Forage production, utilization, supplementation, N excretion and pasture chemical composition between years and sheep (continuación).

	Año				Ovejas				P	sd			
	2019		2020		2021		P				Alta	Baja	NL
	AP _e	AD _i	AD _i	AD _i	AD _i	AD _i	Alta	Baja					
<i>Utilización del N</i>													
N ingerido, g oveja ⁻¹ día ⁻¹	53,0	72,8	71,0	71,0	104,3 ^c	74,3 ^b	36,1 ^a	***	32,1				
N heces, g oveja ⁻¹ día ⁻¹	14,0	18,7	18,3	18,3	26,3 ^c	19,1 ^b	9,9 ^a	***	7,7				
N orina, g oveja ⁻¹ día ⁻¹	35,8	48,5	47,4	47,4	68,7 ^c	49,5 ^b	25,0 ^a	***	20,5				
N leche, g oveja ⁻¹ día ⁻¹	10,2	12,2	12,0	12,0	16,7	7,7	-	-	5,0				
NAR _{leche} %	11,1	13,8	12,9	12,9	16,1	10,5	-	-	3,7				
<i>Composición química del triticale</i>													
EN _r , Mcal kg MSA	-	1,53	1,66	1,66	1,64	1,60	1,57	ns	0,10				
PB, % sms ^A	-	16,9	16,8	16,8	17,1	17,5	16,2	ns	3,33				
FND, % sms ^A	-	44,5	41,6	41,6	44,5	42,7	41,3	ns	1,7				
MOD, % sms ^A	-	76,8	76,6	76,6	77,3	76,6	76,5	ns	2,6				
Azúcares totales, % sms ^A	-	18,1	17,0	17,0	18,7	17,8	18,2	ns	3,2				
Ca, % sms ^A	-	0,66	0,73	0,73	0,67	0,71	0,70	ns	0,16				
P, % sms ^A	-	0,26	0,25	0,25	0,26	0,27	0,24	ns	0,04				
Mg, % sms ^A	-	0,19	0,23	0,23	0,21	0,22	0,21	ns	0,04				
K, % sms ^A	-	2,56	2,54	2,54	2,56 ^{ab}	2,72 ^b	2,41 ^a	ns	0,37				
Valor Relativo Forrajero	-	146	159	159	145	154	160	ns	8,42				

AP_e: alimentación en pesebre; AD_i: alimentación a diente; Alta: Grupo de alta producción; Baja: Grupo de baja producción; NL: Grupo de ovejas no lactantes; FPCM: leche corregida por grasa y proteína; N: nitrógeno; NAR_{leche}: nitrógeno aparentemente recobrado en leche; A: porcentaje sobre materia seca; ENL: energía neta lactación; MS: materia seca; PB: proteína bruta; FND: fibra neutro detergente; MOD: materia orgánica digestible; Ca: calcio; P: fósforo; Mg: magnesio; K: potasio; sd: desviación estándar; ns: no significativo; a, b, c, d dentro de cada fila difieren.

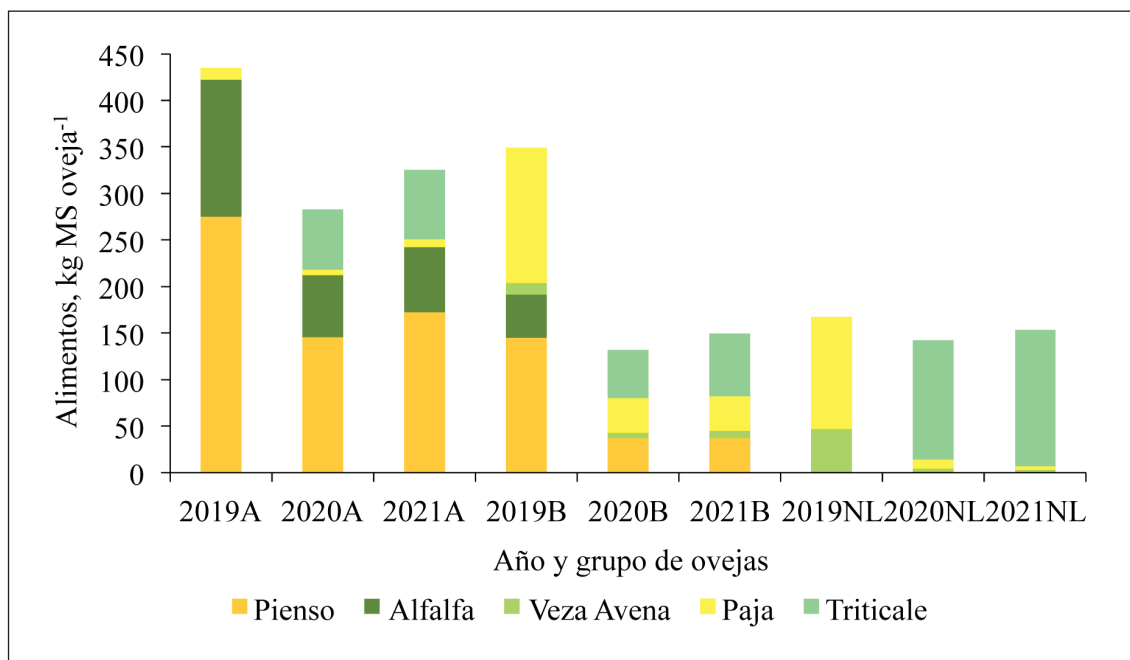


Figura 3. Kilogramos de materia seca ingerida durante 110 días en las ovejas de alta producción (A), baja producción (B) y no lactantes (NL).

Figure 3. Kilograms of dry matter ingested from each yearling and high producing (A), low producing (B) and empty ewes (NL).

Tabla 3. Evaluación estadística del modelo estimado por Maccoon et al. (2003) vs. Salcedo (2000a) para estimar el consumo de materia seca a diente de triticale.

Table 3. Statistical evaluation of the model estimated by Maccoon et al. (2003) vs. Salcedo (2000a) for estimating dry matter intake of triticale.

Modelo	n	et	r ²	Obs.	Sim.	d	r ²	RMSE, %	MBE	EF
0,103 + (0,98 × Maccoon)	45	0,37	0,62	1,40	1,32	0,86	0,63	0,59	2,8	0,61

n: número de casos; et: error de la estima; Obs.: valores observados; Sim.: valores simulados; d: índice de agrupamiento; RMSE %: raíz del error cuadrático medio; MBE: error de sesgo medio; EF: eficiencia del modelo.

Tabla 4. Producción de leche corregida por grasa y proteína (FPCM) y su composición química.
 Table 4. Fat and protein corrected milk production (FPCM) and its chemical composition.

Ovejas producción	Alimentación / Año						sd	Significación (P)		
	AP _e 2019		AD _i 2020		AD _i 2021			A	O	A x O
	Alta	Baja	Alta	Baja	Alta	Baja				
Leche, L oveja día ⁻¹	1,75 ^b	0,82 ^a	1,93 ^b	1,05 ^a	1,86 ^b	0,86 ^a	0,58	ns	***	ns
Leche, L kg ⁻¹ MS dieta	0,59 ^{bc}	0,34 ^a	0,59 ^{bc}	0,45 ^{ab}	0,62 ^c	0,35 ^a	0,16	ns	***	ns
Leche, L ha ⁻¹ pastoreo	–	–	6563 ^b	1501 ^a	6087 ^b	1604 ^a	4206	ns	***	ns
Leche, L ha ⁻¹ del pasto	–	–	626 ^{ab}	336 ^a	1026 ^b	916 ^{ab}	722	*	ns	ns
Leche, L kg ⁻¹ MS de pasto	–	–	0,46	0,46	0,58	0,57	0,26	ns	ns	ns
<i>Conjunto rebaño</i>										
Leche, L FPCM oveja ⁻¹ día ⁻¹	1,23	1,51	1,52	7,46	0,63	–	–	–	–	–
Grasa bruta, %	7,41	7,11	7,46	5,44 ^{ab}	0,38	–	–	–	–	–
Proteína bruta, %	5,68 ^b	5,36 ^a	12,9	4,28	0,85	–	–	–	–	–
Extracto quesero, %	13,1	12,5	4,16	493 ^a	0,25	–	–	–	–	–
Caseína, %	4,34	4,16	504 ^a	0,292	55,5	–	–	–	–	–
Urea, mg L ⁻¹	0,299	0,298	0,586	0,009	0,017	–	–	–	–	–
Proteína/Extracto seco	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Caseína/Proteína bruta	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–

AP_e: alimentación en pesebre; AD_i: alimentación a diente; sd: desviación estándar; O: ovejas; A: año; a, b, c, d dentro de cada fila difieren P < 0,05; ns: no significativo.

Tabla 5. Emisiones de gases de efecto invernadero por hectárea, oveja y litro de leche.
 Table 5. Greenhouse gas emissions per hectare, per sheep and liter of milk.

Grupo de ovejas	Alimentación / Año												sd	Significación (P)					
	AP _e 2019						AD _i 2020							AD _i 2021			A	O	AxO
	Alta	Baja	NL	C	Alta	Baja	NL	C	Alta	Baja	NL	C		Alta	Baja	NL	C	A	O
CH ₄ entérico, kg ha ⁻¹	142 ^c	50,8 ^{ab}	13,3 ^a	54,3	94,7 ^{bc}	27,5 ^a	22,8 ^a	43,0	103,6 ^{bc}	28,3 ^a	13,6 ^a	46,3	61,3	ns	***	ns	***	***	ns
CH ₄ estérico, kg ha ⁻¹	4,5 ^c	1,6 ^{ab}	0,96 ^a	1,98	3,0 ^{bc}	0,82 ^a	0,66 ^a	1,32	3,17 ^{bc}	0,95 ^a	0,44 ^a	1,45	1,9	ns	***	ns	***	***	ns
CH ₄ total, kg ha ⁻¹	146,4 ^c	52,5 ^{ab}	14,2 ^a	56,3	97,7 ^{bc}	28,3 ^a	23,4 ^a	44,3	106,8 ^{bc}	29,3 ^a	14,0 ^a	47,7	63,2	ns	***	ns	***	***	ns
CH ₄ total, g oveja d ⁻¹	46,6 ^e	38,1 ^d	12,1 ^a	28,6 ^X	50,0 ^{ef}	40,8 ^d	33,2 ^c	39,9 ^Y	51,9 ^f	40,5 ^d	26,5 ^b	38,4 ^Y	12,8	***	***	***	***	***	***
CH ₄ entérico, g L ⁻¹ FPCM	29,4 ^{ab}	44,5 ^c	–	38,7	26,1 ^a	37,8 ^{bc}	–	32,4	25,6 ^a	42,5 ^{bc}	–	33,4	11,6	ns	***	ns	***	***	ns
Y _m , %	6,16 ^{cd}	6,23 ^d	7,33 ^e	6,69 ^Y	6,09 ^{bc}	6,1 ^{bc}	6,05 ^{ab}	6,07 ^X	6,09 ^{bc}	6,11 ^{bc}	5,99 ^a	6,05 ^X	0,45	***	***	***	***	***	***
CH ₄ total, g L ⁻¹ FPCM	30,3 ^{ab}	46,0 ^c	–	40,0	26,9 ^a	39,0 ^{bc}	–	33,4	26,4 ^a	43,9 ^{bc}	–	34,4	12	ns	***	ns	***	***	ns
CH ₄ entérico, g kg ⁻¹ MS	14,6 ^b	14,8 ^b	11,7 ^a	13,4 ^X	14,8 ^b	16,4 ^{ab}	18,0 ^c	16,7 ^Z	15,5 ^{ab}	15,1 ^b	14,9 ^b	15,2 ^Y	2,8	***	ns	***	***	ns	***
CH ₄ entérico, g kg ⁻¹ MOD	20,4 ^{cd}	20,7 ^d	24,3 ^e	22,2 ^Y	20,2 ^{bc}	20,2 ^{bc}	20,1 ^{ab}	20,2 ^X	20,2	20,3 ^{bc}	19,9 ^a	20,1 ^X	1,5	***	***	***	***	***	***
CO ₂ , t ha ⁻¹	4,15 ^d	1,28 ^{ab}	0,25 ^a	1,46	2,60 ^{bc}	0,61 ^a	0,12 ^a	0,92	2,78 ^c	0,54 ^a	0,14 ^a	1,09	1,73	ns	***	ns	***	***	ns
CO ₂ , g oveja ⁻¹ d ⁻¹	1371 ^c	915 ^b	220 ^a	712	1313 ^c	895 ^b	387 ^a	783	1396 ^c	797 ^b	343 ^a	802	476	ns	***	ns	***	***	ns
CO ₂ , g L ⁻¹ FPCM	719 ^b	1091 ^c	–	960 ^Y	409 ^a	364 ^a	–	385 ^X	419 ^a	283 ^a	–	356 ^X	328	***	ns	***	ns	***	***
N ₂ O, kg ha ⁻¹	7,12 ^c	1,98 ^a	0,43 ^a	2,4	4,41 ^b	1,33 ^a	0,66 ^a	1,8	4,41 ^b	1,32 ^a	0,57 ^a	2,0	2,74	ns	***	ns	***	***	ns
N ₂ O, g oveja ⁻¹ d ⁻¹	2,27 ^{bc}	1,40 ^{ab}	0,40 ^a	1,15 ^X	2,26 ^{bc}	1,95 ^{bc}	2,26 ^{bc}	1,77 ^Y	2,35 ^{bc}	3,25 ^c	1,12 ^{ab}	1,82 ^Y	0,82	***	***	***	***	***	ns
N ₂ O, g L ⁻¹ FPCM	1,16 ^a	1,68 ^b	–	1,49 ^Y	0,74 ^a	0,84 ^a	–	0,79 ^X	0,72 ^a	0,92 ^a	–	0,81 ^X	0,48	***	***	***	***	***	ns
CO _{2e} fuera explotación, %	56,2 ^e	50,6 ^{de}	46,4 ^{cd}	50,0 ^Y	45,2 ^{bc}	33,7 ^b	11,1 ^a	26,9 ^X	46,3 ^{bc}	31,9 ^b	8,76 ^a	27,0 ^X	17,7	***	***	***	***	***	***
CO _{2e} dentro explotación, %	43,7 ^a	49,3 ^{ab}	53,5 ^{bc}	49,9 ^X	54,7 ^{cd}	66,2 ^d	88,8 ^a	73,0 ^Y	53,6 ^{cd}	68,1 ^d	91,2 ^e	72,9 ^Y	17,7	***	***	***	***	***	***
CO _{2e} , kg ⁻¹ MS pasto parcial	–	–	–	–	0,09	0,15	0,17	0,15	0,16	0,34	0,16	0,21	0,23	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CO _{2e} , kg ⁻¹ MS (parcial - SC)	–	–	–	–	-0,10 ^a	0,04 ^{ab}	0,11 ^{sn}	0,033	-0,12 ^a	0,24 ^b	0,11 ^{sn}	0,072	0,27	ns	ns	ns	ns	ns	ns

AP_e: alimentación en pesebre; AD_i: alimentación a diente; NL: Ovejas no lactantes; C: conjunto rebano; FPCM: leche corregida por grasa y proteína (Pulina et al., 2005); Y_m: porcentaje de energía bruta convertida en CH₄; SC: secuestro de carbono; MOD: materia orgánica digestible; sd: desviación estándar; A: año; O: ovejas; a, b, c, d, e dentro de cada fila difieren P < 0,05; X, Y, Z dentro de cada fila difieren P < 0,05.

Tabla 6. Contribución a la huella de carbono de diferentes fuentes en kilogramos de CO_{2e}.
 Table 6. Contribution to the carbon footprint of different sources in kilograms of CO_{2e}.

Grupo de ovejas	Año / Alimentación												sd			Significación (P)		
	AP _e 2019			AD _i 2020			AD _i 2021			C			A	O	AxO			
	Alta	Baja	NL	Alta	Baja	NL	Alta	Baja	NL	Alta	Baja	NL	C					
Hectárea y año																		
CH ₄ entérico	3972 ^c	1424 ^{ab}	373 ^{ab}	2711 ^{bc}	771 ^a	644 ^a	1221	2926 ^c	801 ^a	389 ^a	1308	1716	ns	***	ns			
CH ₄ manejo estiércol	127 ^c	46 ^{ab}	27 ^a	83 ^{bc}	23 ^a	18 ^a	37	89 ^{bc}	27 ^a	12 ^a	41	53	ns	***	ns			
N ₂ O manejo estiércol	0 ^a	0 ^a	0 ^a	142 ^b	126 ^b	74 ^b	108 ^Y	118 ^b	14 ^b	76 ^b	107 ^Y	79	***	***	ns			
N ₂ O emisiones directas	499 ^d	161 ^{ab}	27 ^a	301 ^{bc}	78 ^a	76 ^a	135	353 ^{cd}	84 ^a	51 ^a	156	203	ns	***	ns			
N ₂ O emisiones indirectas	0 ^a	0 ^a	0 ^a	97 ^c	46 ^{ab}	31 ^{ab}	53 ^Y	100 ^c	50 ^b	26 ^{ab}	56 ^Y	50	***	***	ns			
Compra alimentos	4473 ^c	1394 ^{ab}	361 ^a	2149 ^b	456 ^a	26 ^a	710	2251 ^b	387 ^a	12 ^a	826	1668	***	***	ns			
Fertilizantes	0 ^a	0 ^a	0 ^a	8 ^{ab}	7 ^{ab}	9 ^{ab}	8 ^{4Y}	16 ^b	3 ^{5ab}	11 ^{ab}	11 ^Y	11	***	ns	ns			
Energía (electricidad)	1301 ^b	320 ^a	0 ^b	1024 ^b	202 ^a	0 ^a	328	1097 ^b	182 ^a	0 ^a	399	678	ns	***	ns			
iLUC	2482 ^c	770 ^{ab}	632 ^{ab}	1307 ^b	271 ^a	53 ^a	446 ^X	1286 ^b	230 ^a	16 ^a	478 ^X	955	***	***	ns			
Secuestrado	0 ^a	0 ^a	0 ^a	-322 ^a	-94 ^b	-82 ^b	-148 ^Y	-331 ^a	-112 ^b	-62 ^b	-161 ^Y	174	***	***	ns			
Otros ^A	0 ^a	0 ^a	0 ^a	137 ^c	98 ^b	98 ^{bc}	108 ^Y	139 ^c	80 ^b	129 ^c	119 ^Y	67	***	ns	ns			
Huella carbono total ^B	12,8 ^c	4,12 ^{ab}	1,42 ^a	7,62 ^b	1,96 ^a	0,92 ^a	3,01	8,03 ^b	1,85 ^a	0,63 ^a	3,34	5,09	ns	***	ns			
Oveja y día																		
CH ₄ entérico	1,26 ^d	1,03 ^c	0,31 ^a	0,77 ^X	1,41 ^e	1,11 ^{cd}	0,99 ^c	1,13 ^Y	1,43 ^e	1,19 ^d	1,08 ^Y	0,37	***	***	***			
CH ₄ manejo estiércol	0,04 ^c	0,03 ^b	0,02 ^a	0,04 ^c	0,03 ^b	0,03 ^b	0,03	0,04 ^c	0,04 ^c	0,04 ^d	0,03	0,008	ns	***	*			
N ₂ O manejo estiércol	0 ^a	0 ^a	0 ^a	0,08 ^{ab}	0,22 ^c	0,19 ^{bc}	0,17 ^Y	0,09 ^{ab}	0,35 ^d	0,14 ^{bc}	0,18 ^Y	0,14	***	***	***			
N ₂ O emisiones directas	0,001	0,001	0,001	0,001 ^X	0,041	0,048	0,19	0,10 ^{Xy}	0,04	0,15	0,06	0,08 ^Y	ns	ns	ns			
N ₂ O emisiones indirectas	0 ^a	0 ^a	0 ^a	0,05 ^b	0,07 ^b	0,08 ^{bc}	0,07 ^Y	0,05 ^b	0,12 ^c	0,05 ^b	0,07 ^Y	0,05	***	ns	*			
Compra alimentos	1,43 ^a	1,0 ^d	0,32 ^b	0,79 ^Y	1,05 ^d	0,54 ^c	0,46 ^X	1,07 ^b	0,51 ^c	0,02 ^a	0,49 ^X	0,48	***	***	ns			
Fertilizantes	0 ^a	0 ^a	0 ^a	0,005 ^a	0,01 ^a	0,09 ^a	0,04	0,01 ^a	0,05 ^a	0,03 ^a	0,03	0,07	ns	ns	ns			
Energía (electricidad + gasoil)	0,46 ^c	0,22 ^b	0 ^a	0,51 ^b	0,27 ^b	0 ^a	0,21	0,51 ^c	0,12 ^b	0,05 ^b	0,22	0,21	ns	***	ns			
iLUC	0,79 ^d	0,55 ^d	0,54 ^c	0,65 ^c	0,32 ^b	0,1 ^a	0,31 ^X	0,61 ^c	0,31 ^b	0,03 ^a	0,39 ^X	0,26	***	***	***			
Secuestrado	0 ^a	0 ^a	0 ^a	-0,16 ^c	-0,15 ^{cd}	-0,14 ^c	-0,15 ^Y	-0,17 ^d	-0,15 ^{cd}	-0,12 ^b	-0,14 ^Y	0,07	***	***	ns			
Otros ^A	0 ^a	0 ^a	0 ^a	0,08 ^{ab}	0,24 ^{bc}	0,3 ^c	0,22 ^Y	0,15 ^{abc}	0,2 ^{bc}	0,32 ^c	0,23 ^Y	0,18	***	*	ns			
Huella carbono total	4,14 ^d	2,95 ^c	1,21 ^a	4,20 ^d	3,09 ^c	2,23 ^b	3,0 ^X	4,33 ^d	3,36 ^c	1,57 ^a	2,93 ^X	1,24	**	***	ns			

AP_e: alimentación en pesebre; AD_i: alimentación a diente; NL: Ovejas no lactantes; C: conjunto rebaño; FPCM: leche corregida por grasa y proteína (Pulina et al., 2005); Huella de carbono total como: (CH₄ + CO₂ + N₂O + iLUC - SC); iLUC: uso indirecto del suelo; A: compra de semillas y laboreo; B: toneladas; sd: desviación estándar; A: año; O: ovejas; a, b, c, d, e dentro de cada fila difieren P < 0,05; x, y, z dentro de cada fila difieren P < 0,05.

Tabla 6. Contribución a la huella de carbono de diferentes fuentes en kilogramos de CO_{2e} (continuación).
 Table 6. Contribution to the carbon footprint of different sources in kilograms of CO_{2e} (continuación).

Grupo de ovejas	Año / Alimentación												sd			Significación (P)		
	AP _e 2019			AD _i 2020			AD _i 2021			A	O	AxO	A	O	AxO			
	Alta	Baja	NL	C	Alta	Baja	NL	C	Alta							Baja	NL	C
	Litro de leche FPCM																	
CH ₄ entérico	0,90 ^b	1,25 ^c	-	1,08 ^Y	0,47 ^a	0,48 ^a	-	0,47 ^X	0,44 ^a	0,43 ^a	-	0,43 ^X	0,40	***	ns	ns		
CH ₄ manejo estiércol	0,03 ^b	0,04 ^c	-	0,03 ^Y	0,01 ^a	0,01 ^a	-	0,01 ^X	0,01 ^a	0,01 ^a	-	0,01 ^X	0,01	***	*	ns		
N ₂ O manejo estiércol	0 ^a	0 ^a	-	0 ^X	0,04 ^{ab}	0,09 ^{bc}	-	0,06 ^Y	0,03 ^a	0,11 ^c	-	0,06 ^Y	0,06	***	***	*		
N ₂ O emisiones directas	0,11 ^b	0,14 ^b	-	0,12 ^Y	0,05 ^a	0,05 ^a	-	0,05 ^X	0,05 ^a	0,05 ^a	-	0,05 ^X	0,04	***	ns	ns		
N ₂ O emisiones indirectas	0 ^a	0 ^a	-	0 ^X	0,019 ^b	0,031 ^{bc}	-	0,02 ^Y	0,017 ^b	0,036 ^c	-	0,02 ^Y	0,01	***	***	ns		
Compra alimentos	1,01 ^b	1,20 ^b	-	1,09 ^Y	0,32 ^a	0,24 ^a	-	0,27 ^X	0,33 ^a	0,19 ^a	-	0,26 ^X	0,46	***	ns	ns		
Fertilizantes	0 ^a	0 ^a	-	0	0,002 ^a	0,008 ^a	-	0,005	0,005 ^a	0,007 ^a	-	0,005	0,009	ns	ns	ns		
Energía (electricidad + gasoil)	0,25 ^c	0,25 ^c	-	0,25 ^Y	0,156 ^b	0,11 ^{ab}	-	0,13 ^X	0,16 ^b	0,09 ^a	-	0,12 ^X	0,07	***	*	ns		
iLUC	0,56 ^b	0,66 ^b	-	0,60 ^Y	0,19 ^a	0,014 ^a	-	0,15 ^X	0,019 ^a	0,011 ^a	-	0,15 ^X	0,25	***	ns	ns		
Secuestrado	0	0	-	0 ^Y	-0,05	-0,06	-	-0,05 ^X	-0,05	-0,06	-	-0,05 ^X	0,03	***	ns	ns		
Otros ^A	0 ^a	0 ^a	-	0 ^X	0,033 ^b	0,08 ^c	-	0,06 ^Y	0,04 ^b	0,05 ^{bc}	-	0,05 ^Y	0,03	***	***	***		
Huella carbono total	2,75 ^b	3,40 ^b	-	3,2 ^Y	1,19 ^a	1,14 ^a	-	1,12 ^X	1,15 ^a	1,02 ^a	-	1,13 ^X	1,15	***	ns	ns		

AP_e: alimentación en pesebre; AD_i: alimentación a diente; NL: Ovejas no lactantes; C: conjunto rebaño; FPCM: leche corregida por grasa y proteína (Pulina et al., 2005); Huella de carbono total como: (CH₄ + CO₂ + N₂O + iLUC - SC); iLUC: uso indirecto del suelo; A^a: compra de semillas y laboreo; B^b: toneladas; sd: desviación estándar; A: año; O: ovejas; a, b, c, d, e dentro de cada fila difieren P < 0,05; x, y, z dentro de cada fila difieren P < 0,05.

