

itea

información técnica económica agraria

REVISTA DE LA ASOCIACIÓN INTERPROFESIONAL PARA EL DESARROLLO AGRARIO



Volumen 119

Número 4

Diciembre 2023



aida-itea.org

2023- AÑO LIV
Vol. 119 N.º 4
<http://dx.doi.org/10.12706/itea>

DIRECCIÓN Y REDACCIÓN
Avda. Montañana, 930
50059 ZARAGOZA (ESPAÑA)
Tel.: 34-976 716305
Fax.: 34-976 716335
E-mail: direccion@aida-itea.org

Depósito legal: Z-577-82
ISSN: 2386-3765
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-Valdeasequera", 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>



Texto y foto de portada: Javier Álvarez Rodríguez

Los rebaños ovinos se suelen manejar en lotes que permiten agrupar los partos, dando lugar a un elevado número de corderos de edades similares que son mantenidos en el mismo alojamiento. En el seno de estos grupos se potencian los comportamientos sociales entre individuos, tanto de tipo agonístico (por ejemplo, luchas para establecer jerarquías) como afiliativo (por ejemplo, actividades recreativas, así como cuidados y vínculos interpersonales). El estudio de estos comportamientos es una herramienta valiosa para explicar los mecanismos que regulan el bienestar animal y puede servir a la comunidad científica como modelo para entender algunas conductas en la especie humana (como el "bullying").

Agradecimiento

Desde el Comité editorial de la Revista ITEA-Información Técnica Económica Agraria, queremos agradecer a todos los evaluadores de artículos su colaboración con la Revista ITEA. Cada artículo precisa para su publicación en una revista indexada de una evaluación “por pares”, interviniendo a menudo en el proceso de evaluación un tercer evaluador. En la revisión de los artículos publicados este año 2023, de los que ya están aceptados para publicar en 2024 y de los artículos rechazados, han colaborado 60 revisores. Conocedores de que la evaluación de un artículo para su publicación es una tarea que resta al investigador tiempo de dedicación a sus trabajos de investigación y que a menudo el evaluador realiza esta revisión en su tiempo libre, hacemos pública la relación de evaluadores que han colaborado en el proceso de revisión de artículos en la Revista ITEA en señal de agradecimiento, haciendo notar que algunos evaluadores desean permanecer en el anonimato, por lo que la relación no es completa.

José Alfonso Abecia Martínez
 Francisco Alcón Provencio
 Ignacio Álvarez Lanzarote
 María Arias Martín
 Celso Ayala Vargas
 Petjon Ballco
 Beatriz Cancho Grande
 Marta Capellas
 Fco. Javier Carballo García
 Sirley Carrillo Hernández
 Eva Crespo Cebada
 Antonio Rodríguez de Ledesma Vega
 Juan Vicente Delgado Bermejo
 Idrissa Diedhiou
 Angélica Espinoza Ortega
 Gonzalo Flores Calvete
 Manuel Fondevila
 Josep Gasà Gasó
 Diego Gómez de Barreda Ferraz
 Apolinar González Mancilla
 Gonzalo Hervás
 Andrés Horrillo Gallardo
 John Nelso Infante González
 Beatriz Isabel Redondo
 Teresa Juan Esteban
 Zein Kallas
 José Antonio La Cal Herrera
 Sandra Lobón Ascaso
 Clemente López Bote
 Pedro Marco Montori

Clara Marín Oregan
 Clara María Marín Alcalá
 Francisco Maroto-Molina
 Javier Mateo Oyagüe
 María Teresa Maza Rubio
 Francisco Javier Mesías Díaz
 Genaro Miranda de la Lama
 Antonio Molina
 María Lourdes Moraza Zorrilla
 Juliana Navarro Rocha
 David Jesús Palma López
 Begoña Panea Doblado
 Nuria Pedrol
 Sonia Pereira Crespo
 Dolores Pérez Marín
 María Trinidad Pérez Palacios
 Laura Piedra Muñoz
 Liliana Reina Usuga
 Virginia Resconi
 Vicente Rodríguez-Estevez
 Samir Sayadi Gmada
 Esther Sendra Nadal
 Andreu Taberner Palou
 Pablo G. Toral
 María Isabel Trillas Gay
 Juan De Dios Vagas Giraldo
 Luis Varona
 Ceferina Vieira Aller
 Alba Vigo Morancho
 Carlos Zaragoza