0,052 kg CO_{2e} kg⁻¹ MS (Tabla 5). No obstante, factores como un corto período de aprovechamiento (10 días ha⁻¹), amplio intervalo entre pastoreos (48 días ha⁻¹), carga instantánea de 89 ovejas ha⁻¹ (Tabla 2) y las condiciones climáticas de primavera variantes (Figura 1), pueden entre otros, ser la causa de bajos rendimientos de materia seca e incrementos de CO_{2e} por kilogramo de forraje producido.

La sustitución de AP_e no modificó entre años las emisiones por hectárea del CH₄ entérico, CO₂ y N₂O, y sí ($P < 0,001$) entre ovejas, mayores en todos los casos las de alta producción ($P < 0,05$), equivalentes a 44,1 kg ha⁻¹; 1,46 kg ha⁻¹ y 2,71 kg ha⁻¹ CH₄, CO₂ y N₂O, respectivamente, durante los años de pastoreo. Los gramos de CH₄ total (entérico + estiércol) y el N₂O oveja y día fueron diferente entre años y ovejas ($P < 0,001$), mayores en AD_i ($P < 0,05$) equivalente a 10,5 g y 0,64 g oveja y día, respectivamente. El CO₂ emitido por oveja y día no fue diferente entre años y sí entre ovejas ($P < 0,001$), mayor en las ovejas de alta producción ($P < 0,05$). Las ovejas de alta producción alimentadas en pesebre (AP_e) emitieron 4,3 g CH₄ día⁻¹ respecto a la alimentación a diente ($P < 0,05$); sin diferencias el CO₂ y N₂O (Tabla 5). Mientras, los gramos de CO₂ y N₂O por litro de leche fueron diferentes entre AP_e y AD_i ($P < 0,001$), menores en AD_i a 589 g y 0,69 g, respectivamente. El CH₄ por litro de leche fue siempre superior en las ovejas de baja producción, y dentro de estas, menor en AD_i ($P < 0,05$). El factor Y_m fue un 17,8 % superior en las ovejas no lactantes en AP_e ($P < 0,05$). El CH₄ entérico por kilogramo de materia seca fue un 19 % superior en AD_i ($P < 0,05$) y menor 9,2 % por kilogramo de materia orgánica digestible. Mientras, por kilogramo de materia orgánica digestible ingerida (MOD_i) y por litro de leche en AD_i fue equivalente a -2,0 g y -6,1 g, respectivamente.

Las emisiones de fuera y dentro de la explotación difieren entre años y ovejas ($P < 0,001$),

mayores las primeras en AP_e ($P < 0,05$) y menores las segundas en AD_i (Tabla 5). Las emisiones de la producción de triticale (compra de semillas y fertilizantes, laboreo, siembra, aplicación fertilizantes y estiércol) en AD_i equivalen a 138 kg CO_{2e} ha⁻¹ y las absorciones del estiércol (pastoreo + establo) y restos vegetales equivalen a -154 kg CO₂ ha⁻¹ (Tabla 6). La huella de carbono parcial del triticale no fue diferente entre años, con un valor medio de 0,18 kg CO_{2e} kg⁻¹ MS en oferta. Cuando se contabiliza el secuestro de carbono del estiércol (87,6 %) y 12,4 % de los restos vegetales, la huella de carbono disminuye un 71,5 %, para alcanzar el valor de 0,053 kg CO_{2e} kg⁻¹ MS. Al considerar el secuestro de carbono del estiércol y de los restos vegetales, la huella del triticale disminuyó un 71,1 %, situándose en 0,052 kg CO_{2e} kg⁻¹ MS (Tabla 5). No obstante, factores como un corto período de aprovechamiento (10 días ha⁻¹), amplio intervalo entre pastoreos (48 días ha⁻¹), carga instantánea de 89 ovejas ha⁻¹ (Tabla 2) y las condiciones climáticas de primavera variantes (Figura 1), pueden entre otros, ser la causa de bajos rendimientos de materia seca e incrementos de CO_{2e} por kilogramo de forraje producido.

Asumiendo un factor de 1,43 t CO_{2e} ha⁻¹ para el uso indirecto del suelo tanto para la compra de alimentos (Audsley et al., 2009), las emisiones medias por litro de leche fueron de 0,60 kg CO_{2e} y 0,15 kg CO_{2e} en AP_e y AD_i, respectivamente.

La Tabla 6 señala la contribución de las diferentes fuentes de emisión incluido el uso indirecto del suelo (iLUC), la absorción (secuestro de carbono, SC) y la huella de carbono total (HT) por hectárea, oveja y litro de leche. El metano entérico, la compra de alimentos y el uso indirecto del suelo forman el 87,1 % y 78,7 % de HT por hectárea; el 87,7 % y 65,1 % por oveja y el 86,5 % y 76,9 % por litro de leche para AP_e y AD_i, respectivamente. El CO_{2e} de la compra de alimentos y el iLUC fue diferente entre años por hectárea, ovejas y litro

de leche ($P < 0,001$), pero no por litro de leche entre ovejas (Tabla 6). Mientras, las emisiones del manejo del estiércol (CH_4 y N_2O) por hectárea y año, oveja y día y litro de leche fueron superiores en AD_i , equivalente a $90,2 \text{ kg CO}_{2e}$; $0,18 \text{ kg CO}_{2e}$ y $0,044 \text{ kg CO}_{2e}$, respectivamente, y siempre superiores en las ovejas de alta producción ($P < 0,001$), independientemente del año.

Las emisiones directas de N_2O difieren entre años por litro de leche ($P < 0,001$); mientras, las indirectas lo fueron por hectárea, ovejas y litro de leche (Tabla 6). La ausencia de emisiones indirectas en el año AP_e son atribuidas a la venta total del estiércol. Mientras las directas por litro de leche fueron superiores en AP_e ($P < 0,001$), con valores de $0,12 \text{ kg CO}_{2e}$ y $0,05 \text{ kg CO}_{2e}$ en AD_i , sin diferencias entre ovejas de alta y baja producción, $P < 0,05$ las indirectas, mayor en las de baja producción (Tabla 6).

La suma de N_o y N_h oveja y día se relacionó con el N_2O oveja y día (Figura 4A) y negati-

vamente por litro de leche respecto al $\text{NAR}_{\text{leche}}$ (Figura 4B).

Las emisiones derivadas de la compra de fertilizantes no fueron diferentes entre los años de pastoreo, equivalentes a $9,7 \text{ kg CO}_{2e}$ por hectárea, $0,035 \text{ kg CO}_{2e}$ por oveja y $0,005 \text{ kg CO}_{2e}$ por litro de leche. De la misma forma, el CO_{2e} de la energía no fue diferente entre años por hectárea y por oveja y sí ($P < 0,001$) por litro de leche. El iLUC fue diferente por hectárea, oveja y litro de leche ($P < 0,001$), por año y ovejas, sin diferencias por litro de leche en éstas últimas. El CO_2 del iLUC fue menor en AD_i equivalente a $0,45 \text{ kg CO}_{2e}$ por litro de leche; $0,24 \text{ kg CO}_{2e}$ por oveja y día, y 620 kg CO_{2e} por hectárea, imputable en todos los casos a la menor compra de alimentos ($r = 0,62$; $P < 0,01$). Las emisiones englobadas en el grupo de otros representan la compra de semilla y preparación del terreno y sólo en AD_i , con valores medios de 113 kg CO_{2e} , $0,22 \text{ kg CO}_{2e}$ y $0,055 \text{ kg CO}_{2e}$ por hectárea, oveja y litro de leche, respectivamente.

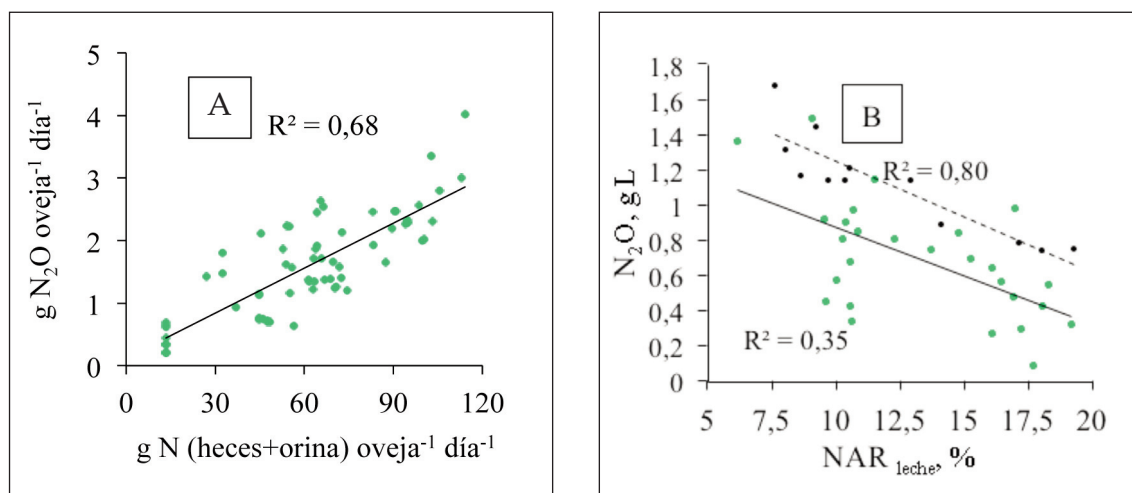


Figura 4. Relaciones entre los gramos de N_2O oveja y día y las excretas de N (A) y los gramos de N_2O por litro de leche con el nitrógeno aparente recuperado en leche (B)

Figure 4. Relationships between grams of N_2O ewes per day and N excreta (A) and grams of N_2O per litre of milk with apparent nitrogen recovered in milk (B).

El secuestro de carbono fue de -154 kg CO_2 ; $-0,14 \text{ kg CO}_2$ y $-0,05 \text{ kg CO}_2$ por hectárea, por oveja y día y por litro de leche. De esta manera el balance de emisiones o huella de carbono fue un 34,5 % inferior por hectárea, 64,8 % por litro de leche, pero incrementó un 20,8 % por oveja (Tabla 6) en AD_i . Las ovejas de alta producción tuvieron la mayor huella de carbono por hectárea (HC_h) y por oveja (HC_o), pero menor, ($P < 0,05$) por litro de leche (HC_l), (Tabla 6). La HC_h y HC_l en las ove-

jas de alta producción fue menor en AD_i un 39,1 % y 57,4 %, respectivamente, y superior un 3 % superiores para HC_o (Tabla 6). Las ovejas de baja producción de AP_e registraron la mayor HC_l , equivalente a un 68,2 % respecto a la alimentación a diente. En general y para el conjunto del rebaño, la HC_l fue menor durante el pastoreo primaveral ($P < 0,05$) respecto al régimen de alimentación en pesebre, con valores medios de $3,2 \text{ kg CO}_{2e}$ y $1,13 \text{ kg CO}_{2e}$ por litro de leche (Tabla 6 y Figura 5).

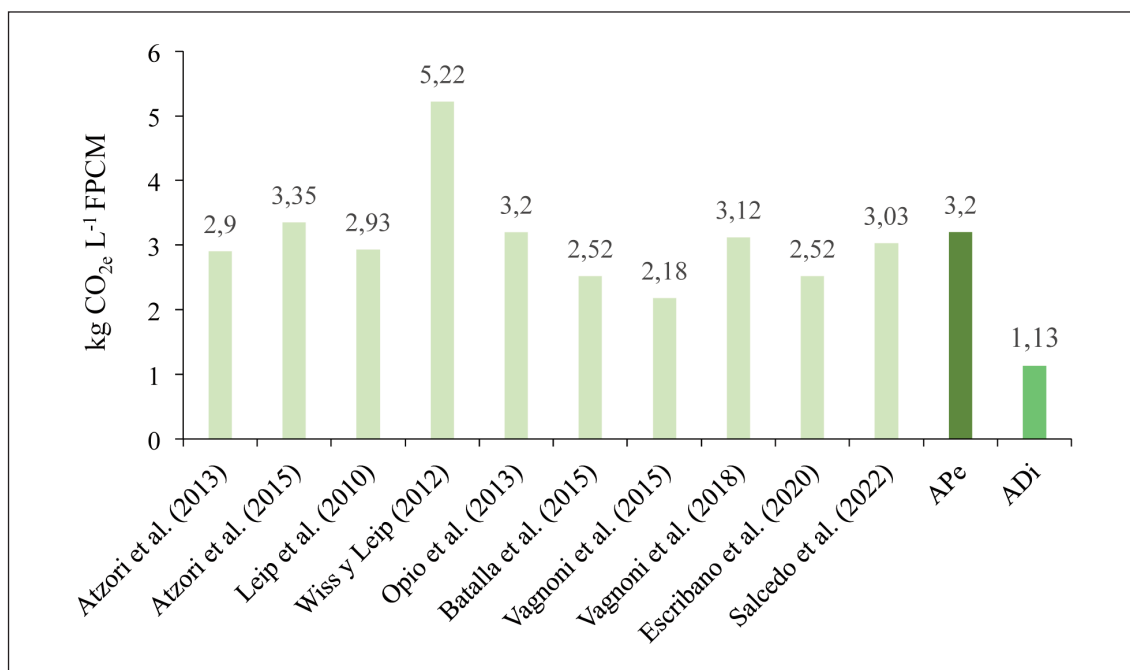


Figura 5. Comparación de la huella de carbono con valores bibliográficos.

Figure 5. Comparison of carbon footprint with bibliographic values.

Discusión

Productividad

La producción de leche de la raza de oveja Manchega ha incrementado en 52 L por lactación durante el período 2008-2019 (AGRAMA, 2019), orientándose su sistema de producción hacia

la intensificación como las razas Assaf y Lacaune (Toro-Mujica et al., 2012), con una gran especialización de la mano de obra (Montoro et al., 2007). La alimentación de las ovejas de ordeño se realiza en pesebre y, puntualmente las no lactantes, gestantes, reposición, etc., acceden a los rastrojos de cereales y pastizales (Salcedo et al., 2022). El clima en

Castilla-La Mancha es de tipo mediterráneo continentalizado, caracterizado por inviernos fríos y veranos calurosos con fuertes oscilaciones térmicas y un régimen de lluvia irregular más abundante en otoño y primavera. Estas condiciones son favorables para la producción y aprovechamiento a diente de los cereales de invierno (triticale y avena principalmente), lo que permitiría reducir los costes de alimentación (Rivas et al., 2015), a su vez, disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero (Ouatahar et al., 2021). Coincidente con Rouquette (2015), la producción y posterior aprovechamiento a diente de los pequeños cereales no suele prolongarse más allá de 110 días al año, y siempre durante los meses de febrero a mayo. La escasez de precipitaciones, el aumento de las temperaturas a finales de mayo y el final del ciclo vegetativo de los cereales de invierno, entre otras, son las principales limitaciones de prolongar el pastoreo en Castilla La Mancha.

La producción de materia seca del triticale aprovechado desde los estados de madurez GS24 a GS32 según la clasificación de Zadoks et al. (1974) fue similar a la indicada por Jacobs et al. (2009) y para los estados de crecimiento desde GS21 a GS34.

La proteína bruta del triticale fue inferior a $324 \text{ g kg}^{-1} \text{ MS}$ y $244 \text{ g kg}^{-1} \text{ MS}$ indicada por Jacobs et al. (2009) y dentro del rango de $342 \text{ g kg}^{-1} \text{ MS}$ a $525 \text{ g kg}^{-1} \text{ MS}$ la fibra neutro detergente para similares estados de madurez. No obstante, la proteína bruta se situó en valores próximos a los indicados por Peyraud y Delaby (2006), quienes no observan mejoras de producción de leche en ovejas cuando ofrecen forrajes con proteína superior a $150 \text{ g kg}^{-1} \text{ MS}$.

La ingestión de forraje está relacionada con su digestibilidad (Van Soest, 1994), otros factores como los genéticos y ambientales también lo están (Pulina et al., 2005). El mayor consumo de pasto de las ovejas no lactantes respecto a la dieta original del año 2019 ba-

sada en paja y veza-avena (Tabla 1), fue atribuido a la mayor digestibilidad del triticale, como lo muestra el elevado Valor Relativo Forrajero (Tabla 2), comparable al heno de alfalfa de primera calidad (FEDNA, 2019).

Según Rivas et al. (2015) y en ovino manchego, la alimentación externa representó el 74,5 % en las explotaciones sin tierra y el 45,5 % con ella. Más recientemente (Salcedo et al., 2022) observaron porcentajes del 63,3 % en la misma raza también en explotaciones sin tierra, lo que muestra la gran dependencia alimenticia del exterior. El cambio de la alimentación en pesebre (AP_e) a diente (AD_e) durante la primavera disminuyó la compra de alimentos un 39,5 %, equivalente a $0,16 \text{ kg MS}$ y $0,66 \text{ kg MS}$ oveja y día de forraje y concentrado, respectivamente. La suma de aquellos fue inferior a $1,31 \text{ kg MS}$ oveja y día de pasto, circunstancia que pudo favorecer un ligero incremento en la producción de leche. Cuando el pasto es de buena calidad, la suplementación debe dirigirse además de incrementar la producción y concentración proteica de la leche a equilibrar la energía y el nitrógeno que mejore el crecimiento microbiano (Molle et al., 2008). La mayor concentración de azúcares y la relación azúcares/proteína bruta del triticale (17,5 % y 1,05 %) respecto al heno de alfalfa (11,2 % y 0,50 %) pudieron contribuir a más NH_3 ruminal utilizado para formar proteína microbiana, como se desprende de las mejoras numéricas de $\text{NAR}_{\text{leche}}$ sin variar el volumen de leche.

Los cultivos forrajeros anuales tienen un potencial productivo superior a los forrajes naturales y seminaturales (Molle et al., 2008). Sin embargo, otros factores como el tiempo de acceso (Bonanno et al., 2007) o el aprovechamiento con una altura de planta inferior a 6 cm (Iason et al., 1999), puede disminuir el consumo y la producción de leche. Coincidente con Iason et al. (1999), la altura de pasto no fue limitante, pero sí, el menor número de horas de pastoreo en las ovejas de alta producción.

Aspectos ambientales

La alimentación a diente (AD_i) de triticale conlleva emisiones de CO_2 propias de cultivo como semillas, fertilizantes, laboreo, energía, etc.; y emisiones de CH_4 y N_2O procedentes del manejo del estiércol (reparto, volatilización, lixiviados, etc.). La huella de carbono de un kilogramo de materia seca de triticale fue inferior a la señalada por Rotz et al. (2012) de 0,2 kg CO_{2e} , y dentro del rango de 0,14-0,27 kg CO_{2e} kg^{-1} MS para el heno de alfalfa indicado por Adom et al. (2012).

Coincidente con Niu et al. (2018), el mayor consumo de materia seca en AD_i favoreció superiores emisiones de metano entérico. Aquellos autores señalan a la ingestión como la mejor variable y positivamente relacionada con la producción de CH_4 entérico. Para animales en pastoreo, el valor de la emisión de metano fue similar a ovejas alimentadas con hierba verde señalado por Swainson et al. (2018). Pinares-Patiño et al. (2003) indicaron mayor consistencia estadística cuando el CH_4 entérico se expresa en g kg^{-1} MOD_i respecto a MS_i en vacas de carne, coincidente en este trabajo con ovino lechero sobre pastoreo de triticale. El efecto de incrementar la digestibilidad de los forrajes como estrategia de mitigación del CH_4 entérico en los rumiantes fue discutido por Van Gastelen et al. (2019). Niu et al. (2018) señalaron para vacas lecheras que el factor de conversión de la energía bruta en metano entérico (Y_m) está relacionado con la digestibilidad de la materia orgánica de la dieta y la concentración de carbohidratos no fibrosos (almidón y azúcares solubles). La menor digestibilidad de la materia orgánica y la superior concentración de azúcares del triticale respecto a los henos de alfalfa y de veza-avena (datos no mostrados) pudo reducir el factor Y_m en AD_i . El ligero aumento de ingestión en AD_i y la superior digestibilidad del triticale son factores potenciales que contribuyen a incrementar la tasa de paso y acortar el tiempo de retención

del alimento en el rumen, reduciéndose la fermentación ruminal y la digestibilidad de la materia orgánica, disminuyendo finalmente la producción de CH_4 por unidad de alimento (Boadi et al., 2004). El factor Y_m fue diferente entre las ovejas de alta producción y no lactantes, pero dentro del rango de 6,5 % señalado por el IPCC (2006).

El porcentaje de metano entérico en CO_{2e} de la huella total por litro de leche (HC_l) sin considerar el iLUC ni el secuestro de carbono fue superior tanto en AP_e como AD_i respecto al indicado por Batalla et al. (2015) en rebaños de ovejas del País Vasco. Posiblemente las diferencias tengan su origen en la asunción de 8,2 kg de CH_4 entérico oveja y año (Merino et al., 2011) y el factor Y_m de 6,5 % (IPCC, 2006), sin definir aspectos como los del presente trabajo de consumo de materia seca, la digestibilidad de la dieta, número de ovejas no lactantes dentro del rebaño, y producciones de leche y peso vivo inferiores a las de este estudio de 0,32 L de leche cabeza y día y 55 kg, respectivamente.

Durante el almacenamiento y posterior aplicación del estiércol al campo, se generan emisiones de la materia orgánica (MO), convirtiéndose en menor medida en CH_4 durante la descomposición anaerobia (Amon et al., 2006) y N, mayoritariamente en NH_3 y N_2O (Chadwick et al., 2011; Gerber et al., 2013). Los porcentajes de CH_4 y N_2O en CO_{2e} del manejo del estiércol por litro de leche fueron similares a los señalados por Batalla et al. (2015) en rebaños de Assaf y Latxa. Las menores emisiones de N_2O en AP_e son atribuidas a la venta de estiércol del año 2019 antes del experimento.

El óxido nitroso (N_2O) es un potente gas de efecto invernadero (Myhre et al., 2013), con un significativo potencial de calentamiento (IPCC, 2014), producido a través del proceso incompleto de la desnitrificación o como subproducto de la nitrificación (Tiedje, 1982; Wrage et al., 2004). La deposición de las ex-

cretas en el suelo durante el pastoreo, la aplicación del estiércol y fertilizantes junto con la descomposición de los restos vegetales representan las fuentes de N_2O directas. Las indirectas proceden principalmente de la volatilización del NH_3 y NO_x , depositándose posteriormente en NH_4^+ y NO_3^- y la lixiviación de nitratos (Matthews et al., 2010). En este trabajo, las emisiones directas del N_2O en CO_{2e} de la huella de carbono de un litro de leche (HC_l) tanto en AP_e como en AD_i fueron inferiores a las indicadas por Batalla et al. (2015), imputable al menor aporte de fertilizante y similares en AD_i .