Sumario

Producción Vegetal

- Efecto de los herbicidas flazasulfuron, oxifluorfen y la mezcla florasulam + penoxsulam sobre la emergencia de la mala hierba invasora *Araujia sericifera* Brot. en huertos de cítricos.
Effect of the herbicides flazasulfuron, oxyfluorfen and the florasulam + penoxsulam mixture on the emergence of the invasive weed Araujia sericifera Brot. in citrus orchards.
 Diego Gómez de Barreda-Ferraz y Carlos Azcárraga 315
- Compost como fuente de rizobacterias para estimular el crecimiento de plantas micropropagadas de caña de azúcar.
Compost as a source of rizobacteria to stimulate the growth of micropropagated sugarcane plants.
 Juan M. Cohuo-Colli, Juan J. Almaraz-Suarez, Joel Velasco-Velasco, Josafhat Salinas-Ruiz, Arturo Galvis-Spínola y Julián Delgadillo-Martínez 327

Producción Animal

- Efecto del enriquecimiento ambiental alimenticio en el comportamiento de ovejas alojadas en estabulación permanente.
Effect of environmental food enrichment on the behaviour of sheep kept in permanent housing.
 Jorgina T.V. Gonçalves-Casaco, Jesús de la Fuente, Concepción Pérez-Marcos y Elisabet González de Chávarri 343
- Pradera de raigrás inglés-trébol blanco (*Lolium perenne-Trifolium repens*) en Asturias. III. Ingestión y valor lastre en vacuno lechero.
Sown meadows of Lolium perenne and Trifolium repens in Asturias III. Ingestion and fill value in dairy cattle
 Begoña de la Roza-Delgado, Adela Martínez-Fernández, M. Sagrario Modroño y Alejandro Argamenteoría 357
- Impacto del tipo genético y el sexo sobre parámetros productivos y el contenido en grasa intramuscular, así como el consumo de antioxidantes sobre la oxidación de la carne en cerdo ibérico (50 %) de "Cebo de Campo".
Impact of genotype and sex on performance and intramuscular fat content, as well as the consumption of antioxidants on meat oxidation in Iberian (50 %) pig reared in outdoor system.
 Guillermo Usero-Alonso, Francisco Gil-Rueda, Beatriz Isabel, Guillermo Ramis-Vidal y Antonio Muñoz-Luna 370

Economía Agraria

- Compromiso de los ciudadanos españoles con la sostenibilidad en el consumo de alimentos: diferencias entre dos regiones españolas con diferente especialización productiva.
Commitment of Spanish citizens with sustainability in food consumption: differences between Spanish regions according to their productive specialisation.
 Olda Lami, Francisco J. Mesías, Handan Giray y Federico Martínez-Carrasco 387

Efecto de los herbicidas flazasulfuron, oxifluorfen y la mezcla florasulam + penoxsulam sobre la emergencia de la mala hierba invasora *Araujia sericifera* Brot. en huertos de cítricos

Diego Gómez de Barreda-Ferraz* y Carlos Azcárraga

Departamento de Producción Vegetal, Universitat Politècnica de València, Camino de Vera S/N, 46022 Valencia, España.

Resumen

La mala hierba invasora *Araujia sericifera* Brot., se ha adaptado perfectamente al manejo de los huertos de cítricos del área Mediterránea, sobre todo si este manejo es de baja intensidad. Actualmente, el control de esta especie está basado en la escarda manual, habiendo un gran desconocimiento sobre el control químico en campo. El objetivo de esta investigación, que se llevó a cabo en dos huertos de cítricos en dos años consecutivos, fue comprobar la eficacia de las materias activas herbicidas flazasulfuron, oxifluorfen y la mezcla florasulam + penoxsulam frente a la emergencia de esta invasora. Se ha comprobado la gran eficacia de flazasulfuron y la mezcla florasulam + penoxsulam al menos hasta alrededor de las 20 semanas tras el tratamiento, mientras que el herbicida oxifluorfen no ejerce un buen control de esta especie.