Parte del N ingerido (N_i) y no recuperado en leche (NAR_{leche}) se elimina vía orina (N_o) y heces (N_h), quedando una pequeña parte retenido en el tejido (Cameron et al., 2013), contribuyendo a la formación de NO_3^- , NH_3 y N_2O (Oddy y Hayne, 2011; Zhao et al., 2016). La ingestión de N es un predictor simple del N_h y N_o en ovino (Zhao et al., 2016). Estos autores señalan pendientes y coeficientes de determinación de $[0,12 \text{ g } N_h \text{ g}^{-1} N_i \text{ (} r^2 = 0,77 \text{)}]$ y $[0,45 \text{ g } N_o \text{ g}^{-1} N_i \text{ (} r^2 = 0,70 \text{)}]$ respectivamente, similares a $0,49 \text{ g } N_o \text{ g}^{-1} N_i \text{ (} r^2 = 0,71 \text{)}$ obtenidas por Salcedo (2005) en ovinos alimentados con forraje de trigo verde de diferente estado de madurez, sin pendientes significativas para el N_h de $7,9 \pm 1,7 \text{ g}$ oveja y día. El presente trabajo usa las pendientes del $ManCO_2$ de $0,24 \text{ g } N_h$ y $0,64 \text{ g } N_o$ por gramo de N_i (Salcedo et al., 2022), próximas a las señaladas por Zhao et al. (2016).

Khanaki et al. (2021) compararon la excreción del N_o , N_h y NAR_{leche} (N aparentemente recuperado en leche) en ovejas de alto mérito genético (G) respecto al aumento de consumo (F), concluyendo que ambos grupos tienden a incrementar N_o y N_h , pero la digestibilidad del N fue superior en el grupo G y el NAR_{leche} en F. En el presente trabajo, la suma de N_o y N_h oveja y día se relacionó con el N_2O oveja y día (Figura 4A) y, negativamente por litro de leche respecto al NAR_{leche}

(Figura 4B). Posiblemente, el mayor consumo de proteína degradable en rumen en AD_i respecto a AP_e podría no haber sido más utilizada en su totalidad para síntesis de proteína microbiana, transformando el exceso de amoníaco en urea por el hígado y filtrado por el riñón en urea y liberada mayoritariamente en la orina (Nocek y Russell, 1988), susceptible de mineralizarse, aumentando así las emisiones de N_2O en pastoreo.

La Figura 5 compara la huella de carbono de un litro de leche (HC_l) en AP_e y AD_i (incluyendo el iLUC y el secuestro de carbono) respecto a valores bibliográficos (Leip et al., 2010; Weiss y Leip, 2012; Atzori et al., 2013; Opio et al., 2013; Atzori et al., 2015; Batalla et al., 2015; Vagnoni et al., 2015; Vagnoni y Franca, 2018; Escribano et al., 2020; Salcedo et al., 2022). La huella de carbono en AP_e fue similar al valor medio de las referencias indicadas y superiores a la de AD_i . Al igual que algunas de aquellas publicaciones (Leip et al., 2010; Atzori et al., 2013; Atzori et al., 2015) este trabajo no señala ningún tipo de asignación (p.e. económica, leche destinada a las crías) y otros como Weiss y Leip, 2012; Opio et al., 2013; Batalla et al., 2015; Vagnoni et al., 2015; Vagnoni y Franca, 2018; Escribano et al., 2020 y Salcedo et al., 2022, si la indican.

Si a la suma del $CH_4 + CO_2 + N_2O + iLUC$ se le resta el secuestro de carbono en AP_e , la huella de carbono resulta superior a la indicada por Batalla et al. (2015) y Escribano et al. (2020), respectivamente, e inferior en AD_i (Tabla 6). Otros autores como Leip et al. (2010) incorporan en el cálculo el uso indirecto del suelo aplicando el modelo CAPRI (Britz y Witzke, 2008) de $2,9 \text{ kg } CO_{2e}$ o valorando las emisiones derivadas de la soja (Opio et al., 2013) de $2,3 \text{ kg } CO_{2e}$.

El secuestro de carbono por litro de leche en AD_i fue inferior al indicado por (Batalla et al., 2015) explotaciones de raza Latxa del País Vasco y en explotaciones extremeñas de ovino Merino y Lacaune (Escribano et al., 2020),

aplicando en todos los casos la metodología indicada por Petersen *et al.* (2013). Posiblemente, la base del pastoreo (cultivos forrajeros anuales) aporte menos carbono radicular que los pastos permanentes, además no se consideró en este trabajo las pérdidas de carbono por laboreo. Aumentos de 0,43 t C ha⁻¹ año⁻¹ a 0,71 t C ha⁻¹ año⁻¹ en el suelo fueron señalados por West y Post (2002) cuando se reduce el laboreo. Otros, como Vleeshouwers y Verhagen (2002) indican sequestrados de 0,52 t C ha⁻¹ año⁻¹ en praderas y -0,84 t C ha⁻¹ año⁻¹ en tierras arables. La mayor aplicación de fertilizante nitrogenado en las praderas del País Vasco pudo aumentar el sistema radicular, por añadidura el carbono (Liang *et al.*, 1996; Conant *et al.*, 2011).

Conclusiones

Las condiciones de humedad y temperatura durante la primavera en Castilla La Mancha son favorables para el aprovechamiento a diente de los cereales de invierno, pudiendo reducirse parte de la compra de forrajes y concentrado, sin merma de la producción de leche. El valor nutritivo del triticale aprovechado en pastoreo por ovejas es comparable al heno de alfalfa. Las emisiones del triticale procedentes del cultivo se sitúan próximas al equilibrio con las absorciones procedentes del estiércol y de la biomasa del pisoteo. El mantenimiento de la producción de leche unido a la menor suplementación externa en pesebre, permitieron reducir un 65 % la huella de carbono de un litro de leche durante el pastoreo de primavera respecto al mismo período con una alimentación en pesebre.

Agradecimientos

Los autores desean manifestar su agradecimiento al IRIAF-CERSYRA y AGRAMA por la financiación y apoyo logístico, así como al

personal de finca Cirilo Arroyo Lillo y Ángel de la Torre Pérez por el cuidado de los animales y el compromiso con este trabajo.

Referencias bibliográficas

- Adom F, Maes A, Workman Ch, Clayton-Nierderman Z, Thoma G, Shonnard D (2012). Regional carbon footprint analysis of dairy feeds for milk production in the USA. *The International Journal Life Cycle Assessment* 17: 520-534. <https://doi.org/10.1007/s11367-012-0386-y>
- AFRC (1993). Energy and protein requirements of ruminants, an advisory manual prepared by the AFRC Technical Committee on Responses to Nutrients. CAB International, Wallingford, UK. 176 pp.
- AGRAMA (2019). Asociación Nacional de Criadores de Ganado ovino Selecto de Raza Manchega. Memoria del programa de mejora genética de la raza ovina Manchega. 165 pp.
- Amon B, Kryvoruchko V, Amon T, Zechmeister-Boltenster S (2006). Methane, nitrous oxide and ammonia emissions during storage and after application of dairy cattle slurry and influence of slurry treatment. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 112: 153-162. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2005.08.030>
- Audsley E, Brander M, Chatterton J, Murphy-Borcken 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 to reduce them by 2050. Report for the WWF-UK. 85 pp.
- Atzori AS, Rassu PG, Cannas A, Pulina G (2013). Partial carbon footprint of dairy sheep farms: simulated results from 4 different scenarios. *Proceedings of the 20th ASPA Congress*, 11-13 junio, Bologna, Italy.
- Atzori AS, Furesi R, Madau FA, Pulina P, Rassu PG (2015). Sustainability of dairy sheep production in pasture lands: a case study approach to integrate economic and environmental perspectives. *Rivista di Studi sulla Sostenibilità*, 1: 117-134. <https://doi.org/10.3280/RISS2015-001008>

- Batalla I, Knudsen MT, Mogensen L, Hierro O, Pinto M, Hermansen JE (2015). Carbon footprint of milk from sheep farming systems in Northern Spain including soil carbon sequestration in grassland. *Journal Clean Production* 104: 121-129. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.05.043>
- Bellarby J, Tirado R, Leip A, Weiss F, Lesschen JP, Smith P (2013). Livestock greenhouse gas emissions and mitigation potential in Europe. *Global Change Biology* 19: 3-18. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2012.02786.x>
- Boadi D, Benchaar C, Chiquette J, Masse D (2004). Mitigation strategies to reduce enteric methane emissions from dairy cows: Update review. *Canadian Journal of Animal Science* 84: 319-335. <https://doi.org/10.4141/A03-109>
- Bonanno A, Grigoly A, Vargetto D, Tornambè G, Micely G, Giambalvo D. (2007). Grazing sulla and/or ryegrass forage for 8 or 24 h daily. 1. Effects on ewes feeding behaviour. *Grassland Science in Europe* 12: 208-211.
- Britz W, Witzke P (2008). CAPRI model documentation 2008: Version 2. Institute for Food and Resource Economics, University of Bonn, Germany.
- Cameron KC, Di HJ, Moir JL (2013). Nitrogen losses from the soil/plant system: A review. *Annals of Applied Biology* 162(2): 145-173. <https://doi.org/10.1111/aab.12014>
- Chadwick D, Sommer S, Thorman R, Fanguero D, Cardenas L, Amon B, Misselbrook T (2011). Manure management: Implications for greenhouse gas emissions. *Animal Feed Sciences and Technology* 166-167: 514-531. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.04.036>
- Conant R, Paustian TK, Elliott ET (2011). Grassland management and conversion into grassland: Effects on soil carbon. *Ecological Applications* 11(2): 343-355. [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(2001\)011\[0343:GMACIG\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(2001)011[0343:GMACIG]2.0.CO;2)
- Dumont B, Groot JJC, Tichit M (2018). Review: Make ruminants green again-how can sustainable intensification and agroecology converge for a better future? *Animal* 12(s2): 210-219. <https://doi.org/10.1017/S1751731118001350>
- Escribano M, Elghannam A, Mesias FJ (2020) Dairy sheep farms in semi-arid rangelands: A carbon footprint dilemma between intensification and land-based grazing. *Land Use Policy* 95, 104600. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104600>
- FEDNA (2019). Tablas FEDNA de composición y valor nutritivo de alimentos para la fabricación de concentrados compuestos (4ª edición) (Ed. de Blas C, Mateos GG y García-Rebollar P). Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal, Madrid, España. 604 pp.
- Gerber PJ, Steinfeld H, Henderson B, Mottet A, Opio C, Dijkman J, Falcucci A, Tempio G (2013). Tackling climate change through livestock: a global assessment of emissions and mitigation opportunities. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Roma, Italia.
- Iason GR, Mantecon AR, Sim DA, Gonzalez J, Foreman E, Bermudez FF, Elston DA (1999). Can grazing sheep compensate for a daily foraging time constraint?. *Journal of Animal Ecology* 68(1): 87-93. <http://dx.doi.org/10.1046/j.1365-2656.1999.00264.x>
- IPCC (2006). Guidelines for national greenhouse gas inventories. Intergovernmental Panel on Climate Change.
- IPCC (2014). AR5, Climate Change Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. (Eds. Edenhofer O, Pichs-Madruga R, Sokona Y, Farahani E, Kadner S, Seyboth K, Adler A, Baum I, Brunner S, Eickemeier P, Kriemann B, Savolainen J, Schlömer S, von Stechow C, Zwickel T, Minx JC). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 1435 pp.
- Jacobs JL, Hill J, Jenkin T (2009). Effect of different grazing strategies on dry matter yields and nutritive characteristics of whole crop cereals. *Animal Production Science* 49(7): 608-618. <https://doi.org/10.1071/EA08245>
- Khanaki H, Dewhurst RJ, Leury BJ, Cantalapiedra-Hijar G, Edwards GR, Logan C, Cheng L (2021). The effect of sheep genetic merit and feed allowance on nitrogen partitioning and isotopic discrimination. *Animal* 15(12): 100400. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2021.100400>

- Leip A, Weiss F, Wassenaar T, Pérez I, Fellmann T, Loudjani P, Tubiello F, Grandgirard D, Monni S, Biala K (2010). Evaluation of the livestock sector's contribution to the EU Greenhouse Gas Emissions (GGELS) – Final Report European Commission. European Commission, Joint Research Centre. 323 pp.
- Liang BC, Gregorich EG, Mackenzie AF (1996). Modeling the effects of inorganic and organic amendments on organic matter in a Quebec soil. *Soil Science* 161: 109-113.
- Macon G, Sollenberger LE, Moore JE, Staples CR, Fike JH, Portier KM (2003). Comparison of three techniques for estimating the forage intake of lactating dairy cows on pasture. *Journal Animal Science* 81: 2357-2366. <https://doi.org/10.2527/2003.8192357x>
- Matthews RA, Chadwick DR, Retter AL, Blackwell MSA, Yamulki S (2010). Nitrous oxide emissions from small-scale farmland features of UK livestock farming systems. *Agricultural Ecosystem Environmental* 136: 192-198. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2009.11.011>
- Merino P, Ramírez-Fanlo E, Arriaga H, del Hierro O, Artetxe A, Viguria M (2011). Regional inventory of methane and nitrous oxide emission from ruminant livestock in the Basque Country. *Animal Feed Science and Technology* 166-167: 628-640. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.04.081>
- Molle G, Decandia M, Cabiddu A, Landau SY, Cannas A (2008). An update on the nutrition of dairy sheep grazing Mediterranean pastures. *Small Ruminant Research* 77: 93-112. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2008.03.003>
- Montoro V, Vicente J, Rincón E, Pérez-Guzmán MD, Gallego R, Rodríguez JM, Arias R, Garde JJ (2007). Actualidad de la producción de ovino lechero en la Comarca Montes Norte de Ciudad Real: I. Estructura de las explotaciones. XXXII Jornadas Científicas y XI Jornadas Internacionales de Ovinotecnia y Caprinotecnia, 19-21 de septiembre, Mallorca, España. pp: 134.
- Moore JE, Undersander DJ (2002). Relative forage quality: an alternative to relative value and quality index. *Proceedings of the 13th Annual Florida Ruminant Nutrition Symposium*, 11-12 enero, Gainesville, FL, USA. pp 16-32.
- Myhre G, Shindell D, Bréon FM, Collins W, Fuglestvedt J, Huang J, Koch D, Lamarque JF, Lee D, Mendoza B, Nakajima T, Robock A, Stephens G, Takemura T, Zhang H (2013). Anthropogenic and natural radiative forcing. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (Eds. Stocker TF, Qin D, Plattner GK, Tignor M, Allen SK, Boschung J, Nauels A, Xia Y, Bex V, Midgley PM), pp. 659-740. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Nash JE, Sutcliffe JV (1970). River flow forecasting through conceptual models part I – A discussion of principles. *Journal of Hydrology* 10(3): 282-290. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(70\)90255-6](https://doi.org/10.1016/0022-1694(70)90255-6)
- National Research Council (1985). *Nutrient Requirements of Sheep, Sixth Revised Edition*. National Academy Press: Washington, DC, USA.
- National Research Council (2001). *Nutrient Requirements for Dairy Cattle, seventh revised Edition*. National Academy Press, Washington, D.C., USA. 408 pp.
- Niu M, Kebreab E, Hristov A, Oh J, Arndt C, Bannink A, Bayat AF, Brito A, Boland T, Casper D, Crompton LA, Dijkstra J, Eugene MA, Garnsworthy PC, Haque MN, Hellwing AL, Huhtanen P, Kreuzer M, Kuhla B, Lund P, Madsen J, Martin C, McClelland S, McGee M, Moate JP, Muetzel S, Muñoz C, O'Kiely P, Peiren N, Reynolds C, Schwarm A, Shingfield K, Storlien T, Weisbjerg M, Yáñez-Ruiz D, Yu Z (2018). Prediction of enteric methane production, yield, and intensity in dairy cattle using an intercontinental database. *Global Change Biology* 24(8): 3368-3389. <https://doi.org/10.1111/gcb.14094>
- Nocek JE, Russell JB (1988). Protein and energy as an integrated system. Relationship of ruminal protein and carbohydrate availability to microbial synthesis and milk production. *Journal of Dairy Science* 71: 2070-2107. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(88\)79782-9](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(88)79782-9)
- Oddy H, Haynes F (2011). Nitrous oxide is no laughing matter – issues arising from anthropogenic reactive nitrogen use and the role of reducing nitrogen excretion from livestock. *Recent Advances in Animal Nutrition – Australia* 18: 177-186.

- Opio C, Gerber P, Mottet A, Falcucci A, Tempio G, MacLeod M, Vellinga T, Henderson B, Steinfeld, H (2013). Greenhouse gas emissions from ruminant supply chains – A global life cycle assessment. Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO), Roma, Italia. 214 pp.
- Ouatahar L, Bannink A, Lanigan G, Amon B (2021). Modelling the effect of feeding management on greenhouse gas and nitrogen emissions in cattle farming systems. *Science of the Total Environment* 776: 145932. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145932>
- Petersen BM, Knudsen MT, Hermansen JE, Halberg N (2013). An approach to include soil carbon changes in life cycle assessments. *Journal of Cleaner Production* 52: 217-224. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.03.007>
- Peyraud JL, Delaby L (2006). Grassland management with emphasis on N flows. En: *Fresh Herbage for Dairy Cattle, the Key to a Sustainable Food Chain* (Eds. Elgersma A, Dijkstra J y Tamminga S) pp. 103-124. Wageningen UR Frontis Seris, Wageningen, The Netherlands.
- Pinares-Patiño CS, Baumont R, Martin C (2003). Methane emissions by Charolais cows grazing a monospecific pasture of timothy at four stages of maturity. *Canadian Journal of Animal Science* 83: 769-777. <https://doi.org/10.4141/A03-034>
- Poore J, Nemecek T (2018). Reducing food's environmental impacts through producers and consumers. *Science* 360(6392): 987-992. <https://doi.org/10.1126/science.aaq0216>
- Pulina G, Macciotta N, Nudda A (2005). Milk composition and feeding in the Italian dairy sheep. *Journal of Animal Science Italian Journal Animal Science* 4(1): 5-14. <https://doi.org/10.4081/ijas.2005.1s.5>
- Reynolds C, Crompton L, Mills J (2010). Livestock and climate change impacts in the developing world. *Outlook Agriculture* 39: 245-248. <https://doi.org/10.5367/oa.2010.0015>
- Rivas J, Perea J, Angón E, Barba C, Morantes M, Dios-Palomares R, García A (2015). Diversity in the dry land mixed system and viability of dairy sheep farming. *Italian Journal Animal Science* 14: 3513. <https://doi.org/10.4081/ijas.2015.3513>
- Rotz C, Michael S, Chianese D, Montes F, Hafner S, Colette C (2012). The integrated farm system model. Reference Manual, Version 3, 6.
- Rouquette FM (2015). Grazing systems research and impact of stocking strategies on pasture-animal production efficiencies. *Crop Science* 55(6): 2513-2530. <https://doi.org/10.2135/cropsci2015.01.0062>
- Salcedo G (2000). Efectos del tipo de proteína suplementada a vacas de leche en pastoreo sobre la producción y composición química de la leche. *ITEA-Información Técnica Económica Agraria* 96A(2): 126-142.
- Salcedo G (2004a). El trigo (*Triticum aestivum*) utilizado como forraje en la zona costera de Cantabria: (1) Producción, composición química y degradabilidad ruminal. XLIV Reunión Científica de la Sociedad Española para el Estudio de los Pastos, 10-14 mayo, Salamanca, España. pp. 303-308.
- Salcedo G (2004b). El trigo (*Triticum aestivum*) utilizado como forraje en la zona costera de Cantabria: (2) Predicción de la producción, valor nutritivo y degradabilidad ruminal, XLIV Reunión Científica de la Sociedad Española para el Estudio de los Pastos, 10-14 mayo, Salamanca, España. pp. 309-315.
- Salcedo G (2005). Efectos del estado de madurez del trigo (*Triticum aestivum*) utilizado como forraje sobre el consumo de materia seca, digestibilidad, y balance en nitrógeno. XLV Reunión Científica de la Sociedad Española para el Estudio de los Pastos. 28 mayo – 3 junio, Gijón, España. pp. 113-120.
- Salcedo G (2020). Fuentes de variación en las emisiones de gases de efecto invernadero en los sistemas lecheros de la España húmeda. *Vaca Pinta* 17: 2-12.
- Salcedo G, García O, Jiménez L, Gallego R, González-Cano R, Arias R (2022). GHG emissions from dairy small ruminants in Castilla-La Mancha (Spain), using the ManleCO₂ simulation model. *Animals* 12: 793. <https://doi.org/10.3390/ani12060793>
- SPSS (2006). Statistical Package for the Social Sciences. Guía breve de SPSS 15.0. SPSS Inc. Chicago.

- Swainson N, Muetzel S, Clark H (2018). Updated predictions of enteric methane emissions from sheep suitable for use in the New Zealand national greenhouse gas inventory. *Animal Production Science* 58: 973-979. <http://dx.doi.org/10.1071/AN15766>
- Tedeschi L, Molle G, Menendez H, Cannas A, Fonseca M (2019). The assessment of supplementation requirements of grazing ruminants using nutrition models. *Translational Animal Science* 3(2): 811-828. <https://doi.org/10.1093/tas/txy140>
- Tiedje JM (1982). Denitrification. En: *Methods of Soil Analysis Part 2* second ed. (Ed. Page AL), pp. 1011-1024 American Society of Agronomy, Madison, WI. <https://doi.org/10.2134/agronmonoqr9.2.2ed.c47>
- Toro-Mujica P, García A, Gómez-Castro A, Perea J, Rodríguez-Estévez V, Angón E, Barba C (2012). Organic dairy sheep farms in south-central Spain: Typologies according to livestock management and economic variables. *Small Ruminant Research* 104 (1-3): 28-36. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2011.11.005>
- Vagnoni E, Franca A, Breedveld L, Porqueddu C, Ferrara R, Duce P (2015). Environmental performances of Sardinian dairy sheep production systems at different input levels. *Science of the Total Environment* 502: 354-361. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.09.020>
- Vagnoni E, Franca A (2018). Transition among different production systems in a Sardinian dairy sheep farm: environmental implications. *Small Ruminant Research* 159: 62-68. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2017.12.002>
- Van der Honing Y, Steg A, Van Es AJH (1977). Feed evaluation for dairy cows: Tests on the system proposed in the Netherlands. *Livestock Production Science* 4(1): 57-67. [https://doi.org/10.1016/0301-6226\(77\)90020-3](https://doi.org/10.1016/0301-6226(77)90020-3)
- Van Gastelen S, Dijkstra J, Bannink A (2019). Are dietary strategies to mitigate enteric methane emission equally effective across dairy cattle, beef cattle, and sheep? *Journal Dairy Science* 102: 6109-6130. <https://doi.org/10.3168/jds.2018.15785>
- Van Horn HH, Wilkie AC, Powers WJ, Nordstedt RA (1994). Components of dairy manure management systems. *Journal of Dairy Science* 77: 2008-2030. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(94\)77147-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(94)77147-2)
- Van Soest PJ (1994). *Nutritional ecology of the ruminant*. 2nd ed. Ithaca: Cornell University Press. 488 pp.
- Vermorel M (1989). Energy: the feed unit system. En: *Ruminant nutrition: Recommended allowances and feed tables* (Ed, Jarrige R), pp. 23-32. INRA e John Libbey Eurotext, Paris, Francia.
- Vleeshouwers LM, Verhagen A (2002). Carbon emission and sequestration by agricultural land use: a model study for Europe. *Global Change Biology* 8(6): 519-530. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2486.2002.00485.x>
- Weiss F, Leip A (2012). Greenhouse gas emissions from the EU livestock sector: a life cycle assessment carried out with the CAPRI model. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 149: 124-134. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.12.015>
- West TO, Post WM (2002) Soil organic carbon sequestration rates by tillage and crop rotation: a global data analysis. *Soil Science Society of America Journal* 66: 1930-1940. <https://doi.org/10.2136/sssaj2002.1930>
- Willmott CJ (1982). Some comments on the evaluation of model performance. *Bulletin American Meteorological Society* 63: 1309-1313. [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1982\)063<1309:SCOTEO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1982)063<1309:SCOTEO>2.0.CO;2)
- Wrage N, Velthof GL, Laanbroek HJ, Oenema O (2004). Nitrous oxide production in grassland soils: assessing the contribution of nitrifier denitrification. *Soil Biology and Biochemistry* 36: 229-236. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2003.09.009>
- Zadoks JC, Chang TT, Konzak CF (1974). A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research* 14: 415-421. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.1974.tb01084.x>
- Zhao YG, Gordon AW, O'Connell NE, Yan T (2016). Nitrogen utilization efficiency and prediction of nitrogen excretion in sheep offered fresh perennial ryegrass (*Lolium perenne*). *Journal Animal Science* 94: 5321-5331. <https://doi.org/10.2527/jas.2016-0541>

(Aceptado para publicación el 17 de marzo de 2023)

Determinación del patrón de crecimiento en cerdo ibérico (50 % Duroc) criado en régimen extensivo desde los 70 a los 365 días de edad

Guillermo Usero-Alonso^{1,4,*}, Jose A. López-Moya¹, Francisco Gil-Rueda⁴, Beatriz Isabel Redondo³, Guillermo Ramis-Vidal² y Antonio Muñoz-Luna^{2,4}

¹ Estudiante de Doctorado en Ciencias Veterinarias, Escuela Internacional de Doctorado de la Universidad de Murcia, Campus Espinardo s/n, 30100 Murcia, España

² Departamento de Producción animal, Facultad de Veterinaria de la Universidad de Murcia, Campus Espinardo s/n, 30100 Murcia, España

³ Departamento de Producción animal, Facultad de Veterinaria de la Universidad Complutense de Madrid, Ciudad Universitaria s/n, 28040 Madrid, España

⁴ FARM Faes Nutrición y Salud Animal, Pol. El Carrascal Parc.8-9, 01308, Lanciego, Álava, España.

Resumen

El objetivo del estudio fue caracterizar matemáticamente el patrón de crecimiento del cerdo ibérico (50 % Duroc), nacido a finales de año y criado en extensivo desde los 70 hasta los 365 días de edad. Se realizaron en condiciones de campo mediciones repetidas de peso vivo y espesor graso dorsal individual, y consumo de pienso por lote. Se utilizaron dos lotes experimentales: A (91 machos y 95 hembras) y B (56 machos y 60 hembras). El programa de alimentación determinó el patrón e incluyó 4 fases caracterizadas por el pienso y su cantidad aportada: 1) piensos "transición/adaptación" *ad libitum* para un "crecimiento potencial" entre 24-98 días de edad; 2 y 3) piensos "Crecimiento" y "Engorde I", restringidos al 2,5 % y 2,0 % del peso vivo, respectivamente, para un "crecimiento lento", entre 98-303 días de edad; 4) pienso "Engorde II" *ad libitum* para un "crecimiento compensatorio", entre 303-352 días de edad. El resultado de los principales parámetros calculados por ajuste del patrón fue: 1º) ecuaciones de crecimiento: 218 kg de peso vivo a la madurez, 0,00977 de precocidad, 162,49 días de edad a la máxima ganancia de peso; 2º) ecuación de consumo de energía metabolizable: a (119229,75); b (6,76); c (1,01); 3º) los kg de pienso aportado en fases 2 y 3: 2,47 %, 2,0 % del peso vivo, respectivamente. Se concluye que, en las condiciones de producción del ensayo, la metodología propuesta ajustó el patrón de crecimiento y alimentación que permiten el diseño de estrategias de alimentación que aumenten la eficiencia.

Palabras clave: Alimentación, cerdo ibérico, rendimientos productivos, patrón de crecimiento lento.

Determination of the growth pattern in Iberian pigs (50% Duroc) reared outdoor from 70 to 365 days of age

Abstract

This study is aiming to the mathematical characterization of the growth pattern of Iberian pig (50% Duroc) born at the end of the year and raised outdoor from 70 to 365 days of age. Repeated meas-

* Autor para correspondencia: gusero@farmfaes.com

urements of individual body weight and back fat thickness, and feed consumption per batch were carried out under field conditions. Two experimental batches were used: A (91 males and 95 females) and B (56 males and 60 females). The feeding programme determined the growth pattern and included 4 phases characterised by the feed and the amount of feed provided: 1) *ad libitum* "growth transition/adaptation" feed for "potential growth" between 24 and 98 days of age; 2 and 3) "Growth" and "Fattening I" feed, restricted to 2.5 % and 2.0 % of their body weight, respectively, for "slow growth", between 98 and 303 days of age; 4) *ad libitum* "Fattening II" feed for "compensatory growth", between 303 and 352 days of age. The result of the main parameters calculated by the adjustment of the pattern was: 1) growth equations: 218 kg of body weight at maturity, 0.00977 of precocity, 162.49 days of age at maximum gain; 2) metabolisable energy consumption equations a (119229.75), b (6.76), c (1.01); 3) kg of feed provided in phases 2 and 3: 2.47 % and 2.0 % of body weight, respectively. It is concluded that, under the production conditions of the trial, the proposed methodology adjusted the growth and feeding pattern allowing the design of feeding strategies that increase efficiency.

Keywords: Feeding, growth performance, iberian pig, slow growth pattern.

Introducción

Los modelos matemáticos de crecimiento porcino se aplican para abordar estrategias de alimentación que mejoren la rentabilidad de las explotaciones comerciales (Lange et al., 2001). Estos modelos, en función de la edad del cerdo, permiten maximizar la utilización de los nutrientes del pienso, calculando la cantidad de pienso óptima para cada momento, y pudiendo predecir su peso y edad óptima de venta.

Los modelos de crecimiento desarrollados para las razas comerciales de cerdos durante las últimas décadas se basan en la estimación de la ganancia de peso, deposición proteica y lipídica, como respuesta al consumo de nutrientes (energía y aminoácidos) (van Milgen et al., 2008). Para garantizar la aplicación efectiva de los modelos, una función paramétrica no lineal que predice la edad para alcanzar un peso vivo (PV) objetivo del crecimiento potencial de los cerdos, debe ser parametrizada (van Milgen et al., 2008; NRC, 2012). En estas funciones, descritas en la bibliografía (Gompertz, 1825; Richards, 1959; Bridges et al., 1986; López et al., 2000), cada parámetro tiene un significado biológico (PV a la madurez, precocidad, edad a la máxima ganancia

de PV, etc.) y están determinados en gran medida por el genotipo del cerdo, el sexo y el entorno. Por lo tanto, no es recomendable utilizar ecuaciones generales derivadas de otras razas para predecir con exactitud el cambio de peso y composición corporal (Quiniou y Noblet, 1995).

El cerdo ibérico, a diferencia de otras razas comerciales seleccionadas para una elevada eficiencia productiva, presenta un crecimiento lento y poco eficiente. Tiene un elevado apetito, bajo potencial de acumulación magra, y alta capacidad de adaptación al medio en épocas escasez, acumulando grasa corporal como reservorio energético (Andrés et al., 1998; Barea et al., 2007).

En este contexto, para cerdos ibéricos (cruzados al 50 % con Duroc) Usero et al. (2016) publicaron un patrón de crecimiento en un sistema intensivo y alimentación *ad libitum* para obtener su crecimiento potencial. Sin embargo, desafortunadamente no se ha encontrado ninguna publicación de un patrón de crecimiento lento para cerdos criados en un sistema extensivo y alimentación restringida, que evite la prematura acumulación grasa en un ciclo de producción largo (160 kg de PV y 12 meses de edad para el sacrificio).

Actualmente, la referencia para diseñar programas de alimentación y calcular las necesidades nutricionales para formular dietas para cerdos ibéricos y sus cruces son las tablas de recomendaciones nutricionales publicadas por FEDNA (2013) y los estudios de metabolismo del grupo de investigación de la Estación Experimental del Zaidín CSIC (Granada, España), para un cerdo 100 % ibérico (Conde-Aguilera et al., 2011; Nieto et al., 2012). Ambos fueron utilizados en este estudio como valores de referencia de parámetros nutricionales y metabólicos para desarrollar con precisión el patrón de crecimiento y de alimentación del cerdo ibérico (50 % Duroc) criado en un sistema extensivo de "Cebo de Campo". La hipótesis de partida de este estudio fue que la utilización de 4 fases de alimentación (combinando *ad libitum* y restringida) durante el ciclo productivo podría establecer un patrón de crecimiento óptimo para estas condiciones de producción, pudiendo mejorar su eficiencia.

Material y métodos

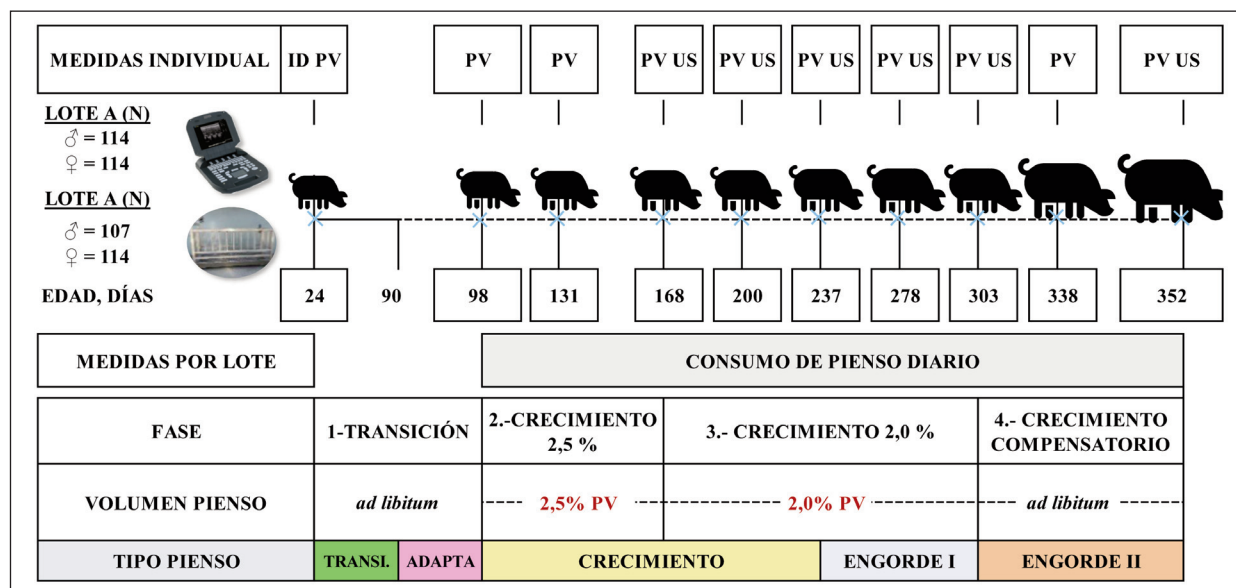
Los métodos de manejo de los animales durante la investigación fueron desarrollados de acuerdo con los principios éticos en investigación y docencia con modelos animales aprobados en las Directivas Europeas vigentes publicadas en el DOUE (2010) y en las normas nacionales recogidas en el Real Decreto publicado en el BOE (2013), por el que se establecen las normas básicas aplicables para la protección de los animales utilizados en experimentación y otros fines científicos, incluyendo la docencia.

Manejo de los animales y diseño experimental

Este estudio se realizó en condiciones de campo en una granja comercial con un total

de 449 lechones de cerdo ibérico (50 % Duroc) (221 machos y 228 hembras), divididos en dos lotes experimentales (A y B) con un año de diferencia entre ellos (sacrificados en diciembre de 2018 y 2019, respectivamente). Los lechones fueron seleccionados al azar (4 lechones por camada) de 57 cerdas y fueron pesados cuatro días antes del destete con $22,07 \pm 3,73$ días de edad y $5,80 \pm 1,181$ kg de PV (los machos fueron castrados quirúrgicamente a los dos días de nacer). Todos los animales de cada lote tras el destete se alojaron en un corral de transición con una densidad de $2 \text{ m}^2/\text{cerdo}$ de una granja comercial, con libre acceso a agua y pienso. Una vez finalizada la transición, con 90 días de edad y 30 kg de PV, se realizó una nueva selección al azar de 186 lechones, 91 machos y 95 hembras del lote A, y 116 lechones, 56 machos y 60 hembras del lote B, para continuar con el estudio en la fase de crecimiento-engorde en otra granja comercial en extensivo. En esta granja, cada lote fue dividido en dos corrales experimentales separados y repartidos por un PV homogéneo (machos y hembras mezclados) para garantizar la homogeneidad de los grupos en la medida de lo posible durante todo el estudio. Los lechones en esta fase disponían de: a) un espacio natural al aire libre y con suelo de tierra cercados con valla metálica y pared de piedra con una superficie mínima de $100 \text{ m}^2/\text{cerdo}$; b) un espacio cubierto para descansar y protegerse con una superficie disponible de $1 \text{ m}^2/\text{cerdo}$; libre acceso al agua y acceso restringido al pienso hasta los 303 días de vida y *ad libitum* desde estos hasta los 365 días.

Para investigar el patrón de crecimiento y alimentación de un sistema "Cebo de Campo" hasta los $352,24 \pm 3,5$ días de edad y $164,35 \pm 17,48$ kg de PV, ambos lotes se evaluaron en las mismas condiciones de alojamiento, manejo, alimentación, época del año y medición de los parámetros productivos (Figura 1).



Fases: 1.- Transición-adaptación, acceso *ad libitum* al pienso; 2.- Crecimiento 2,5 % PV, aporte de pienso calculado como el 2,5 % del PV (kg); 3.- Crecimiento 2,0 % PV, aporte de pienso calculado como el 2,0 % del PV (kg); 4.- Crecimiento compensatorio, acceso *ad libitum* al pienso. Mediciones individuales: ID: identificación de los animales; PV: peso vivo; US: EGD por ultrasonidos.

Figura 1. Diseño experimental. Dónde: PV, medición individual del peso vivo en kg manualmente; US: medición individual de EGD (Espesor Graso Dorsal) en mm por ultrasonidos. Medición del consumo de pienso diario por lote. Figure 1. Experimental design. Where: BW, individually measure of body weight in kg by manually; US: individually measure of BF (back fat thickness) in mm by ultrasounds. Feed intake measure per batch.

Programa de alimentación

Para ambos lotes experimentales, se diseñó un mismo programa de alimentación de crecimiento lento para alcanzar el objetivo de tasa de crecimiento global (≤ 550 g/d), entre los 100 y los 365 días de edad (Figura 1). Las dietas se formularon siguiendo los requerimientos de nutrientes recomendados por FEDNA (2013). La composición media en materias primas y las concentraciones calculadas de los principales nutrientes de las dietas experimentales de crecimiento-engorde se muestran en la Tabla 1. Brevemente, los animales siguieron 4 fases de alimentación, transición y adaptación al crecimiento (24-98 días), crecimiento (98-237 días), engorde I (237-303 días de edad) y engorde II (303-352 días de edad).

La alimentación durante la fase de transición al no estar dentro del periodo experimental no se muestra en este manuscrito. Siguiendo una práctica habitual en el ecosistema de la dehesa, la cantidad de pienso suministrado se realizó en función de la edad y PV y definirá las 4 fases de crecimiento del patrón. Se programó de la siguiente forma: de los 90 a 98 días de edad "Pienso de Adaptación al Crecimiento" *ad libitum*; de los 98 a 168 días y de 168 a 237 días de edad "Pienso de Crecimiento" racionado al 2,5 y 2,0 % del PV, respectivamente; de los 237 a 303 días de edad el "Pienso de Engorde I" racionado al 2,0 % del PV; y, por último, de los 303 a 352 días de edad "Pienso de Engorde II" *ad libitum* (Figura 1).

Tabla 1. Ingredientes y composición de piensos del periodo experimental (90-352 días de edad).
 Table 1. Ingredients and composition of diets of the experimental period (90-352 days of age).

	Fases de alimentación ¹			
	Adaptación al Crecimiento	Crecimiento	Engorde I	Engorde II
Ingredientes, g/kg				
Cebada	331,40	163,00	128,00	229,50
Trigo	320,00	299,90	290,10	289,90
Soja-44	142,00	167,50	117,00	93,00
Maíz	100,00	240,00	240,00	240,00
Salvado-cuartas	25,00	12,00	50,50	16,50
Manteca	18,00	20,00	–	–
Semilla girasol	–	–	58,00	58,00
Aceite girasol alto oleico	–	–	41,00	44,00
Harina colza	–	70,00	40,00	–
Concentrado proteína vegetal	30,00	–	–	–
Sepiolita	–	–	8,00	–
Carbonato Cálcico	11,45	9,50	10,10	10,25
Fosfato bicálcico	8,25	7,70	7,95	9,15
Sal	5,00	4,50	4,50	4,50
Refuerzo digestivo suplemento	2,00	–	–	–
Premix	4,00	4,00	4,00	4,00
Lisina suplemento	2,40	1,80	0,85	0,95
Treonina suplemento	0,35	0,10	–	–
Metionina suplemento	0,15	–	–	0,25
Composición calculada				
EM, kcal/kg	3162	3165	3298	3370
EN, kcal /kg	2357	2350	2520	2615
Lisina DIS, g/kg	7,70	7,60	5,80	4,80
Lisina DIS/EM, g/Mcal	2,43	2,39	1,76	1,42
Materia seca, g/kg	890,7	883,2	887,8	887,1
Proteína bruta, g/kg	160,0	160,0	139,9	120,0
Grasa bruta, g/kg	38,1	40,8	85,1	87,4
Coste				
Precio ² , €/kg	0,287	0,239	0,273	0,270

¹ Fase adaptación al crecimiento (90-98 días de edad); Fase de crecimiento (98-237 días de edad); Fase de engorde I (237-303 días de edad); Fase de engorde II (303-352 días de edad).

² Precio de mercado de materias primas (Mercolleida, 2020). EM = Energía metabolizable; EN = Energía neta; LYS DIS = Lisina digestible ileal estandarizada.

Parámetros productivos

En la Figura 1 se muestra un esquema del protocolo de recogida de los datos de parámetros productivos para ambos lotes experimentales. Por un lado, se monitorizaron las mediciones repetidas individuales en los cerdos a lo largo del tiempo: PV (kg) medido manualmente y espesor graso dorsal (EGD; mm) medido mediante una sonda lineal de ultrasonidos (IMV Imaging, Francia) en la posición P2 (última costilla, a 4-6 cm de la línea media dorsal) (McCann y Magowan, 2004), y se calculó la ganancia media diaria (GMD; kg/d) individual. Y, por otro lado, se monitorizó la medición del consumo medio diario de pienso por lote (CMD; kg/d), desde los 90 días (adaptación al crecimiento) de edad hasta el final.

Análisis estadístico

Previamente al ajuste del patrón de crecimiento, la colección de datos observados a lo largo del periodo experimental se procesó estadísticamente para mejorar la precisión de las estimaciones. Los datos de rendimiento productivos recogidos de los dos lotes (mediciones de PV, GMD, EGD individuales y de CMD por lote) se procesaron estadísticamente con el software Excel (Microsoft, EE. UU.), XLSTAT versión 2016.02.28451 (Addinsoft, EE. UU.). En primer lugar, se eliminaron los datos atípicos (nivel de significación del 5 %) con la prueba de Grubbs y, posteriormente, se calculó su distribución muestral mediante un análisis de estadística descriptiva.

Curva de crecimiento estimada

El patrón de crecimiento de los animales fue descrito mediante una curva multifase, debido a un marcado ritmo diferencial del crecimiento como respuesta a los cambios de consumo de pienso de cada fase del programa de alimentación, descrito anteriormente.

El ajuste matemático de la curva de crecimiento requirió de ecuaciones diferentes para cada fase: una ecuación para la primera fase, en condiciones de alimentación *ad libitum*, donde los animales expresan su ritmo de "crecimiento potencial", y una ecuación diferente para las fases posteriores en condiciones de alimentación restringida y compensatoria, donde los animales expresan un ritmo de crecimiento diferencial, de "crecimiento lento" y "compensatorio", con respecto al "potencial". En nuestro estudio, se hipotetizó el número de fases utilizadas para describir el patrón con el mejor ajuste posible en 4, que corresponden a los 4 niveles distintos de aporte de pienso del programa de alimentación.

Determinación de la evolución del PV en el tiempo

La curva de crecimiento de la Fase 1, con alimentación *ad libitum*, ajustó un "crecimiento potencial" mediante la ecuación de Gompertz (1825) para calcular el PV_i en función de la edad:

$$PV_i = PV_m * e^{-e^{-k(EDAD_i - EDADPI)}} \quad \text{ecuación 1 (Fase 1)}$$

donde, PV_m (kg): PV a la madurez; k : precocidad; $EDADPI$ (días): edad de máxima ganancia de peso.

La restricción alimentaria distorsiona el crecimiento y el consumo potencial, que se describe mediante la ecuación de Gompertz, por lo que, para las siguientes fases de crecimiento y consumo diferencial, se ajustaron las curvas de "crecimiento lento" (fases 2 y 3) y de "crecimiento compensatorio" (fase 4) utilizando las ecuaciones desarrolladas por Francisco Gil Rueda para calcular el PV_i basado en el peso corporal del día anterior (PV_{i-1}), GMD_i potencial en función de PV_{i-1} , y los parámetros de la tasa de crecimiento diario diferencial por el régimen de alimentación:

$$PV_i = PV_{i-1} + GMD_i * (1 + F2) \quad \text{ecuación 2 (Fase 2)}$$

$$PV_i = PV_{i-1} + GMD_i * (1 + F3) \quad \text{ecuación 3 (Fase 3)}$$

$$PV_i = PV_{i-1} + GMD_i * (1 + F4) \quad \text{ecuación 4 (Fase 4)}$$

donde, GMD_i es la ganancia media diaria potencial y se calcula como la derivada de la ecuación de Gompertz (Martínez et al., 2010):

$$GMD_i = -k * PV_{i-1} * LN \frac{PV_{i-1}}{PV_m} \quad \text{ecuación 5}$$

F2 y F3 son los parámetros de la caída de tasa de "crecimiento potencial" en las fases de alimentación restringida, 1 y 2, respectivamente; y F4 es el parámetro del incremento de la tasa de "crecimiento potencial", en la fase de "crecimiento compensatorio".

Las ecuaciones de crecimiento utilizadas se parametrizaron para describir su patrón en el tipo de animales del estudio mediante optimización con Solver en Excel (Microsoft, USA) para alcanzar un mínimo de la suma de diferencia de cuadrados entre los valores de PV_i predichos y los valores medios observados.

Curva de consumo de pienso estimada

Una vez calculada la curva de crecimiento, la de consumo se estimó para las fases de alimentación *ad libitum* (1 y 4) mediante el cálculo del consumo de energía metabolizable diario (EM_i ; kcal/d), dividido por la concentración de EM (kcal/kg) de cada pienso. La EM_i se calculó con la siguiente ecuación, basada en la de Bridges et al. (1986) y descrita en el NRC (2012):

$$EM_i = a * \left\{ 1 - e^{-e^{(-b) * PV_i^c}} \right\} \quad \text{ecuación 6}$$

que se parametrizó para el patrón de crecimiento de este tipo de animales del estudio mediante optimización no lineal con Solver en Excel (Microsoft, USA) para alcanzar un

mínimo de IC. A continuación, se calculó para las fases de alimentación restringida (2 y 3), como un porcentaje en cada fase del PV_i . Este porcentaje se estimó junto con el contenido de EM de los piensos de cada fase para el patrón de crecimiento de estos animales, para conseguir el mínimo coste de pienso por kg repuesto de PV (optimización lineal realizada con el programa de ajuste descrito anteriormente).

Resultados

Parámetros productivos observados

Para cada uno de los dos lotes experimentales, se recogieron repetidamente a lo largo del tiempo los datos de rendimiento productivo de los cerdos (mediciones individuales de PV, GMD y EGD; y mediciones por lote del CMD). Los valores medios y desviaciones estándar de las mediciones realizadas aparecen en la Tabla 2.

Parámetros de las ecuaciones

El resultado de los parámetros de las ecuaciones que describen el patrón de crecimiento (curva de crecimiento, curva de consumo y concentración de energía del pienso), mediante ajuste matemático a partir de los datos observados aparece en la Tabla 3. El patrón de crecimiento, eje de todo el patrón, obtuvo un nivel de ajuste por el mínimo de la suma de diferencia de cuadrados (suma Dif^2) entre los valores observados y estimados del PV, de 1.121,80 y una precisión explicativa de la variable del patrón (R^2), de 98,5 %.

Parámetros productivos estimados

A partir de los PV observados de los lotes A y B y el primer ajuste de los parámetros de las ecuaciones de crecimiento, el patrón ob-

Tabla 2. Media y desviación standard (DS) del peso vivo (PV), ganancia media diaria (GMD), consumo medio diario (CMD) y espesor graso dorsal (EGD) observados.

Table 2. Mean and standard deviation (SD) live weight (PV), average daily gain (GMD), average feed intake (CMD) and back fat thickness (EGD) observed.