Palabras clave: Citricultura, control químico, malherbología, plantas invasoras.

Effect of the herbicides flazasulfuron, oxyfluorfen and the florasulam + penoxsulam mixture on the emergence of the invasive weed *Araujia sericifera* Brot. in citrus orchards

Abstract

Araujia sericifera Brot. is an invasive weed, perfectly adapted to citrus orchard management in the Mediterranean area, above all under low input management. Hand weeding is actually the way of controlling this species, with a great lack of knowledge on its chemical control. The objective of this research, conducted in two different citrus orchards during two consecutive years, was to test the efficacy of the following herbicide active ingredients: flazasulfuron, oxyfluorfen and the mixture of florasulam + penoxsulam against the emergence of *A. sericifera*. It has been proven the great efficacy of flazasulfuron and the herbicide mixture florasulam + penoxsulam at least up to 20 weeks after treatment, while oxyfluorfen did not performed a good *A. sericifera* preemergent control.

Keywords: Citriculture, chemical control, invasive plants, weed science.

* Autor para correspondencia: diegode@btc.upv.es

Cita del artículo: Gómez de Barreda-Ferraz D., Azcárraga C. (2023). Efecto de los herbicidas flazasulfuron, oxifluorfen y la mezcla florasulam + penoxsulam sobre la emergencia de la mala hierba invasora *Araujia sericifera* Brot. en huertos de cítricos. ITEA-Información Técnica Económica Agraria 119(4): 315-326. <https://doi.org/10.12706/itea.2023.012>



Introducción

En Europa, cerca de 4.000 especies exóticas invasoras ya se han naturalizado y este número continúa incrementándose (Haeuser et al., 2018). La mayor parte de estas invasoras se han introducido de manera intencionada al tratar de cultivarlas como ornamentales (Van Kleunen et al., 2018), es el ejemplo de la planta trepadora *Araujia sericifera* Brot., originaria de Sudamérica (Sobrino et al., 2002; Parrella et al., 2013). En España, esta especie se reportó por primera vez en huertos de cítricos de Valencia en el año 1976 (Gómez de Barreda, 1976) y poco a poco ha ido colonizando la franja costera del Mediterráneo, pues es una especie bien adaptada a las condiciones estacionales de sequía y moderado estrés salino que suelen darse en esta área (Bellache et al., 2022a). *A. sericifera* germina durante la primavera y de inmediato busca un huésped que le sirva de tutor para desarrollarse, y en esta zona, ha encontrado un huésped perfecto, los cítricos. Al emerger del suelo a la sombra de los cítricos alcanza las ramas bajas del árbol que usa como tutor y además comparte con ellos el mismo color de hoja, pasando muchas veces desapercibida al control del agricultor. Forma un fruto parecido en forma y tamaño al del aguacate, carnoso y comestible (Teixeira et al., 2019), aunque es también laticífero y algo irritante, conteniendo unas 300 semillas provistas de vilano que dispersa en otoño al abrirse, fomentando fácilmente su dispersión. La planta es, de todas formas, fácilmente detectable por el agricultor y solamente en campos de cítricos semi o completamente abandonados es un problema real, pudiendo cubrir totalmente la copa del árbol reduciendo notablemente la capacidad fotosintética del mismo y lo que es más grave, diseminando gran cantidad de semillas. El control de esta especie debiera ser manual, pues en árboles adultos de cítricos el control mecánico es difícil al tener ramas bajas y muchas veces cul-