Fase	Edad, d	PV, kg	GMD ¹ , kg/d	CMD ² , kg/d	EGD, mm
1	24	5,81 (1,18)	NA	NA	NA
	90	NA	NA	NA	NA
	98	30,97 (5,53)	0,339 (0,075)	0,55 (0,42)	NA
2	131	43,70 (8,88)	0,389 (0,145)	1,46 (0,33)	NA
	168	54,03 (9,15)	0,280 (0,108)	1,78 (0,66)	12,85 (4,02)
3	200	66,29 (8,87)	0,384 (0,143)	1,36 (0,12)	16,20 (3,77)
	237	79,89 (10,94)	0,367 (0,167)	1,58 (0,07)	19,74 (4,98)
	278	99,03 (13,41)	0,459 (0,129)	2,22 (0,24)	26,70 (6,60)
	303	118,38 (13,36)	0,790 (0,389)	2,79 (0,40)	34,02 (6,04)
4	338	155,57 (17,14)	1,039 (0,245)	3,66 (0,65)	NA
	352	166,78 (17,69)	0,849 (0,396)	5,20 (1,21)	52,92 (8,42)

NA: datos no disponibles. ¹ GMD calculada entre edades consecutivas con dato de PV observados disponible. ² CMD calculada entre edades consecutivas.

tenido estimó la evolución ajustada de valores de PV en función del tiempo y el nivel de ración de pienso (Tabla 4), describiendo una curva multifase a lo largo del crecimiento (Figura 2). Del mismo modo, se describió la curva ajustada de GMD, también multifase, y la evolución de la GMD en función del PV (Figura 3). Los cambios de fases se distinguieron entre sí por los marcados cambios en la GMD. Además, en un segundo y tercer ajuste, se estimó la evolución del CMD de pienso y su IC, a lo largo del tiempo durante el crecimiento (Tabla 4), que describieron también una marcada curva multifase (Figura 4). Se observó, que el nivel de consumo de pienso dirigía la GMD en cada momento: Fase 1, crecimiento en transición *ad libitum*, con acceso *ad libitum* al pienso hasta la edad de 105 días y

37,6 kg de PV, cubriendo las necesidades nutricionales para expresar el ritmo de crecimiento potencial; Fase 2, crecimiento 2,5 %, los animales consumieron una ración de pienso calculada en un 2,5 % de su PV (kg) hasta los 161 días y 53,1 kg de PV; Fase 3, crecimiento 2 %, los animales consumieron una ración de pienso calculada en un 2 % de su PV (kg) hasta los 308 días y 114 kg de PV. La estrategia de alimentación restringida provocó un ritmo de "crecimiento lento" para evitar un excesivo engrasamiento precoz. Fase 4, "crecimiento compensatorio" *ad libitum* hasta los 365 días de edad y 176,5 kg de PV, donde la ingesta de pienso cubre el 100 % de las necesidades nutricionales para expresar un ritmo de "crecimiento compensatorio" primero y "potencial" después.

Tabla 3. Parámetros de las ecuaciones y productivos del patrón.
 Table 3. Equations and productive parameters of the pattern.

Parámetros de las ecuaciones	
Peso vivo a la madurez (PV_m), kg	218,0
Precocidad (κ)	0,00977
Edad a la máxima ganancia ($EDADPI$), d	162,4931
Caída de tasa de crecimiento:	
Fase 2 (F2), %	-60
Fase 3 (F3), %	-46
Incremento de tasa de crecimiento:	
Fase 4 (F4), %	100
Consumo, EM (kcal/kg):	
a	119229,75
b	6,76
c	1,01
Cantidad de pienso aportada (ración):	
Fase 2, % de PV_i	2,47
Fase 3, % de PV_i	2,00
Energía del pienso calculada, EM (kcal/kg):	
Pienso de crecimiento	3,165
Pienso de engorde I	3,308
Pienso de engorde II	3,381
Parámetros productivos	
Ganancia de peso total, kg	160,97
Consumo de pienso total, kg	692,18
Índice de conversión	4,30

PV_m = peso vivo a la madurez; κ = precocidad; $EDADPI$ = edad a la máxima ganancia; F2 y F3, tasa de caída del crecimiento (crecimiento lento); F4, tasa de incremento del crecimiento (crecimiento compensatorio). EM: Energía metabolizable.

Tabla 4. Evolución del peso vivo (PV), la ganancia media diaria (GMD), el consumo medio diario (CMD), e el índice de conversión (IC) estimados en el tiempo.

Table 4. Predicted evolution of live weight (PV), average daily gain (GMD), average feed intake (CMD) and feed conversion rate (IC) over time.

Fase	Edad, d	PV, kg Estimado	GMD, g/d Estimada	CMD ¹ , kg/d Estimado	IC Estimado	PIENSO ²	MANEJO PIENSO ³
1	70	18,4	438,6	0,780	1,78	ADAPTA.	AD. LIB
	85	25,8	531,7	1,088	2,05	ADAPTA.	AD. LIB
	100	34,4	615,8	1,510	2,45	ADAPTA.	AD. LIB
	105	37,6	640,8	1,646	2,57	ADAPTA.	AD. LIB
2	106	37,8	258,3	0,936	3,63	CRECTO.	2,47 % PV
	120	41,5	268,5	1,028	3,83	CRECTO.	2,47 % PV
	135	45,6	278,4	1,129	4,06	CRECTO.	2,47 % PV
	150	49,9	287,1	1,234	4,30	CRECTO.	2,47 % PV
	161	53,1	292,6	1,313	4,49	CRECTO.	2,47 % PV
3	162	53,5	397,3	1,067	2,69	CRECTO.	2,00 % PV
	175	58,7	407,4	1,172	2,88	CRECTO.	2,00 % PV
	190	64,9	416,2	1,295	3,11	CRECTO.	2,00 % PV
	205	71,2	421,8	1,421	3,37	CRECTO.	2,00 % PV
	220	77,5	424,6	1,548	3,65	CRECTO.	2,00 % PV
	235	83,9	424,6	1,675	3,95	CRECTO.	2,00 % PV
	250	90,3	421,9	1,802	4,27	CRECTO.	2,00 % PV
	251	90,7	421,7	1,810	4,29	ENGOR.I	2,00 % PV
	265	96,6	417,0	1,927	4,62	ENGOR.I	2,00 % PV
	280	102,8	410,0	2,051	5,00	ENGOR.I	2,00 % PV
	295	108,8	401,2	2,172	5,41	ENGOR.I	2,00 % PV
	296	109,2	400,6	2,180	5,44	ENGOR.I	2,00 % PV
4	308	114,0	392,3	2,275	5,80	ENGOR.I	2,00 % PV
	309	115,4	1444,6	4,646	3,22	ENGOR.II	AD. LIB
	325	137,0	1256,7	5,451	4,34	ENGOR.II	AD. LIB
	340	154,3	1056,1	6,080	5,76	ENGOR.II	AD. LIB
	355	168,5	860,3	6,590	7,66	ENGOR.II	AD. LIB
	365	176,5	740,4	6,871	9,28	ENGOR.II	AD. LIB

¹ Consumo de pienso *ad libitum* estimado mediante la ecuación: $EM_i \text{ (kcal/día)} = 119229,75 \times [1 - EXP(-EXP(-6,76) \times PV_i^{1,01})]$ y dividido por la concentración de EM (kcal/kg) del pienso. ² ADAPTA.: Pienso adaptación al crecimiento; CRECTO.: Pienso de crecimiento; ENGOR.I: Pienso de engorde I; ENGOR.II: Pienso de engorde II; ³ AD LIB: *Ad libitum*. PV: Peso vivo.

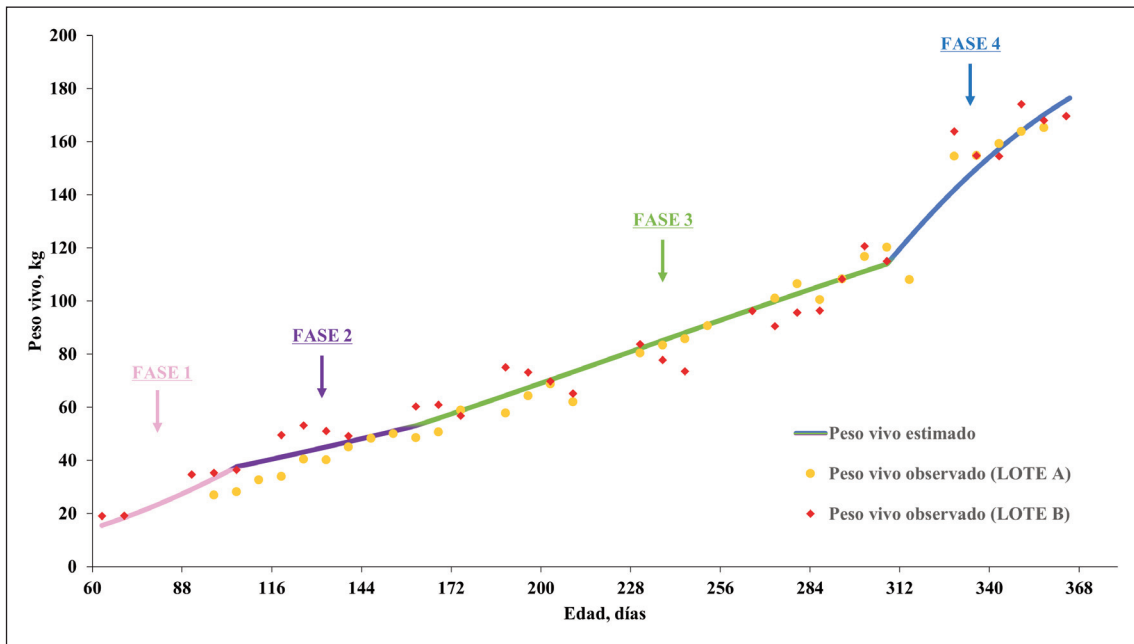


Figura 2. Curva de crecimiento observada versus estimada.
 Figure 2. Observed and predicted growth curves.

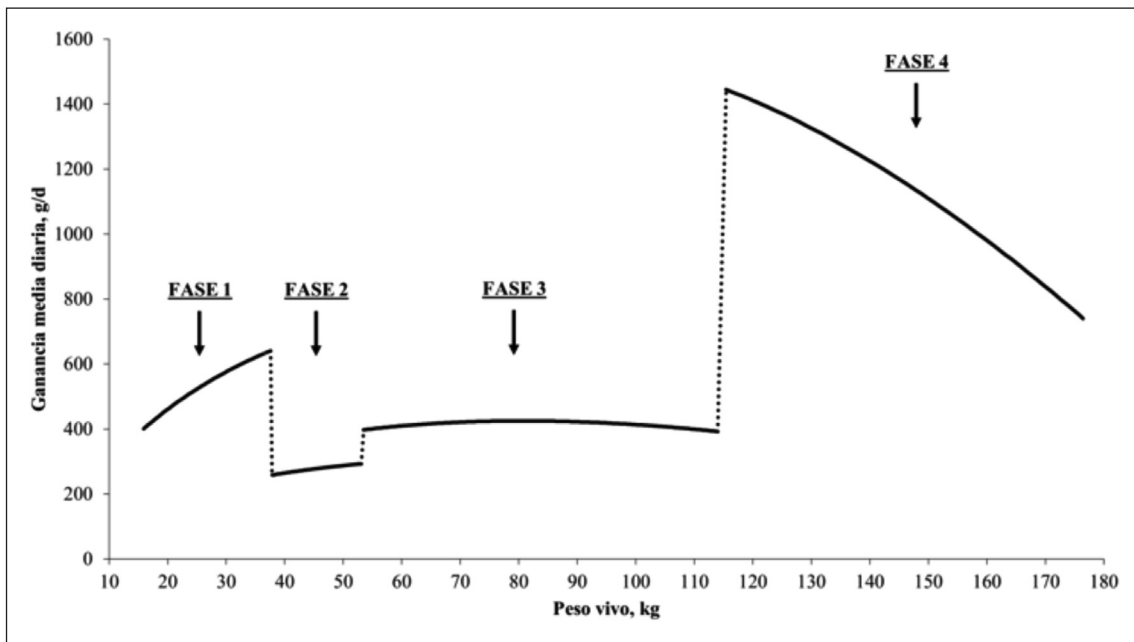


Figura 3. Curva de la ganancia de peso media diaria estimada.
 Figure 3. Average daily gain predicted curve.

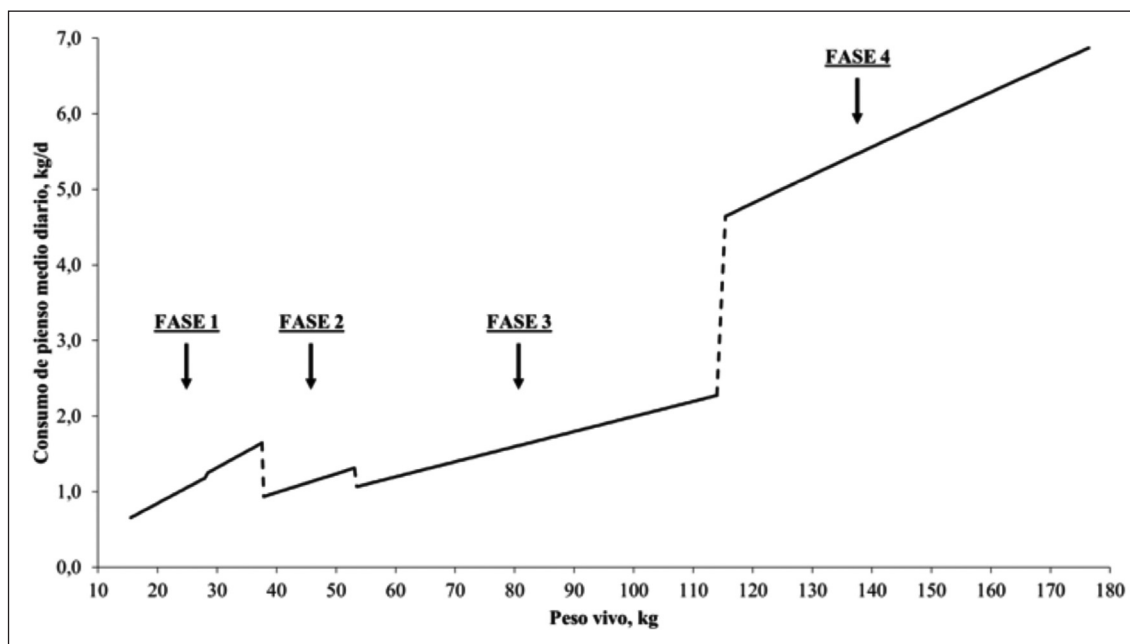


Figura 4. Curva del consumo de pienso medio diario estimado.

Figure 4. Average daily feed intake predicted curve.

Costes de producción

A partir de los parámetros productivos observados de cada lote experimental, el patrón optimizó la curva de consumo de pienso en condiciones *ad libitum* (Fases 1 y 4) y restringidas (Fases 2 y 3) para un óptimo IC y coste del pienso por kg de PV producido durante el crecimiento-engorde. Estos resultados se detallan en la (Tabla 5).

Discusión

Los resultados productivos de crecimiento obtenidos en nuestro estudio difieren de los publicados por Usero *et al.* (2016), las diferencias pueden ser debidas a que los sistemas de producción utilizados son diferentes. En este sentido, Usero *et al.* (2016) desarrolló un patrón

de crecimiento en cerdo ibérico (50 % Duroc) criado en condiciones intensivas, mientras que en el presente ensayo las condiciones de producción fueron en extensivo en la dehesa para un ciclo largo de animales mayores de 10 meses de edad. Por otro lado, en este estudio los cerdos alcanzaron valores de $30,97 \pm 5,53$ kg de PV; $54,03 \pm 9,15$ kg de PV y $118,38 \pm 13,36$ kg de PV a los 98, 168 y 303 días de edad, respectivamente, mientras que en el estudio de Usero *et al.* (2016), alcanzaron valores de $44,86 \pm 4,57$ kg de PV; $95,84 \pm 9,08$ kg de PV y $147,60 \pm 13,48$ kg de PV a los 100, 163 y 226 días de edad, respectivamente. En cuanto a los resultados de engrasamiento, es importante señalar que se observó a los 168 y 303 días de edad, valores de $12,85 \pm 4,02$ mm de EGD y $34,02 \pm 6,04$ mm de EGD, respectivamente, mientras que Usero *et al.* (2016), midiendo con el mismo procedimiento, registró

Tabla 5. Estimación económica de la alimentación realizada por el ajuste del patrón.
 Table 5. Economic estimation for feeding by pattern adjustment.

	Observado		Estimado
	Lote A	Lote B	Patrón
Consumo de pienso (kg)			
Pienso de adaptación ¹	6,74	2,00	10,73
Pienso de crecimiento	220,62	210,24	178,09
Pienso de engorde I	159,92	161,52	129,56
Pienso de engorde II	265,65	357,28	349,38
Total	652,93	731,04	667,76
Coste (€)			
Pienso de adaptación ¹	1,89	0,56	3,01
Pienso de crecimiento	52,70	50,22	42,54
Pienso de engorde I	41,61	42,02	33,71
Pienso de engorde II	68,25	91,79	89,76
Total	164,44	184,59	169,01
Coste de alimentación (€/kg carne)			
Pienso de adaptación ¹	0,46	0,85	0,73
Pienso de crecimiento	0,98	1,23	0,83
Pienso de engorde I	1,17	0,97	1,24
Pienso de engorde II	1,28	1,82	1,39
Total	1,12	1,37	1,15

¹ Pienso de adaptación al crecimiento suministrado durante 8 días.

a los 163 y 205 días de edad, valores de 21,54 ± 4,42 mm de EGD y 32,53 ± 5,95 mm de EGD, respectivamente.

En general, los resultados de crecimiento obtenidos en la fase con alimentación restringida de este estudio concuerdan con una serie de estudios que indican que la restricción de la alimentación es proporcional al nivel de restricción (Daza *et al.*, 2008). Estos autores observaron que en cerdos large white x landrace de entre 33 kg y 62 kg, que la reduc-

ción en el suministro de pienso del 25 % o del 46 % (con respecto a un grupo control alimentado *ad libitum*) producía una caída del 25 % y del 46 % en la GMD, respectivamente. Excepto en la fase 2, en la cual los animales de este estudio se encontraban en condiciones de invierno con acceso al exterior, y que provocaron una mayor caída en la velocidad de crecimiento. Este periodo coincide entre el final del invierno y el inicio de la primavera, donde las temperaturas medias alcanzan va-

lores inferiores a la temperatura termoneutra del animal, y de acuerdo con Daza et al. (2008) que observó que animales en restricción alimentaria y expuestos a temperaturas medias de 13 °C, sufrieron una reducción en la velocidad de crecimiento fue del 52 %. Además, en esta línea, Daza (1988) y Whittemore (1993) demostraron que por debajo de la temperatura crítica (alrededor de 20 °C para los cerdos en fase de crecimiento), los cerdos con dietas restringidas redujeron su potencial de crecimiento con respecto a los cerdos alimentados *ad libitum*; y se observó una mayor actividad física en los animales para adaptarse a la nueva situación de búsqueda y competencia por el alimento con el resto del grupo. En nuestro estudio, el promedio de GMD en el tiempo de la fase productiva completa fue por debajo de 400 g/d de media; cuando los animales tenían 200 días de vida, alcanzaron un valor de GMD de 384 g/d, en contraste con los 676 g/d y 643 g/d a los 183 días de vida, observados por Serrano et al. (2008), en cerdos ibéricos (50 % Duroc) de Cebo intensivo, utilizando Duroc danés y Duroc español como verraco terminal, respectivamente. En cuanto a los resultados productivos de la fase de "crecimiento compensatorio *ad libitum*", los cerdos alcanzaron 166,78 ± 17,69 kg de PV, 0,849 ± 0,396 kg/d de GMD y 52,92 ± 8,42 mm de EGD a los 352 días de vida. De acuerdo con Campbell y Dunkin (1983), los cerdos con restricciones tienen un mayor rendimiento digestivo que los alimentados *ad libitum*, como consecuencia de una reducción de los gastos de mantenimiento, lo que explica en parte el efecto de su mayor eficiencia en el uso del pienso. Además, este efecto se prolonga durante 2-3 semanas si el periodo de restricción va seguido de una alimentación *ad libitum*. El consumo y el ritmo de crecimiento aumentan en esta fase, coincidiendo con trabajos publicados anteriormente que observaban que la restricción en la alimentación durante el periodo de crecimiento de los cerdos su-

ponía un mayor consumo y crecimiento diario durante el periodo de engorde (Lovatto et al., 2000; Daza et al., 2008), observaron que durante el último periodo de engorde de cerdos ibéricos (50 % Duroc) de Cebo, la ganancia de peso fue más de un 20 % superior en los cerdos que habían estado restringidos en su fase de crecimiento. Durante la fase de realimentación, el crecimiento compensatorio se prolongó durante 6 semanas de acuerdo con (Daza et al., 2008), momento que alcanzan los 160 kg de PV de sacrificio. En estudios previos, se observó que el efecto del crecimiento compensatorio puede aparecer de forma más marcada por efecto del "fenotipo ahorrador", característico de la raza ibérica y se describe como una estrategia diseñada para aumentar el crecimiento de peso y la deposición de grasa tras una restricción energética (Pugliese et al., 2005; Daza et al., 2008; Ayuso, 2016).

El patrón de "crecimiento lento" obtenido en este estudio, descrito por una curva multifase, utilizando una ecuación matemática para el ajuste de cada una de ellas, difiere del calculado por Usero et al. (2016), un patrón de crecimiento potencial, descrito por una curva ajustada por una sola ecuación paramétrica. De acuerdo con esto, los parámetros de la ecuación de Gompertz (1825) obtenidos difieren también entre ambos estudios (Tabla 6). El patrón de crecimiento desarrollado en este estudio requirió del cálculo de parámetros y ecuaciones adicionales, al de un patrón de crecimiento convencional, sin limitaciones nutricionales. Un modelo necesita de tantas ecuaciones y parámetros que permitan un apropiado ajuste de los datos observados en cualquier ambiente y evitar desviaciones en las estimaciones de parámetros potenciales (Knap et al., 2003). La metodología desarrollada en este estudio permite modificar las condiciones del programa de cría (dietas y fases de ritmo de crecimiento), así como optimizar la curva de consumo *ad libitum* para obtener el IC mínimo, y finalmente calcular la

Tabla 6. Diferencias de parámetros en diferentes patrones de crecimiento en cerdo ibérico (50 % Duroc).
 Table 6. Parameter differences of different Iberian (crossbreed 50 % Duroc) growth model.

Patrón	PV _{mr} kg	EDADPI, d	k	Tipo de ibérico	Tipo de Duroc	Alojamiento	Alimentación
Crecimiento potencial ¹	236,2	148,00	0,01000	Retinto	Comercial	Intensivo	Ad libitum
Crecimiento lento	218,0	162,49	0,00977	Retinto	Local	Semiextensivo	Restringida

PV_m: Peso vivo a la madurez; k: Precocidad; EDADPI: Edad a la máxima ganancia de peso.

¹Usero et al. (2016).

cantidad y concentración energética del pienso suministrado, optimizando el coste por kg de carne producida.

El patrón optimizó la fase de crecimiento-engorde para un mínimo coste de alimentación. En el caso de los cerdos comerciales, el valor de la canal viene determinado por su contenido en carne magra y por su peso; en este sentido, para un ajuste económico óptimo, los patrones y modelos se orientan para maximizar la tasa de crecimiento y deposición de magro. En cambio, el valor de la canal del cerdo Ibérico se determina por su clasificación dentro de la norma de calidad (BOE, 2014) y su cotización en lonjas específicas como la de Extremadura (Lonja de Extremadura, 2020). En este sentido, los patrones se ajustan para optimizar económicamente la producción de carne de un cerdo graso, de crecimiento lento y ciclo largo, en función de su clasificación y grado de calidad que cotiza a diferentes precios de mercado. A termino de este estudio, en diciembre de 2019: a) la cotización de mercado del cerdo cebado a matadero, fueron de 1,49 €/kg PV para razas comercial (Mercolleida, 2020), y de 1,98 €/kg PV y 2,28 €/kg PV para cerdos ibérico (50 % Duroc) en sistema "Cebo" y "Cebo de Campo", respectivamente (Lonja de Extremadura, 2020); b) el coste del pienso era de 0,784 €/kg para cerdos de cebo comercial y 1,060 €/kg para cerdos ibéricos (50 % Duroc) de "Cebo"; c) y el precio de los jamones frescos fue de 5,08 €/kg y de 5,855 €/kg para cerdos ibérico (50 % Duroc) en sistema "Cebo" y "Cebo de Campo", respectivamente (Lonja de Extremadura, 2020). La media de peso de los jamones de los animales del estudio fue de 14,28 kg por unidad y 171,15 kg de PV medio al sacrificio. De acuerdo con los precios de mercado, el coste de alimentación en la fase de crecimiento-engorde calculado por el patrón fue de 169,01 €/animal (este coste no incluye el coste de alimentación entre los 24 y los 90 días de edad), y el retorno sobre esta inversión por la venta de jamones fue de 167,21 €, cu-

briendo el 98,8 % del coste de alimentación en crecimiento-engorde. El patrón desarrollado en este estudio en condiciones de campo con dos lotes de animales en una producción comercial aporta el conocimiento de una nueva metodología de ajuste de patrones de "crecimiento lento" porcino. De aplicación práctica, en condiciones de producciones similares a las de este, para ajustar de manera eficiente en la alimentación y el manejo de producciones de cerdos pesado o la recría de futuras reproductoras. La limitación de los resultados de este estudio es no poder generalizarlos para diferentes explotaciones y sistemas de producción (genotipo, programa de alimentación, ciclo de producción, el medio ambiente, etc.), ya que se necesita más investigación para extrapolar generalizar las predicciones precisas a otros escenarios.

Conclusiones

En las condiciones de este estudio, la metodología propuesta, nos permitió ajustar un patrón en cuatro fases de crecimiento y alimentación lenta en cerdo ibérico para la producción tradicional de carne de cerdo de alta calidad. Los resultados del patrón obtenido nos permiten diseñar un programa de alimentación, para casos con las mismas condiciones del estudio, con consecuencias positivas sobre la productividad. Y la metodología descrita, puede adaptarse para el ajuste de patrones de crecimiento y alimentación propios, de diferentes condiciones y sistemas de producción en porcino de crecimiento lento (recría de futuros reproductores).

Agradecimientos

Los autores agradecen al equipo humano de la empresa Cárnicas Joselito S.A. el apoyo técnico y la disponibilidad de sus instalacio-

nes para la realización de este estudio. Este trabajo se desarrolló como parte del proyecto apoyado por el plan de financiación de Proyectos de Investigación y Desarrollo (PID) promovido por el Ministerio de Ciencia e Innovación del gobierno español a través del Centro para el Desarrollo Industrial (CDTI) llevado a cabo por la empresa CampoJerez, S.L: "Desarrollo de un nuevo programa de alimentación ajustado a los requerimientos nutricionales de la nueva línea genética de cerdo ibérico Templario™" (IDI-20170887).

Referencias bibliográficas

- Andrés AI, Ruiz J, Tello ML, Mayoral AI (1998). Tipos de fibras musculares en el cerdo ibérico; influencia del sistema de explotación. *Solo Cerdo Ibérico* 1: 77-86.
- Ayuso M (2016). Efecto de la introducción de genética Duroc y de la restricción de vitamina A en la dieta sobre parámetros productivos, expresión génica y calidad de la carne en el cerdo ibérico. Tesis Doctoral, Universidad Complutense de Madrid, Madrid, España.
- Barea R, Nieto R, y Aguilera JF (2007). Effects of the dietary protein content and the feeding level on protein and energy metabolism in Iberian pigs growing from 50 to 100 kg body weight. *Animal* 1: 357-365. <https://doi.org/10.1017/S1751731107666099>.
- BOE (2013). Real Decreto 53/2013, de 1 de febrero, por el que se establecen las normas básicas aplicables para la protección de los animales utilizados en experimentación y otros fines científicos, incluyendo la docencia. *Boletín Oficial del Estado*, núm. 34, de 8 de febrero de 2013, pp. 11370-11421.
- BOE (2014). Real Decreto 4/2014, de 10 de enero, por el que se aprueba la norma de calidad para la carne, el jamón, la paleta y la caña de lomo ibérico. *Boletín Oficial del Estado*, núm. 10, de 11 de enero de 2014, pp. 1569-1589.
- Bridges TC, Turner LW, Smith EM, Stahly TS, Loefer OJ (1986). A mathematical procedure for

- estimating animal growth and body composition. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* 29: 1342-1347. <https://doi.org/10.13031/2013.30320>
- Campbell RG, Dunkin AC (1983). The effects of energy intake and dietary protein on nitrogen retention, growth performance, body composition and some aspects of energy metabolism of baby pigs. *British Journal of Nutrition* 49: 221-230. <https://doi.org/10.1079/bjn19830029>
- Conde-Aguilera JA, Aguinaga MA, Aguilera JF, Nieto R (2011). Nutrient and energy retention in weaned Iberian piglets fed diets with different protein concentrations. *Journal of Animal Science* 89: 754-763. <https://doi.org/10.2527/jas.2010-3173>
- Daza A (1988). Alojamiento e instalaciones en ganado porcino. En: *Bases para el diseño de alojamientos e instalaciones ganaderas* (Ed. E. Sanz, C. Buxadé y I. Ovejero), pp. 115-171. Asociació d'Enginyers Agrònoms de Catalunya. Barcelona, España. 54 pp.
- Daza A, López-Bote C, Olivares A, Menoyo D, Ruiz J (2008). Influence of a severe reduction of the feeding level during the period immediately prior to free-range fattening on performance and fat quality in Iberian pigs. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 88: 449-454. <https://doi.org/10.1002/jsfa.3106>.
- DOUE (2010). Directiva 2010/63/UE del parlamento europeo y del consejo de 22 de septiembre de 2010 relativa a la protección de los animales utilizados para fines científicos. *Diario Oficial de la Unión Europea*, núm. 276, de 20 de octubre de 2010, pp. 33-78.
- McCann MEE, Magowan E (2004). The evaluation of ultrasonic instruments used to measure the depth of back fat at P2 in live pigs. Report prepared for: UFU and PPDC Committees, AFBINI. Disponible en: www.afbini.gov.uk.
- FEDNA (2013). Necesidades nutricionales para ganado porcino; Normas FEDNA. Fundación Española Desarrollo Nutrición Animal. Madrid, España. 110 pp.
- Gompertz B (1825). On the nature of the function expressive of human mortality, and on a new mode to determining the value of life contingencies. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* 115: 513-585.
- Knap PW, Roehe R, Kolstad K, Pomar C, Luiting P (2003). Characterization of pig genotypes for growth modeling. *Journal of Animal Science* 81(E): 187-195. https://doi.org/10.2527/2003.8114_suppl_2E187x
- Lange CF, Marty BJ, Birkett SH, Morel P, Szkotnicki B (2001). Application of pig growth models in commercial pork production. *Canadian Journal of Animal Science* 81: 1-8. <https://doi.org/10.4141/A00-006>
- Lonja de Extremadura (2020). Boletín informativo núm. 72 de enero de 2020. Consejería de Medio Ambiente y Rural de Extremadura. <https://lonjaextremadura.es/> (Cotización de cierre de lonja consultada: el lunes 30 de diciembre de 2019).
- López S, France J, Gerrits WJ, Dhanoa MS, Humphries DJ, Dijkstra J (2000). A generalized Michaelis-Menten equation for the analysis of growth. *Journal of Animal Science* 78: 1816-1828. <https://doi.org/10.2527/2000.7871816x>.
- Lovatto PA, Sauvant D, Van Milgen J (2000). Étude et modélisation du phénomène de croissance compensatrice chez le porc. *Journées de la Recherche Porcine en France* 32: 241-246.
- Martínez CA, Rodríguez AP, Jiménez A, Manrique C (2010). Descripción matemática de la función de Gompertz aplicada al crecimiento de animales. *Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia* 57: 76-80.
- Mercolleida (2020). Llotja Agropecuària Mercolleida, SA. <https://www.mercolleida.com/> (Cotización de cierre de lonja consultada: el jueves 2 de enero de 2020).
- Nieto R, Lara L, Barea R, García-Valverde R, Aguinaga MA, Conde-Aguilera JA, Aguilera JF (2012). Response analysis of the Iberian pig growing from birth to 150 kg body weight to changes in protein and energy supply. *Journal of Animal Science* 90: 3809-3820. <https://doi.org/10.2527/jas.2011-5027>.
- NRC (2012). *Nutrient Requirements of Swine*. 11th Ed. Acad. Press, Washington, DC. 420 pp. <https://doi.org/10.17226/13298>.

- Pugliese C, Bozzi R, Campodini G, Acciaioli A, Franci O, Gandini G (2005). Performance of Cinta Senese pigs reared outdoors and indoors. 1. Meat and subcutaneous fat characteristics. *Meat Science* 69: 459-464. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2004.09.001>
- Quiniou N, Noblet J (1995). Prediction of tissular body composition from protein and lipid deposition in growing pigs. *Journal of Animal Science* 73: 1567-1575. <https://doi.org/10.2527/1995.7361567x>
- Richards F (1959). A flexible growth function for empirical use. *Journal of Experimental Botany* 10(2): 290-300.
- Serrano MP, Valencia DG, Nieto M, Lazaro R, Mateos GG (2008). Influence of sex and terminal sire line on performance and carcass and meat quality of Iberian pigs reared under intensive production systems. *Meat Science* 78: 420-428. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2007.07.006>
- Usero G, Gil F, Galván M, Ferreres M, Muñoz A (2016). Modelización nutricional y parametrización zootécnica del ibérico de cebo en un cruce al 50% (♂ Duroc IMF Topigs Norsvin x ♀ Ibérica Retinto Vallehermoso). *Solo Cerdo ibérico* 36: 16-37.
- van Milgen J, Valancogne A, Dubois S, Dourmad JY, Sève B, Noblet J (2008). InraPorc: A model and decision support tool for the nutrition of growing pigs. *Animal Feed Science and Technology* 143: 387-405. <http://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2007.05.020>
- Whittemore CT (1993). *The Science and Practice of Pig Production*, 3rd. Ed. Blackwell Publishing Ltd, UK. 704 pp.
- (Aceptado para publicación el 26 de mayo de 2023)

Percepción social de la calidad estética del paisaje agrícola mediterráneo: los frutales en floración de la Región de Murcia

José Antonio Albaladejo-García^{1,*}, José Ángel Zabala²,
María Isabel Rodríguez-Valero², Francisco Alcon³ y José Miguel Martínez-Paz^{1,2}

¹ Instituto del Agua y el Medioambiente, Universidad de Murcia. Campus de Espinardo 30100, Murcia, España

² Departamento de Economía Aplicada, Universidad de Murcia. Campus de Espinardo 30100, Murcia, España

³ Departamento de Economía de la Empresa, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica, Universidad Politécnica de Cartagena. 30203, Cartagena, España

Resumen

La calidad estética del paisaje agrícola es un servicio ecosistémico (SE) cultural provisto por un agroecosistema que tiene un efecto positivo en la salud y bienestar de la población. En las últimas décadas, los cambios de uso del suelo en los agroecosistemas han dado lugar a una modificación y fragmentación del paisaje agrícola, con una variación del paisaje asociado y la consiguiente variación del SE. En este contexto, el objetivo de este trabajo es estimar las preferencias sociales por la calidad estética del paisaje agrícola y determinar la importancia relativa de los atributos que lo componen. Para ello se usa como caso de estudio la floración de Cieza (Murcia), integrada en un paisaje muy representativo de los agroecosistemas mediterráneos en zonas semiáridas. Utilizando la técnica de experimentos de elección se obtuvo la utilidad percibida y la importancia relativa de los distintos atributos paisajísticos. Los resultados mostraron, entre otros, las preferencias de la población por paisajes con una elevada presencia de frutales, vegetación natural y elementos tradicionales de agua y con ausencia de edificaciones y de carreteras asfaltadas. Estos resultados proporcionan a los gestores de los agroecosistemas un valor adicional para la gestión de los frutales centrada en conservar los elementos más naturalizados del paisaje en aras de promover una mayor valoración social de este agroecosistema.

Palabras clave: Agroecosistema, experimentos de elección, servicios ecosistémicos, Cieza.

Social perception of the aesthetic quality of the Mediterranean agricultural landscape: the fruit trees in bloom in the Region of Murcia

Abstract

The aesthetic quality of the agricultural landscape is a cultural ecosystem service (ES) provided by an agroecosystem that has a positive effect on the health and well-being of the population. In recent decades, land

* Autor para correspondencia: joseantonio.albaladejo@um.es

use changes in agroecosystems have resulted in a modification and fragmentation of the agricultural landscape, with associated landscape variation and consequent variation of the ES. In this context, the aim of this paper is to estimate social preferences for the aesthetic quality of the agricultural landscape and to determine the relative importance of its component attributes. For this purpose, the flowering of Cieza (Murcia) is used as a case study, integrated in a landscape that is highly representative of semi-arid Mediterranean agroecosystems. Using the choice experiments technique, the perceived usefulness and relative importance of the different landscape attributes were obtained. The results showed people's preferences for landscapes with a high presence of fruit trees, natural vegetation and traditional water features and with an absence of buildings and asphalt roads. These results provide agroecosystem managers with additional value for fruit orchard management focused on conserving the most naturalised elements of the landscape in order to promote a higher social valuation of this agroecosystem.

Keywords: Agroecosystem, choice experiments, ecosystem services, Cieza.

Introducción

La producción conjunta de alimentos y materias primas junto con una serie de bienes y servicios ambientales y sociales, hace de la agricultura una actividad multifuncional que contribuye, a través de múltiples funciones, al bienestar social (Arriaza y Gómez-Limón, 2011). El enfoque de los servicios ecosistémicos (SE) permite abordar de manera integrada las múltiples funciones de la agricultura, considerando tanto los SE de abastecimiento (ej. producción de alimentos, fibras, etc.), como los SE de regulación (ej. regulación climática, control erosión etc.), o culturales (ej. oportunidades de recreo, estética del paisaje etc.). No todas las contribuciones de la agricultura al bienestar son siempre positivas dado que también pueden producirse contra-servicios ecosistémicos que originan pérdida de bienestar (contaminación, agotamiento de recursos, etc.) y que deben ser tenidos en cuenta al realizar el balance neto de la actividad agrícola (Zabala et al., 2021).

La demanda social por los SE de los agroecosistemas está creciendo en las últimas décadas (Salazar-Ordóñez et al., 2013) dado que son una de las vías de disfrute directo por parte de los ciudadanos a través de la recreación, el patrimonio cultural, la educación y el conocimiento, los valores espirituales, las

relaciones sociales y la calidad estética del paisaje (Haines-Young y Potschin, 2018).

La calidad estética del paisaje es un SE cultural que puede definirse como el bienestar, utilidad o placer que obtienen las personas de la apreciación estética del paisaje (Kalivoda et al., 2014). Diversos estudios sugieren que la contemplación de una alta calidad paisajística puede aumentar el rendimiento cognitivo, mejorar el estado de ánimo de las personas, fomentar el desarrollo mental y motriz de los niños, ayudar a mitigar el estrés y la fatiga mental, desencadenar emociones positivas y promover actividades deportivas e interacciones sociales (Russell et al., 2013; Fish et al., 2016; Pahissa, 2021). Así, tanto académicos como responsables políticos vienen respaldando iniciativas para la protección de los valores estéticos del paisaje, como por ejemplo el Convenio Europeo del Paisaje (Council of Europe, 2000). Además, la calidad estética del paisaje es un SE directamente relacionado con la provisión de otros servicios culturales, como son los recreativos y turísticos (La Rosa et al., 2016) y, por tanto, y para el caso de los agroecosistemas, puede contribuir junto a los servicios de provisión y ambientales (Salazar-Ordóñez et al., 2021), al crecimiento económico y el desarrollo territorial (Fish et al., 2016).

En muchos agroecosistemas de regadío del área mediterránea semiárida la sociedad valora

cada vez más el disfrute recreativo y cultural de sus paisajes frente a la exclusiva función de producción de alimentos (Martínez-Paz et al., 2019) poniendo de manifiesto la necesidad de conservar la calidad estética de estos paisajes agrícolas (Aretano et al., 2013). El valor del SE de la calidad estética del paisaje es aún más relevante para el caso de agroecosistemas del área mediterránea semiárida, debido a la importante transformación sufrida a causa de cambios del uso del suelo, principalmente derivados de la intensificación de la actividad agrícola (Albaladejo-García et al., 2018) y el aumento de la urbanización (Barroso et al., 2012).

Por otro lado, la naturaleza subjetiva del SE de la calidad del paisaje hace que determinar las preferencias sociales hacia los distintos componentes estéticos que lo conforman sea clave a la hora de definir las pautas de gestión de estos agroecosistemas, con el fin tanto de potenciar su provisión global, como de proteger agroecosistemas con mayores valores estéticos (Włodarczyk-Marciniak et al., 2020).

Tradicionalmente, la literatura sobre la valoración de la calidad estética del paisaje se ha centrado en el uso de métodos indirectos u objetivos que consideran este SE como algo inherente al paisaje físico (Molina et al., 2016). No obstante, cada vez es más frecuente encontrar trabajos que analizan el paisaje desde una perspectiva subjetiva, considerando este SE como un producto de la mente de quien observa el paisaje (Junge et al., 2015). Los métodos de preferencias declaradas (valoración contingente y experimentos de elección) se muestran apropiados para determinar de un modo subjetivo las preferencias de la población respecto a los distintos componentes de un paisaje (van Zanten et al., 2016). De entre todas las técnicas de valoración de preferencias, numerosos trabajos recomiendan el uso de experimentos de elección debido a su flexibilidad y capacidad para considerar la multidimensionalidad de los paisajes, proporcionando información de-

tallada sobre el valor individual de sus componentes (Tagliaferro et al., 2016). El uso de estas técnicas permite además cumplir con unos de los principios del Convenio Europeo del Paisaje que exhorta a que las medidas y acciones de las políticas paisajísticas estén basadas en el juicio de la población (de Ayala et al., 2015). Asimismo, los métodos de preferencias declaradas también ayudan a profundizar en el análisis de la heterogeneidad social, de modo que las acciones políticas que se deriven puedan desarrollarse considerando las necesidades particulares de cada uno de los colectivos sociales (Zabala et al., 2022).

En este contexto, el objetivo principal de este trabajo es determinar las preferencias sociales por la calidad estética del paisaje de los frutales no cítricos de regadío, uno de los agroecosistemas semiáridos más característicos del área mediterránea. Este análisis permitirá determinar la utilidad y la importancia relativa de cada uno de los atributos que influyen en la calidad estética de este paisaje agrícola. Se van a considerar los paisajes generados durante el periodo de floración de los frutales que es el momento en el que se produce la mayor provisión del SE del paisaje de estos agroecosistemas (Junge et al., 2015).

La contribución de este trabajo a la literatura especializada es doble: (I) Estima las preferencias de la población por la calidad estética del paisaje agrícola mediante la técnica de experimentos de elección, técnica poco frecuente en la literatura de valoración de SE culturales; (II) Evalúa la heterogeneidad de preferencias sociales en el análisis de la calidad estética del paisaje, identificando las fuentes de dicha variabilidad, análisis novedoso en el caso de este SE cultural (Häfner et al., 2018).

Material y métodos

En este apartado se presenta la metodología general para determinar las preferencias sociales por la calidad estética del paisaje agrí-

cola y se detalla su aplicación al caso de estudio, junto con el desarrollo del experimento de elección y la selección de atributos y niveles utilizados.

Métodos para estimar la calidad estética del paisaje

La estimación de la calidad estética del paisaje es una tarea compleja que depende de las características visuales del paisaje, conllevando un alto grado de subjetividad (López Martínez et al., 2016). Los enfoques presentes en la literatura para llevar a cabo esta tarea son:

Métodos subjetivos

Se basan en la contemplación directa del paisaje (*in situ* o mediante fotografías, dibujos...) y su valoración global de acuerdo con las percepciones individuales de quien lo observa (Howley, 2011).

Métodos objetivos

Identifican y valoran de forma independiente, y a través de indicadores de base biofísica, los atributos que componen la calidad estética del paisaje, tales como cuerpos de agua, cubierta vegetal, y construcciones humanas (Franch-Pardo et al., 2017), agregándose el valor de los mismos para obtener un valor estético global. Estos métodos buscan objetivar la valoración estética del paisaje con resultados cuantitativos. Sin embargo, la subjetividad derivada de la selección inicial de los atributos sigue presente, mientras numerosos estudios abogan por la necesidad de explicitar el componente subjetivo de la percepción de la población en la valoración del paisaje (Schirpke et al., 2013).

Métodos mixtos

Combinan los dos enfoques anteriores, con un análisis descriptivo de la calidad estética

del paisaje (perspectiva objetiva) al que se incorpora la valoración de las preferencias de la población (perspectiva subjetiva) (Aretano et al., 2013).

En este trabajo se ha utilizado un método subjetivo que determina las preferencias de la población mediante encuestas usando la técnica de los experimentos de elección. A diferencia de otros métodos subjetivos que no consideran los atributos determinantes de los cambios de los valores estéticos, en el presente trabajo se ha realizado una identificación previa de dichos atributos mediante el uso de herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Área de estudio

Los frutales en floración han sido elegidos como caso de estudio, dado que proporcionan uno de los paisajes agrícolas más representativos del área mediterránea semiárida. Específicamente, se estudió el paisaje de las 11.915 ha ocupadas por frutales no cítricos del área de Cieza, en la Región de Murcia, integrada por los municipios de Calasparra, Cieza, Abarán, Blanca y Archena (Figura 1), durante los meses de febrero-abril. Del total de dicha superficie de frutales, más del 60 % son melocotoneros, un 20 % albaricoqueros y un 6 % ciruelos (CREM, 2022) y, por tanto, generadores del paisaje característico de floración (Guardiola, 2018). Esta área se articula en 15.139 parcelas de un tamaño medio de 0,787 ha, con un mínimo de 0,016 ha y máximo de 50 ha.

El fenómeno de floración constituye un espectáculo natural de gran impacto visual por el colorido de las flores, en el que destacan las diversas tonalidades rosas y blancas, y produce el desarrollo de una intensa actividad turística, atrayendo cada año a miles de visitantes a la zona, con múltiples actividades que permiten disfrutar de la contemplación de este paisaje (visitas guiadas, rutas sende-

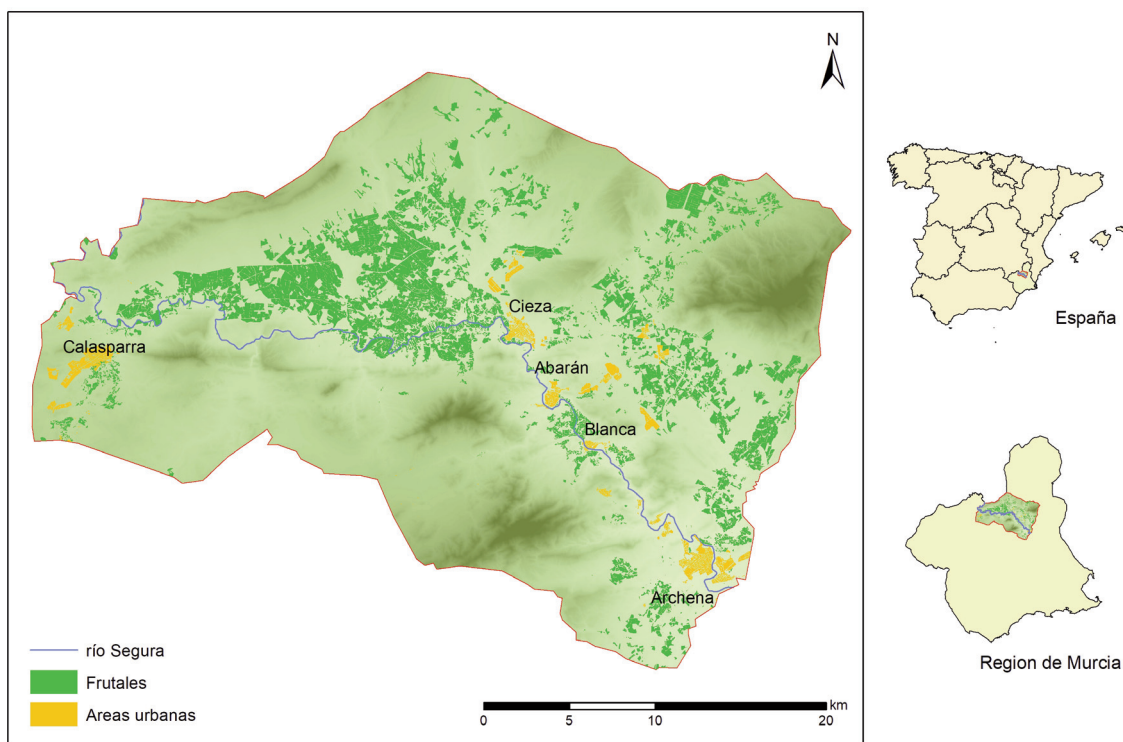


Figura 1. Localización de los frutales del área de estudio.
 Figure 1. Location of fruit trees in the study area.

ristas, paseos en globo, rutas en tren turístico, etc.) que sirven de base para el desarrollo, a su vez, de otras deportivas, culturales o gastronómicas (Floraciencia, 2022).

La Figura 1 recoge la localización de las superficies de frutales, todos ellos en regadío, originalmente ligados al aprovechamiento del agua del río Segura mediante sistemas de riego tradicionales (acequias, norias, etc.) y en las que es frecuente encontrar núcleos de vegetación natural como pinares o vegetación de ribera en los márgenes (Albaladejo-García et al., 2021a). La llegada de aguas del trasvase Tajo-Segura, a partir de 1979, junto con la explotación de aguas subterráneas de los últimos años (Pellicer-Martínez y Martínez-Paz, 2018), dio lugar a la intensificación de una parte de

la actividad frutícola que ha modificado algunas zonas del paisaje tradicional por la construcción de grandes balsas, canalizaciones y casetas para las instalaciones de bombeo. Además, esta intensificación ha venido acompañada de procesos de urbanización en las parcelas que han provocado la fragmentación del paisaje, con construcción de edificaciones y almacenes y el asfaltado de los tradicionales caminos de tierra (Guardiola, 2018).