tivarse en meseta elevada y con las tuberías porta-goteros sobre ella. En cuanto al control químico, se ha experimentado a nivel laboratorio (placas Petri) con extractos acuosos de *Artemisia arborescens* (Vaill.) L., *Melia azedarach* L., *Plantago psyllium* L. y *Rhus coriaria* L., tan solo observándose retrasos en la germinación de *A. sericifera* (Labruzzo et al., 2017). Se han utilizado también extractos oleosos de *Mentha piperita* L., *Thymbra capitata* (L.) Cav. y *Santolina chamaecyparissus* L. para inhibir la germinación de *A. sericifera* y su crecimiento en estado vegetativo, con resultados prometedores, pero de nuevo en ensayos en laboratorio (Bellache et al., 2022b). Además, estos tratamientos, al no ser selectivos, habría que hacerlos con mucha precaución, dirigiendo la aplicación de manera muy localizada a la zona del suelo sombreada por el árbol. En el año 2019 se realizó un amplio estudio en laboratorio para el control químico de *A. sericifera* (Gómez de Barreda-Ferraz et al., 2020) en el que se probaron las 15 materias activas herbicidas autorizadas en ese momento en España en el cultivo de los cítricos, algunas de ellas en mezcla con otras. Concretamente se testaron en preemergencia de la mala hierba las materias activas diflufenican, flazasulfuron + glifosato, metazacloro, oxifluorfen, pendimetalina, penoxsulam y penoxsulam + florasulam, más un producto natural y 2 herbicidas antiguos que en ese momento ya no estaban autorizados (norflurazona y terbacil). En postemergencia se testaron las siguientes materias activas: ácido pelargónico, ácido pelargónico + glifosato, diflufenican, diflufenican + glifosato, diquat, flazasulfuron + glifosato, fluroxipir, glifosato, MCPA, metribucina, oxifluorfen, oxifluorfen + glifosato y piraflufen-etil, además del mismo producto natural aplicado en preemergencia. De este amplio estudio de laboratorio se concluyó, entre otras cosas, que la mezcla penoxsulam + florasulam aplicada en preemergencia mostraba un control muy efectivo de la mala hierba. Esta mezcla her-

bicida, se compone de dos materias activas de la misma familia química (triazolpirimidinas) y por tanto con el mismo modo de acción, son inhibidores del enzima acetolactato sintasa, esencial para la síntesis de aminoácidos ramificados (isoleucina, leucina y valina) en la planta (Whitcomb, 1999). Esta mezcla aplicada en preemergencia de las malas hierbas en huertos de olivo es muy eficaz frente a malas hierbas de diferentes familias botánicas (asteráceas, brasicáceas, papilionáceas, etc.), incluyendo *Conyza bonariensis* (L.) Cronquist o *Sonchus oleraceus* (L.) (Travlos et al., 2014; García Domínguez et al., 2017) tan predominantes en huertos de cítricos. Además, una de las materias activas de la mezcla, florasulam, ha resultado muy eficaz en el control de *Conyza canadensis* (L.) Cronquist cuando se combina con otros herbicidas, permitiendo incluso reducir a la mitad la dosis de una materia activa acompañante (Kanas et al., 2020). El otro componente herbicida de la mezcla, penoxsulam, es una potente y eficaz materia activa utilizada en el cultivo del arroz para el control de gramíneas anuales, ciperáceas y malas hierbas de hoja ancha (Jabusch y Tjeerdema, 2005). En el estudio de Gómez de Barreda-Ferraz et al. (2020) también destacó por su buena eficacia en preemergencia de *A. sericifera* la mezcla flazasulfuron + glifosato. La materia activa flazasulfuron, inhibidora también del enzima acetolactato sintasa, fue la responsable de esta acción herbicida en preemergencia y ya ha sido reportada su buena acción herbicida, sobre todo frente a malas hierbas de hoja ancha en cítricos (Singh et al., 2012). Según Kanas et al. (2021), flazasulfuron y la mezcla florasulam + penoxsulam son los herbicidas más prometedores alternativos al glifosato para la lucha contra *C. bonariensis* en olivo. Se piensa pues, que estos herbicidas podrían ser también una buena herramienta frente a *A. sericifera* en huertos de cítricos. El objetivo de esta investigación es comprobar la eficacia de los herbicidas flazasulfuron, la mezcla florasulam + penoxsulam

y oxifluorfen frente a la emergencia de la mala hierba *A. sericifera* sembrada en huertos de cítricos, siendo el primer estudio sobre el control químico de esta invasora en campo.