Método de los experimentos de elección

Los experimentos de elección son un método de preferencias declaradas basado en la teoría de utilidad multiatributo y aleatoria (McFadden, 1974). En un experimento de elección se

pide a los individuos que elijan, de entre un conjunto de diferentes alternativas, aquella que les proporcione un mayor nivel de utilidad. Asimismo, dichas alternativas están definidas por un conjunto de atributos. A partir de las preferencias obtenidas es posible calcular la función de utilidad que subyace a cualquier combinación de atributos, así como determinar la importancia relativa de cada uno de ellos (Perni y Martínez-Paz, 2017).

Este trabajo estudia cómo los atributos del paisaje conforman su calidad estética, y, por tanto, no se busca calcular disposiciones al pago o una valoración económica de los paisajes o de sus componentes, sino la utilidad percibida por cada atributo del paisaje. Por ello, no se ha incluido ningún atributo de naturaleza monetaria, de contribución o compensación, como suele ser habitual en este tipo de técnica (van Zanten et al., 2016). De este modo, existe una heterogeneidad metodológica a la hora de determinar las preferencias paisajísticas, pues los métodos van desde la valoración económica hasta técnicas basadas en la percepción del paisaje.

Determinación de los atributos y niveles del paisaje

En primer lugar, se llevó a cabo una revisión de la literatura de las características y atributos de los paisajes de frutales en regadío, especialmente de los referentes a los fenómenos de floración, periodo en el que este tipo de agroecosistemas presenta su mayor provisión de calidad estética (Junge et al., 2015). Esta revisión permitió identificar una veintena de atributos, de los cuales se seleccionaron 6 para el caso específico de los paisajes en floración de frutales en regadío en el área mediterránea. Esta selección de atributos se basó, en primer lugar, en considerar aquellas características físicas que podían ser identificadas mediante SIG, lo que llevó a descartar atributos del paisaje como número de colores, texturas o contrastes (Arriaza et al.,

2004). Aquellos atributos del paisaje que apenas tenían variabilidad en la zona, como es el caso de la altitud de las parcelas o sus pendientes fueron también excluidos en la selección final de atributos, dado que no contaban con distintos niveles representativos (López Martínez et al., 2016). Así, los 6 atributos finalmente seleccionados fueron (1) la superficie de frutales en floración y la presencia/ausencia de (2) infraestructuras hidráulicas tradicionales, (3) estructuras de riego modernas, (4) vegetación natural, (5) edificaciones y (6) carreteras asfaltadas.

En la Tabla 1 se recogen los atributos y niveles utilizados en este trabajo, junto con la referencia a los trabajos previos sobre la calidad de los paisajes agrícolas en los que se utilizan estos mismos atributos.

Para validar esta selección se realizó un grupo de discusión con expertos locales formado por geógrafos, agrónomos, economistas y ambientólogos que confirmaron la idoneidad de estos atributos para el caso de estudio. En este grupo de discusión también se consensuaron los niveles de los atributos a utilizar en el experimento de elección. Así, el primero de los atributos considerados, la superficie de frutales, se graduó en tres niveles: >90 % frutales, 50 % frutales-50 % herbáceos, y 50 % frutales-50 % suelo desnudo. Los cinco atributos restantes se articularon en modo dicotómico, con dos niveles relacionados con la presencia o ausencia de cada uno de ellos.

Diseño del experimento de elección

Los atributos y niveles seleccionados se combinaron mediante un diseño Bayesiano D-eficiente, que busca minimizar los errores estándar de los parámetros de un modelo de elección de efectos fijos. Para poder aplicar este diseño, se emplearon los resultados del experimento de elección de la encuesta piloto, obteniendo así una primera aproximación de los parámetros. Dicho experimento de elección piloto había sido diseñado, a su

Tabla 1. Resumen de los atributos y niveles utilizados.
 Table 1. Overview of attributes and levels used.

Atributos	Niveles	Descripción	Referencias
Superficie de frutales (SUPF)	Más de 90% frutales (FRUT) 50% frutales y 50% herbáceos (FRHB) 50% frutales y 50% suelo desnudo (FRSD)	Porcentaje de la superficie total cubierta por árboles frutales.	Arriaza et al. (2004); López Martínez et al. (2016); Tagliafierro et al. (2016)
Presencia de elementos tradicionales de agua (TRAG)	Presencia Ausencia	Presencia de elementos tradicionales relacionados con el agua, como acequias o ríos naturales.	Arriaza et al. (2004); López Martínez et al. (2016); Shr et al. (2019)
Presencia de elementos modernizados de agua (MDAG)	Presencia Ausencia	Presencia de elementos modernizados relacionados con el agua, como balsas de agua.	Arriaza et al. (2004); López Martínez et al. (2016)
Presencia de vegetación natural (VEGN)	Presencia Ausencia	Presencia de otra vegetación natural como pinos, palmeras y vegetación de ribera.	van Zanten et al. (2016); Tagliafierro et al. (2016); Häfner et al. (2018)
Presencia de edificaciones (EDIF)	Presencia Ausencia	Presencia de nuevas edificaciones asociadas a zonas urbanas y a caseríos derivados de la agricultura intensiva.	Rechtman (2013); López Martínez et al. (2016); Tagliafierro et al. (2016)
Presencia de carreteras asfaltadas (CARR)	Presencia Ausencia	Presencia de carreteras asfaltadas que cruzan o rodean las parcelas de árboles frutales.	Arriaza et al. (2004); López Martínez et al. (2016); Martin et al. (2016)

vez, mediante un diseño S-eficiente, buscando minimizar el tamaño de la muestra requerido para dicha encuesta (Rose et al., 2010). Todos los diseños se implementaron mediante el software Ngene.

El experimento de elección se diseñó con 20 conjuntos de elección, que fueron agrupados

en 4 bloques, de 5 conjuntos de elección cada uno, distribuidos de forma aleatoria durante la toma de datos. Cada conjunto de elección estaba compuesto por dos alternativas genéricas que representaban diferentes paisajes agrícolas, tal y como muestra el ejemplo recogido en la Figura 2.

Atributos	Alternativa A	Alternativa B
Superficie de frutales	Frutales >90 %	Frutales 50 % Herbáceos 50 %
Presencia de elementos tradicionales de agua	✗	✓
Presencia de elementos modernizados de agua	✗	✓
Presencia de vegetación natural	✓	✗
Presencia de edificaciones	✗	✓
Presencia de carreteras asfaltadas	✗	✓
Alternativa preferida:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Figura 2. Ejemplo de conjunto de elección.
Figure 2. Example of a choice set.

De este modo, a cada encuestado se le pedía que escogiera, en el contexto de la búsqueda de mejoras de la calidad estética del paisaje de frutales en floración de la zona de Cieza, aquel paisaje de frutales en floración que, de acuerdo con sus preferencias y gustos le resultara más atractivo, para cada conjunto de elección. Para facilitar las elecciones, la encuesta se acompañó de un folleto informativo donde se mostraban fotografías reales que presentaban la combinación de determinados niveles de los atributos. Un ejemplo de estas fotografías se muestra en la Figura 3. Además de las fotografías reales, se presentó a los encuestados unas fotografías manipuladas del paisaje con la finalidad de mostrar una comparación de las posibles modificaciones que podría sufrir el paisaje atendiendo a la presencia de cada uno de los atributos (material complementario).

Especificación del modelo de utilidad

Según la teoría de la utilidad aleatoria (McFadden, 1974), la utilidad U_{ij} para un individuo i proporcionada por una alternativa de paisaje agrícola j puede descomponerse en una parte determinista (V_{ij}) y otra estocástica (ϵ_{ij}), consideradas de forma aditiva:

$$U_{ij} = V_{ij} + \epsilon_{ij} = \sum_{k=1}^K \beta_{ik} X_{ikj} + \epsilon_{ij} \quad [1]$$

donde V_{ij} representa los elementos observados de la utilidad determinada por los k niveles de los atributos y las características socioespaciales de los individuos (X_{ikj}), y ϵ_{ij} es un término de error aleatorio con una distribución de valores extremos independiente e idénticamente distribuida (Train, 2009). Suponiendo una relación lineal entre los niveles de atributos, β_{ik} es la utilidad marginal

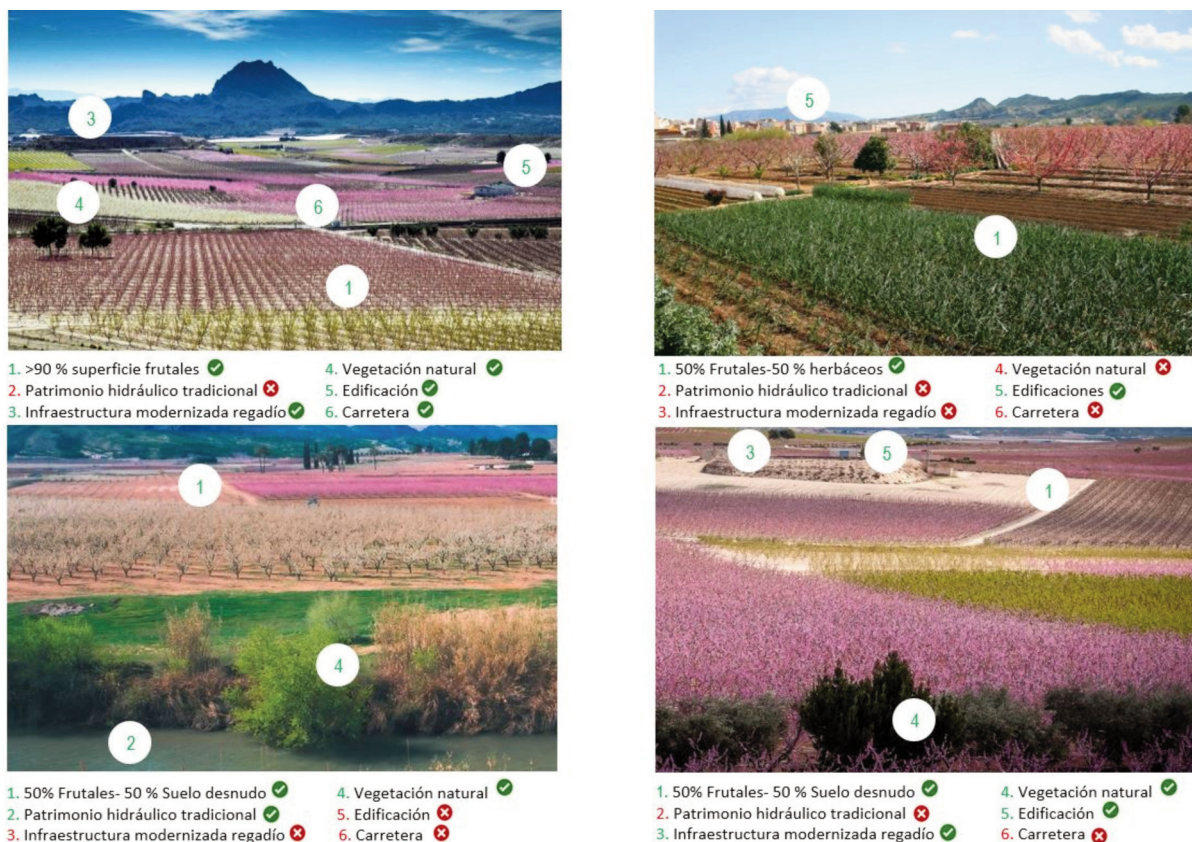


Figura 3. Ejemplo de paisaje de frutales en floración.
Figure 3. Example of a landscape of fruit trees in blossom.

individual obtenida de cada atributo k , que refleja cómo cambia el nivel de utilidad ante la variación de los atributos del paisaje agrícola.

El modelo logit multinomial (MNL) (Train, 2009) ha sido ampliamente utilizado para estimar las probabilidades de las elecciones. Se empleó una especificación lineal para estimar la función de utilidad y se examinó la heterogeneidad de las preferencias utilizando las interacciones entre algunos atributos y las características socioeconómicas y espaciales de los encuestados. Este modelo se realizó mediante el paquete Apollo del software R.

Los resultados del modelo MNL también se utilizaron para calcular la importancia rela-

tiva de cada atributo. A partir de los coeficientes estimados es posible calcular la importancia relativa ($Rimp_k$) de los diferentes atributos en base a la ponderación basada en rangos y estandarizada de cada atributo (Danner et al., 2017):

$$Rimp_k = \frac{rango_k}{\sum_{k=1}^K rango_k} \cdot 100 = \frac{\beta_{maxk} - \beta_{min_k}}{\sum_{k=1}^K (\beta_{maxk} - \beta_{min_k})} \cdot 100 \quad [2]$$

Encuesta y toma de datos

Una vez seleccionados los atributos y niveles que conforman la calidad estética del paisaje, y diseñado el experimento de elección,

se procede a obtener las preferencias subjetivas de la población por los mismos. Para ello se diseñó un cuestionario que constaba de 20 preguntas divididas en tres secciones.

La primera sección comprendía preguntas sobre la valoración general del paisaje, de los principales SE que pueden proporcionar los frutales, y de las actividades recreativas que lleva a cabo la población de la zona. Estas cuestiones permiten obtener información del tipo de paisajes que pueden observar los encuestados desde su residencia; conocer el tipo de actividades recreativas que más realizan los encuestados, y determinar la importancia socioeconómica de cada SE individual proporcionado por los frutales de regadío. En la segunda sección se presentaba el experimento de elección, parte central del cuestionario para obtener las preferencias de la población por cada uno de los atributos del paisaje. Finalmente, la última sección del cuestionario incluía cuestiones relacionadas con las características sociodemográficas, espaciales y actitudinales de los encuestados. Las actitudes medioambientales se midieron mediante índices de compromiso ecológico afectivo (ICA), verbal (ICV) y real (ICR), utilizando una escala Likert de cinco puntos para evaluar un conjunto de afirmaciones del cuestionario (Zabala et al., 2022). Para caracterizar espacialmente a los encuestados según su proximidad al bien analizado, a partir de la pregunta sobre su lugar de residencia (dado su código postal) se calculó, siguiendo a Martínez-Paz et al. (2021) la distancia hasta las parcelas de frutales de la zona de estudio más cercanas.

A principios de marzo de 2021 se realizó una encuesta piloto a 18 individuos, que permitió depurar el cuestionario que se utilizó en la encuesta definitiva, desarrollada de forma presencial desde finales de marzo y el mes de abril de 2021 (final del periodo de floración) a una muestra aleatoria entre los 532.820 hogares de la Región de Murcia. La encuesta se llevó a cabo en lugares públicos, habitual-

mente frecuentados por todos los habitantes de la Región de Murcia (parques, delegaciones del gobierno, universidades, etc.) con una estrategia de rutas aleatorias. Se obtuvo una muestra final de 493 encuestas siguiendo un muestreo por cuotas que, para un muestreo aleatorio simple, una variable binaria y un nivel de confianza del 95 %, proporcionaría un error de muestreo del 4,41 % en proporciones intermedias y de 2,65 % para proporciones extremas, lo que asegura la representatividad de la muestra (Greene, 1997).

Características de la muestra

La Tabla 2 recoge la descriptiva de las principales características muestrales, identificando el perfil del encuestado promedio como un hombre, de 41 años, con estudios universitarios (finalizados o en curso) y que es trabajador activo. Lo más frecuente es un hogar de 4 miembros (3,1 en media), siendo la renta media del hogar de 2.157 €/mes.

Estas características, a excepción de los estudios universitarios de los encuestados, no difieren de forma significativa de los valores censales de la Región de Murcia (CREM, 2022) también recogidos en la tabla 2, lo que confirma la representatividad de la muestra y su validez para el análisis e inferencia sobre la población. Señalar la sobrerrepresentación de la categoría correspondiente a encuestados con estudios universitarios, hecho por otra parte habitual en este tipo de ejercicios, y que es una limitación a la hora de establecer una completa representatividad de la muestra.

El 26,37 % de encuestados son usuarios de las superficies de frutales durante el periodo de floración, puesto que en los últimos tres años han llevado a cabo algún tipo de actividad en la zona. El número de veces promedio que los encuestados visitaron la zona de frutales de Cieza durante el periodo de floración fue de 1,29; aunque con una gran disparidad, habiendo encuestados que lo visitaron hasta

Tabla 2. Descripción de la muestra de encuestados.
 Table 2. Description of the sample of respondents.

Descripción	Código	Media	
		Muestra (SD)	Población ^a
Tamaño hogar (n° miembros)	TAMF	3,13 (1,24)	2,73
Edad (años)	EDAD	41,39 (14,93)	42
Ingresos mensuales (€/hogar/mes)	INGR	2.157 (1.208)	1.794
Trabajador activo (% si)	TRAB	70,79	60,93
Nivel educacional (%):			
Primaria	BED	6,29	12,70
Secundaria	SED	34,28	43,60
Universidad	UNIV	46,04	30,30
Género (% mujeres)	GEND	48,68	49,93
Usuarios (%)	USER	26,37	
Frecuencia visitas (n)	FREC	1,29 (5,92)	
Actividades (% personas que realizan actividades):			
Contemplar paisaje	CONT	20,89	
Senderismo	SEND	13,59	
Fotografía	FOTO	9,13	
Gastronomía	GAST	7,91	
Zona de paso	ZPAS	7,30	
Descenso río Segura	DESC	4,06	
Ciclismo	CICL	3,04	
Cultivo en una parcela	CULT	1,01	
Académico-científicas	ACAD	0,06	

^a Datos poblacionales obtenidos del Centro Regional de Estadística de Murcia (CREM, 2022).

100 veces. Entre las actividades más frecuentes realizadas por los encuestados destaca la contemplación del paisaje (20,89 %), el senderismo (13,59 %) y la fotografía (9,13 %), mientras que las actividades académico-científicas (0,06 %) y las relacionadas con el cultivo de frutales (1,01 %) fueron las menos frecuentes.

En la Tabla 3 se muestra que la población presenta un elevado compromiso ecológico en la faceta afectiva (3,88), intermedio en la verbal (3,36) y bastante reducido en el desempeño ecológico real (2,21). Asimismo, se muestran dos características de ubicación de los encuestados como son la distancia a la que se encuentra cada encuestado respecto a las su-

Tabla 3. Índices de compromiso ecológico, características espaciales y evaluación de servicios ecosistémicos.
 Table 3. *Ecological commitment indices, spatial characteristics and ecosystem services assessment.*

Compromiso ecológico	Código	Media	SD	Min	Max
Índice de compromiso ecológico afectivo (1 min., 5 máx.)	ICA	3,88	0,93	1	5
Índice de compromiso ecológico verbal (1 min., 5 máx.)	ICV	3,36	1,07	1	5
Índice de compromiso ecológico real (1 min., 5 máx.)	ICR	2,21	1,20	1	5
Características espaciales	Código	Media	SD	Min	Max
Distancia mínima de residencia a la zona de estudio (km)	DIST	23,86	18,65	0	73,82
Paisaje agrícola observado desde su residencia (%)	OBSL	49,29			
Paisaje de frutales observado desde su residencia (%)	FTLN	20,28			
Paisaje de regadío intensivo observado desde su residencia (%)	IRRL	6,69			
Paisaje de secano observado desde su residencia (%)	DRYL	11,56			
Valoración de servicios ecosistémicos (0 min, 10 máx.)	Código	Media	SD	Min	Max
Suministro de alimentos	SUM	8,30	1,53	0	10
Calidad estética del paisaje	CEP	7,61	1,79	0	10
Reducción riesgo de erosión/inundación	ERO	7,43	2,01	1	10
Mantener biodiversidad	BIO	7,92	1,78	1	10
Contaminación de acuíferos	POL	7,35	2,28	0	10
Consumo de agua	CAG	7,25	1,99	0	10

perfiles de frutales de la zona de Cieza más próximas y el hecho de poder, o no, observar distintos tipos de paisajes agrícolas desde su residencia. Así, los encuestados se encuentran en media a unos 23,86 km de la zona de estudio, mientras que el 49,29 % puede observar algún tipo de paisaje agrícola desde su residencia, siendo el paisaje de frutales el más frecuente (20,28 %), seguido del secano (11,56 %) y el regadío intensivo (6,69 %).

En la Tabla 3 también se recoge la importancia que otorgan los encuestados a cuatro servicios (SE) y dos contra-servicios (CSE) ecosistémicos que pueden proporcionar los frutales. Todos los SE/CSE obtienen una valoración media-alta, que es superior para los cuatro SE a la de los dos CSE, siendo el ranking de mayor a menor importancia: suministro de alimentos, soporte de la biodiversidad, calidad estética del paisaje, reducción de riesgos, contaminación de acuíferos y consumo de agua.

Resultados

Las preferencias de la población por la calidad estética del paisaje se analizan mediante dos modelos MNL (Tabla 4). Tanto el Modelo 1 (Base) como el Modelo 2 (Interacciones) incluyen los efectos principales de los atributos paisajísticos, mientras que el segundo incorpora como factores explicativos las interacciones entre atributos y características socioespaciales y actitudinales. Se han retenido en la estimación aquellas interacciones que de forma global proporcionan un mejor ajuste del modelo.

La prueba de la razón de verosimilitud (LR) ($LR = 72,37$; $\chi^2_{0,05;7} = 14,07$) muestra diferencias significativas entre el Modelo 1 y el Modelo 2, con un mejor ajuste del segundo. Además, los criterios AIC, BIC y R^2 Ajustado muestran la superioridad del Modelo 2, por lo que será el utilizado como base para la discusión de los resultados.

Los resultados del Modelo 2 muestran una preferencia de los encuestados por paisajes con más del 90 % de la superficie de las parcelas cubiertas por frutales (FRUT), con presencia de elementos tradicionales de agua (TRAG), de vegetación natural (VEGN) y ausencia tanto de edificaciones (EDIF) como de carreteras asfaltadas (CARR). Los paisajes de frutales-herbáceos (FRHB) y los elementos modernizados de agua (MDAG) no son significativos para explicar las elecciones. Los términos de interacción entre la presencia de edificaciones y elementos modernizados de agua, y entre la vegetación natural y la superficie de frutales superior al 90 % son significativos y positivos, indicando que la utilidad percibida por la calidad estética del paisaje aumenta cuando se pueden visualizar conjuntamente estos dos atributos. Además, también son significativas algunas interacciones de características socioespaciales individuales. Así, a medida que aumenta la distancia de los encuestados respecto a la zona de estudio se observa una mayor preferencia por la presencia de elementos tradicionales de agua. Asimismo, los usuarios de la zona declaran unas preferencias mayores por una superficie de frutales superior al 90 %, mientras que quienes otorgan una mayor importancia socioeconómica a la calidad estética del paisaje muestran su mayor preferencia por los elementos tradicionales de agua. En cambio, la desutilidad ante la presencia de elementos modernizados de agua en la zona de estudio se incrementa entre quienes pueden observar frutales desde su residencia; mientras que aquellos que otorgan una mayor importancia al contra-servicio del consumo de agua muestran una percepción negativa por la presencia de elementos tradicionales y modernizados de agua en el paisaje.

Los resultados del Modelo 2 también permiten calcular la importancia relativa de cada uno de los atributos en la calidad estética del paisaje (Figura 4). Las elecciones de los encuestados revelan que la superficie de fruta-

Tabla 4. Resultados de la estimación MNL.
 Table 4. MNL estimation results

Variables	Modelo 1 (Base)	Modelo 2 (Interacciones)
	Coefficiente (Error estándar)	Coefficiente (Error estándar)
FRUT ¹	0,134 (0,061) ***	0,237 (0,064) ***
FRHB ¹	0,022 (0,063)	0,087 (0,084)
TRAG	0,252 (0,046) ***	0,385 (0,227) **
MDAG	-0,085 (0,042) **	-0,080 (0,147)
VEGN	0,191 (0,041) ***	0,359 (0,049) ***
EDIF	0,182 (0,046) ***	-0,348 (0,124) ***
CARR	-0,134 (0,044) ***	-0,074 (0,046) **
Interacciones atributos		
EDIF×MDAG		1,084 (0,225) ***
FRUT×VEGN		0,192 (0,118) **
Interacciones características socioespaciales		
DIST×TRAG		0,005 (0,002) **
FTLN×MDAG		-0,217 (0,142) *
USER×FRUT		0,227 (0,114) **
CEP×TRAG		0,047 (0,025) **
CAG×TRAG×MDAG		-0,138 (0,025) ***
Descripción del modelo		
N. observaciones	2.465	2.465
N. encuestados	493	493
Máxima Verosimilitud	-1.669,073	-1.632,888
R ² Ajustado	0,019	0,036
AIC	3.352,15	3.293,78
BIC	3.398,79	3.375,12

Estadísticamente significativo a un nivel * $P < 0,1$, ** $P < 0,05$ *** $P < 0,01$.

¹ FRSD fue la categoría de referencia para el atributo superficie de frutales con 3 niveles.

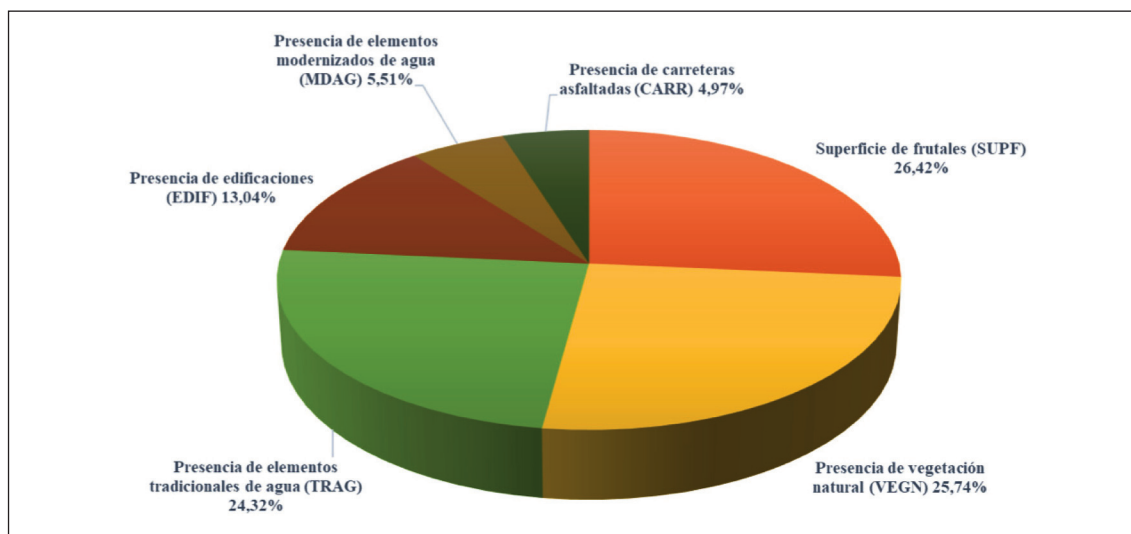


Figura 4. Importancia relativa (%) de los atributos de calidad estética del paisaje.
 Figure 4. Relative importance (%) of landscape aesthetic quality attributes.

les (26,42 %) junto con la presencia de vegetación natural (25,74 %) y los elementos tradicionales de agua (24,32 %) son los atributos paisajísticos más importantes. Le siguen por orden de importancia la presencia de edificaciones (13,04 %) y de elementos modernizados de agua (5,51 %), mientras que la presencia de carreteras asfaltadas es la que revela una menor importancia (4,97 %).

Discusión

Este trabajo aplica un método subjetivo para estimar las preferencias sociales por el SE cultural de la calidad estética del paisaje en un agroecosistema de regadío utilizando la técnica de los experimentos de elección, que permite derivar la importancia relativa que tiene cada atributo paisajístico en la calidad estética del paisaje agrícola. El agroecosistema de frutales no cítricos de regadío en floración de la zona de Cieza es el utilizado como caso representativo de estudio, por la singularidad de su paisaje.

De la encuesta a la población regional se deriva que la principal motivación para visitar la zona de Cieza es la propia contemplación del paisaje de frutales en floración junto a actividades de senderismo y fotografía. Esta valoración pone de manifiesto el elevado componente cultural de este agroecosistema y la importancia de su servicio paisajístico, tal y como sucede en las áreas de Huerta de la misma Región (Martínez-Paz et al., 2019), reafirmando resultados como los de Włodarczyk-Marciniak et al. (2020) sobre el valor que tiene la calidad estética del paisaje agrícola para la población.

Los resultados del experimento de elección permiten determinar la utilidad individual y la importancia relativa de los atributos que influyen en la calidad estética del paisaje. Así, la población muestra para este ecosistema una preferencia por el paisaje compuesto mayoritariamente de frutales, con presencia de vegetación natural, y elementos tradicionales de agua. En cambio, muestra una percepción negativa por las edificaciones y las carreteras asfaltadas, mientras que la presencia de ele-

mentos modernizados de agua tiene una valoración negativa, aunque sin llegar a resultar significativa de forma aislada. Como sucede en otros agroecosistemas (Alcon *et al.*, 2020), humedales (Perni y Martínez-Paz, 2017) y áreas rurales (García-Llorente *et al.*, 2012) en zonas semiáridas, la presencia de los elementos menos antropizados en el paisaje aumenta el bienestar de la población.

La significación de algunas interacciones permite matizar esta afirmación desde el momento que, si bien existen una sinergia entre la presencia de frutales y vegetación natural que incrementa la utilidad percibida por la población, también lo hace la combinación de las edificaciones y los elementos modernizados del agua, atributos que de forma aislada restan valor al paisaje. Estos resultados sugieren que la población percibe una mayor calidad estética por paisajes más homogéneos, bien sean más naturalizados, como la combinación de arbolado y vegetación natural, o bien más ruralizados, con casetas y almacenes acompañados de balsas de regadío, mientras la presencia de elementos artificiales aislados, que fomenten la fragmentación del paisaje (López Martínez *et al.*, 2016), restan utilidad. Asimismo, el análisis de interacciones con características socioespaciales demuestra la influencia que tienen los aspectos espaciales (Granado-Díaz *et al.*, 2020) y la percepción de la importancia de los SE proporcionados por los agroecosistemas de frutales en la valoración de los elementos del patrimonio hidráulico, tanto tradicional como modernizado. Estos resultados están en consonancia con recientes trabajos que confirman la importancia del efecto del decaimiento de las distancias y la valoración de SE en las preferencias de la población por determinados activos ambientales (Albaladejo-García *et al.*, 2021b).

La alta importancia relativa de los atributos superficie de frutales, vegetación natural y elementos tradicionales del agua a la hora de

valorar la calidad del paisaje es indicativo del papel de estos elementos a la hora de conformar un referente estético, cultural y de sentimiento de pertenencia del territorio de la población, tal como sucede en otras comarcas adyacentes donde es posible encontrar el paisaje morisco del Valle de Ricote y todas las zonas de Huerta del río Segura con su muy diverso legado de patrimonio hidráulico tradicional (norias, aceñas, acequias...) y de vegetación natural intercalada en los sistemas de cultivo (palmeras, vegetación de ribera...) (Martínez-Paz *et al.*, 2019; Gil Meseguer *et al.*, 2020). Ello evidencia las elevadas preferencias sociales por la conservación de la herencia cultural asociada a la gestión tradicional del agua en la agricultura, algo especialmente remarcable en zonas semiáridas (Heider *et al.*, 2022; Oyonarte *et al.*, 2022), tipo de gestión que a su vez se viene mostrando en muchos casos como la solución más coste-efectiva dado que simultáneamente proporcionan beneficios ambientales, sociales y económicos ayudando a la resiliencia de los agroecosistemas (European Commission, 2021).

Por último, cabe señalar el papel cada vez más importante del paisaje como activo económico. Así, además de los efectos positivos que tiene la calidad estética del paisaje en la salud física y mental de la población, un paisaje atractivo contribuye al desarrollo socioeconómico del territorio a través del turismo y la generación de actividades en el sector servicios (Rodríguez-Entrena *et al.*, 2017; Zasada *et al.*, 2017). Este hecho ha quedado de manifiesto con el reciente despegue turístico de muchos agroecosistemas gracias a la búsqueda de ambientes más naturales motivado por la pandemia (Arnaiz-Schmitz *et al.*, 2021). Por tanto, la conservación del atractivo paisajístico de los agroecosistemas, y en particular de los derivados de los frutales, puede suponer una vía de diversificación de los ingresos para las zonas rurales, la entrada de recursos económicos adicionales, y con ello, no solo evitar el despoblamiento rural, sino suponer un ali-

ciente para fijar población en el territorio (Triquero-Mas *et al.*, 2015). Si bien, a su vez, no se debería pasar por alto las diferentes presiones antrópicas derivadas de las nuevas actividades a las que pueden estar expuestos estos paisajes, las cuales pueden actuar en su contra, llegando a degradar sus valores estéticos (Schirpke *et al.*, 2013), y, por tanto, reducir el bienestar social.

Los resultados aquí expuestos pretenden servir de guía a los gestores públicos para el desarrollo de políticas agrícolas que incentiven el desarrollo y la conservación de aquellos paisajes con una mayor calidad estética para los ciudadanos. De este modo, para garantizar el desarrollo agrícola en la zona, los frutales no cítricos en regadío resultan fundamentales, dado el atractivo paisajístico que genera durante su floración. También resulta importante el mantenimiento e integración de las plantaciones con la vegetación natural de la zona, y con el patrimonio hidráulico tradicional existente, aspectos especialmente remarcables si se pretende atraer turismo de zonas más alejadas, tal como se ha mostrado con el efecto de la distancia sobre las preferencias. Así, se pueden desarrollar programas de incentivos a los agricultores para que adopten prácticas de cultivo enfocadas en la conservación de la vegetación natural y la herencia hidráulica, las cuales contarían con el apoyo social con el objetivo de conseguir un paisaje con una mayor calidad estética.

Conclusiones

La estimación de las preferencias sociales por la calidad estética del paisaje de frutales no cítricos de regadío del área mediterránea mediante un método subjetivo del paisaje ha permitido, haciendo uso de la técnica de los experimentos de elección, obtener las preferencias sociales y la importancia relativa de cada atributo determinante de este servicio ecosistémico cultural.

En general, los encargados de la toma de decisiones y gestores de medidas de apoyo al sector pueden optimizar la provisión de este SE en agroecosistemas teniendo como objetivo la búsqueda de una superficie agraria de frutales, minimizando la presencia de superficies de herbáceos o sin cultivo, conservando los elementos hidráulicos tradicionales, las islas de vegetación natural, evitando el asfaltado de caminos y minimizando el impacto visual en la construcción de nuevas edificaciones o nuevos sistemas de riego.

El fomento de la provisión de valores estéticos en los agroecosistemas, además de su tradicional papel de provisión de alimentos y materias primas, ha de ser un pilar fundamental para el desarrollo de actividades recreativas, de turismo y hostelería, dinamizadoras de la economía del medio rural y que eviten los cada vez más frecuentes fenómenos de abandono y despoblación de estas áreas.

Por último, cabe señalar como el método subjetivo utilizado en este trabajo para estimar las preferencias sociales por la calidad estética del paisaje puede ser complementado con la aplicación de un método mixto que considere conjuntamente estas preferencias sociales por los distintos atributos junto a la presencia de los distintos niveles de los mismos en el territorio, una vez identificados espacialmente, por ejemplo mediante Sistemas de Información Geográfica, de manera que se pueda cuantificar y mapear este servicio ecosistémico a un nivel detallado.

Agradecimientos

AgriCambio: Proyecto PID2020-114576RB-I00 financiado por MCIN/AEI/ 10.13039/501100011033. Los autores agradecen también la financiación de la investigación predoctoral del tercer autor por parte de la Fundación Séneca (21569/FPI/21).

Material complementario

El material complementario de este artículo se puede consultar en la URL:
<https://doi.org/10.12706/itea.2023.006>

Referencias bibliográficas

- Albaladejo-García JA, Martínez-Paz JM, Colino J (2018). Evaluación financiera de la viabilidad del uso de agua desalada en la agricultura de invernadero del Campo de Nijar (Almería, España). *ITEA-Información Técnica Económica Agraria* 114: 398-414. <https://doi.org/10.12706/itea.2018.024>.
- Albaladejo-García JA, Zabala JA, Navarro N, Alcon F, Martínez-Paz JM (2021a). Preferencias sociales y valoración económica en la gestión sostenible de espacios naturales protegidos: el río Segura y su entorno en Cieza (Región de Murcia). *Cuadernos Geográficos* 60(3): 212-232. <https://doi.org/10.30827/cuadgeo.v60i3.17754>.
- Albaladejo-García JA, Alcon F, Martínez-Paz JM (2021b). Economic valuation of allotment gardens in peri-urban degraded agroecosystems: The role of citizens' preferences in spatial planning. *Sustainable Cities and Society* 68: 102771. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.102771>.
- Alcon F, Marín-Miñano C, Zabala JA, de-Miguel MD, Martínez-Paz JM (2020). Valuing diversification benefits through intercropping in Mediterranean agroecosystems: A choice experiment approach. *Ecological Economics* 171: 106593. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2020.106593>.
- Aretano R, Petrosillo I, Zaccarelli N, Semeraro T, Zurlini G (2013). People perception of landscape change effects on ecosystem services in small Mediterranean islands: A combination of subjective and objective assessments. *Landscape and Urban Planning* 112: 63-73. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2012.12.010>.
- Arnaiz-Schmitz C, Herrero-Jáuregui C, Schmitz MF (2021). Recreational and nature-based tourism as a cultural ecosystem service. Assessment and mapping in a rural-urban gradient of central Spain. *Land* 10(4): 343. <https://doi.org/10.3390/land10040343>.
- Arriaza M, Cañas-Ortega JF, Cañas-Madueño JA, Ruiz-Aviles P (2004). Assessing the visual quality of rural landscapes. *Landscape and Urban Planning* 69(1): 115-125. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2003.10.029>.
- Arriaza M, Gómez-Limón JA (2011). Valoración social del carácter multifuncional de la agricultura andaluza. *ITEA-Información Técnica Económica Agraria* 107(2): 102-125.
- Barroso FL, Pinto-Correia T, Ramos IL, Surová D, Menezes H (2012). Dealing with landscape fuzziness in user preference studies: Photo-based questionnaires in the Mediterranean context. *Landscape and Urban Planning* 104(3-4): 329-342. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2011.11.005>.
- Council of Europe (2000). European Landscape Convention. Disponible en: <https://www.coe.int/fr/web/portal/home> (Consultado: 27 de marzo de 2023).
- CREM (2022). Centro Regional de Estadística de Murcia. Datos regionales. Disponible en: https://econet.carm.es/web/crem/inicio/-/crem/si-crem/PU_datosBasicos/Indice1.html (Consultado: 15 de septiembre de 2022).
- Danner M, Vennedey V, Hiligsmann M, Fauser S, Gross C, Stock S (2017). Comparing analytic hierarchy process and discrete-choice experiment to elicit patient preferences for treatment characteristics in age-related macular degeneration. *Value in Health* 20 (8): 1166-1173. <https://doi.org/10.1016/j.jval.2017.04.022>.
- de Ayala A, Hoyos D, Mariel P (2015). Suitability of discrete choice experiments for landscape management under the European Landscape Convention. *Journal of Forest Economics* 21(2): 79-96. <https://doi.org/10.1016/j.jfe.2015.01.002>.
- European Commission (2021). Evaluating the impact of nature-based solutions: a summary for policy makers. Directorate-General for Research and Innovation Publications Office. Brussels. <https://doi.org/10.2777/521937>.

- Fish R, Church A, Winter M (2016). Conceptualising cultural ecosystem services: A novel framework for research and critical engagement. *Ecosystem Services* 21: 208-217. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2016.09.002>.
- Floraciencia (2022). Disponible en: <https://www.floracioncieza.es/> (consultado: 27 de marzo de 2023).
- Franch-Pardo I, Cancer-Pomar L, Napoletano BM (2017). Visibility analysis and landscape evaluation in Martin River cultural park (Aragon, Spain) integrating biophysical and visual units. *Journal of Maps* 13(2): 415-424. <https://doi.org/10.1080/17445647.2017.1319881>.
- García-Llorente M, Martín-López B, Iniesta-Arandia I, López-Santiago CA, Aguilera PA, Montes C (2012). The role of multi-functionality in social preferences toward semi-arid rural landscapes: an ecosystem service approach. *Environmental Science & Policy* 19: 136-146. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2012.01.006>.
- Gil Meseguer E, Bravo Sánchez J, Bernabé-Crespo MB, Gómez Espín JM (2020). Las norias como recurso turístico y seña de identidad del Valle de Ricote (Región de Murcia-España). *Gran Tour: Revista de Investigaciones Turísticas* 22: 71-96.
- Guardiola AM (2018). La floración en el paisaje rural de Cieza como impulsor del turismo y desarrollo local. *Publicaciones Didácticas* 92(1): 407-449.
- Granado-Díaz R, Gómez-Limón JA, Rodríguez-Entrena M, Villanueva AJ (2020). Spatial analysis of demand for sparsely located ecosystem services using alternative index approaches. *European Review of Agricultural Economics* 47(2): 752-784. <https://doi.org/10.1093/erae/jbz036>.
- Greene WH (1997). *Econometric Analysis*, 3ª ed. Prentice-Hall, Upper River Saddle. New York, USA. 1074 pp.
- Häfner K, Zasada I, van Zanten BT, Ungaro F, Koetse M, Piorr A. (2018). Assessing landscape preferences: a visual choice experiment in the agricultural region of Märkische Schweiz, Germany. *Landscape Research* 43(6): 846-861. <https://doi.org/10.1080/01426397.2017.1386289>.
- Haines-Young R, Potschin MB (2018). Common International Classification of Ecosystem Services (CICES) V 5.1 and Guidance on the Application of the Revised Structure. Disponible en: <http://www.cices.eu/> (Consultado: 15 de septiembre de 2022).
- Heider K, Quaranta E, García Avilés JM, Rodríguez Lopez JM, Balbo AL, Scheffran J (2022). Reinventing the wheel – The preservation and potential of traditional water wheels in the terraced irrigated landscapes of the Ricote Valley, southeast Spain. *Agricultural Water Management* 259: 107240. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107240>.
- Howley P (2011). Landscape aesthetics: Assessing the general public's preferences towards rural landscapes. *Ecological Economics* 72: 161-169. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2011.09.026>.
- Junge X, Schüpbach B, Walter T, Schmid B, Lindemann-Matthies P (2015). Aesthetic quality of agricultural landscape elements in different seasonal stages in Switzerland. *Landscape and Urban Planning* 133: 67-77. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.09.010>.
- Kalivoda O, Vojar J, Skřivanová Z, Zahradník D (2014). Consensus in landscape preference judgments: The effects of landscape visual aesthetic quality and respondents' characteristics. *Journal of Environmental Management* 137: 36-44. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.02.009>.
- La Rosa D, Spyra M, Inostroza L (2016). Indicators of Cultural Ecosystem Services for urban planning: A review. *Ecological Indicators* 61: 74-89. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.04.028>.
- López Martínez F, Pérez Morales A, Gil Guirado S (2016). In landscape management all of us have something to say. A holistic method for landscape preservability evaluation in a Mediterranean region. *Land Use Policy* 51: 172-183. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2015.11.004>.
- Martin B, Ortega E, Otero I, Arce RM (2016). Landscape character assessment with GIS using map-based indicators and photographs in the relationship between landscape and roads. *Journal of Environmental Management* 180: 324-334. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.05.044>.

- Martínez-Paz JM, Banos-González I, Martínez-Fernández J, Esteve-Selma MÁ (2019). Assessment of management measures for the conservation of traditional irrigated lands: the case of the Huerta of Murcia (Spain). *Land Use Policy* 81: 382-391. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.10.050>.
- Martínez-Paz JM, Albaladejo-García JA, Barreiro-Hurle J, Martínez-Carrasco Pleite F, Perni Á (2021). Spatial effects in the socioeconomic valuation of peri-urban ecosystems restoration. *Land Use Policy* 105: 105426. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105426>.
- McFadden D (1974). Conditional logit analysis of qualitative choice behavior. En: *Frontiers in Econometrics* (Ed. Zarembka, P.), pp. 105-142. Academic press, New York, USA.
- Molina JR, Rodríguez Silva F, Herrera MA (2016). Integrating economic landscape valuation into Mediterranean territorial planning. *Environmental Science & Policy* 56: 120-128. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2015.11.010>.
- Oyonarte NA, Gómez-Macpherson H, Martos-Rosillo S, González-Ramón A, Mateos L (2022). Revisiting irrigation efficiency before restoring ancient irrigation canals in multi-functional, nature-based water systems. *Agricultural Systems* 203: 103513. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2022.103513>.
- Pahissa M (2021). La naturaleza como activo para la salud. *Ambienta: La revista del Ministerio de Medio Ambiente* 127: 76-87.
- Pellicer-Martínez F, Martínez-Paz JM (2018). Climate change effects on the hydrology of the headwaters of the Tagus River: implications for the management of the Tagus-Segura transfer. *Hydrology and Earth System Sciences* 22(12): 6473-6491. <https://doi.org/10.5194/hess-22-6473-2018>.
- Perni Á, Martínez-Paz JM (2017). Measuring conflicts in the management of anthropized ecosystems: Evidence from a choice experiment in a human-created Mediterranean wetland. *Journal of Environmental Management* 203: 40-50. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.07.049>.
- Rechtman O (2013). Visual perception of agricultural cultivated landscapes: key components as predictors for landscape preferences. *Landscape Research* 38(3): 273-294. <https://doi.org/10.1080/01426397.2012.672639>.
- Rodríguez-Entrena M, Colombo S, Arriaza M (2017). The landscape of olive groves as a driver of the rural economy. *Land Use Policy* 65: 164-175. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.03.017>.
- Rose JM, Collins AT, Bliemer MCJ, Hensher DA (2010). *Ngene*. 1.0.2 ed. Statistical Software. ChoiceMetrics Pty Ltd.
- Russell R, Guerry AD, Balvanera P, Gould RK, Barsurto X, Chan KM, Klain S, Levine J, Tam J (2013). Humans and nature: how knowing and experiencing nature affect well-being. *Annual Review of Environment and Resources* 38: 473-502. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-012312-110838>.
- Salazar-Ordóñez M, Rodríguez-Entrena M, Sayadi S (2013). Agricultural sustainability from a societal view: An analysis of southern Spanish citizens. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics* 26(2): 473-490. <https://doi.org/10.1007/s10806-011-9371-x>.
- Salazar-Ordóñez M, Rodríguez-Entrena M, Villanueva AJ (2021). Exploring the commodification of biodiversity using olive oil producers' willingness to accept. *Land Use Policy* 107: 104348. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104348>.
- Schirpke U, Tasser E, Tappeiner U (2013). Predicting scenic beauty of mountain regions. *Landscape and Urban Planning* 111: 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2012.11.010>.
- Shr YHJ, Ready R, Orland B, Echols S (2019). How do visual representations influence survey responses? Evidence from a choice experiment on landscape attributes of green infrastructure. *Ecological Economics* 156: 375-386. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2018.10.015>.
- Tagliafierro C, Boeri M, Longo A, Hutchinson WG (2016). Stated preference methods and landscape ecology indicators: An example of transdisciplinarity in landscape economic valuation. *Ecological Economics* 127: 11-22. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2016.03.022>.

- Train KE (2009). *Discrete choice methods with simulation* 2ª edición. Cambridge university press. New York., USA. 388 pp. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511805271>.
- Triguero-Mas M, Dadvand P, Cirach M, Martínez D, Medina A, Mompert A, Basagaña X, Gražulevičienė R, Nieuwenhuijsen MJ (2015). Natural outdoor environments and mental and physical health: relationships and mechanisms. *Environment International* 77: 35-41. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2015.01.012>.
- van Zanten BT, Zasada I, Koetse MJ, Ungaro F, Häfner K, Verburg PH (2016). A comparative approach to assess the contribution of landscape features to aesthetic and recreational values in agricultural landscapes. *Ecosystem Services* 17: 87-98. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2015.11.011>
- Włodarczyk-Marciniak R, Frankiewicz P, Krauze K (2020). Socio-cultural valuation of Polish agricultural landscape components by farmers and its consequences. *Journal of Rural Studies* 74: 190-200. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2020.01.017>.
- Zabala JA, Martínez-Paz JM, Alcon F (2021). Integrated valuation of semiarid Mediterranean agroecosystem services and disservices. *Ecological Economics* 184: 107008. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2021.107008>.
- Zabala JA, Albaladejo-García JA, Navarro N, Martínez-Paz JM, Alcon F (2022). Integration of preference heterogeneity into sustainable nature conservation: From practice to policy. *Journal for Nature Conservation* 65: 126095. <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2021.126095>.
- Zasada I, Häfner K, Schaller L, van Zanten BT, Lefebvre M, Malak-Rawlikowska A, Nikolov D, Rodríguez-Entrena M, Manrique R, Ungaro F, Zavalloni M, Delattre L, Piorr A, Kantelhardt J, Verburg P, Viaggi D (2017). A conceptual model to integrate the regional context in landscape policy, management and contribution to rural development: Literature review and European case study evidence. *Geoforum* 82: 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2017.03.012>.

(Aceptado para publicación el 31 de marzo de 2023)

PREMIOS DE PRENSA AGRARIA 2023 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 2023 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 2023. 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)

<input type="checkbox"/>	Cargo a cuenta corriente (rellenar la domiciliación bancaria)
<input type="checkbox"/>	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 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 facilito 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 119

Número 3

Septiembre 2023

itea

información técnica económica agraria
www.aida-itea.org

REVISTA DE LA ASOCIACIÓN INTERPROFESIONAL PARA EL DESARROLLO AGRARIO