Material y métodos

El experimento se llevó a cabo en dos campos de cítricos diferentes de las localidades de Albuixech (Lat. 39° 55' N, Long. 00° 32' O) y El Puig (Lat. 39° 60' N, Long. 00° 34' O), ambas situadas al norte de la ciudad de Valencia y separados 7 km uno del otro. Los experimentos se desarrollaron entre marzo y julio de 2020 y se repitieron en las mismas fechas en el año 2021. En la Tabla 1 pueden observarse los datos climáticos registrados durante el experimento en una estación climática cercana a ambos campos y en la Tabla 2 un análisis del suelo de ambos campos. Ambas parcelas agrícolas, según el mapa de suelos de la Comunidad Valenciana (Rubio et al., 1996), presentan un tipo de suelo perteneciente a los fluvisoles calcáreos (taxonomía FAO), típico de zonas de depósitos aluviales, con un horizonte superficial de textura franco-arenosa y estructura granular.

En cada campo se seleccionaron 12 árboles, siendo la parcela elemental un círculo de 1,5 m de radio tomando como centro el tronco del árbol, y que aproximadamente equivalía a la zona sombreada por la copa del árbol. El 10 de marzo de ambos años, se enterraron 20 semillas de *A. sericifera* a 3 cm de profundidad en un punto de la parcela elemental situado a 0,75 m del centro del círculo de cada uno de los 12 árboles por campo. Se optó por una siembra dirigida en vez de esperar a una emergencia natural, por la gran heterogeneidad espacial del proceso de germinación-emergencia natural de *A. sericifera*. Las semillas procedían de frutos maduros recolectados en campos cercanos y se hizo un ensayo previo de germinación en cá-

Tabla 1. Datos climáticos de la estación meteorológica de Moncada-IVIA próxima a las parcelas experimentales.

Table 1. Climatic data from the Moncada-IVIA meteorological station next to the experimental orchards.

		Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio
2020	T. ^a Máxima	19,0	21,2	26,9	29,1	31,8
	T. ^a Media	13,4	15,6	20,5	22,9	26,1
	T. ^a Mínima	7,8	10,4	13,6	15,6	19,4
	Precipitación	87,8	40,5	16,2	15,2	7,2
		Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio
2021	T. ^a máxima	19,0	20,1	26,9	29,5	32,2
	T. ^a Media	12,0	14,0	20,5	23,2	25,8
	T. ^a Mínima	6,1	8,6	13,6	16,5	18,7
	Precipitación	45,3	57,1	21,7	22,2	2,8

T.^a: Temperatura en °C. Precipitación en mm. Fuente: SIAR (2023).

Tabla 2. Características del suelo de los campos experimentales.

Table 2. Soil characteristics of the experimental orchards.

	Albuixech	El Puig
Clasificación textura según USDA	Franco arenosa	Franco arenosa
pH (extracto agua 1/5)	8,6	7,9
Conductividad eléctrica (extracto 1/5) (dS/m)	0,19	0,35
Carbonato total (expresado en caliza) (%)	28,4	28,4
Caliza activa (%)	5,35	4,46
Materia orgánica oxidable (%)	1,32	1,90
Carbono orgánico (%)	0,77	1,10
Relación C/N	6,41	6,48

mara de crecimiento dando como resultado una tasa de germinación superior al 95 % en ambos años, similar a lo indicado por Vivian-Smith y Panetta (2005), un 97,2 % de germinación a los 14 días. Inmediatamente tras la siembra, se trató la parcela elemental con 3 herbicidas diferentes: flazasulfuron (25 %

w/w) a 50 g m.a./ha; oxifluorfen (24 % p/v) a 144 g m.a./ha; y la mezcla florasulam + penoxsulam (7,5 + 15 % p/v) a 0,75 + 1,5 g m.a./ha, dejando también un árbol sin tratar (control). Los tratamientos se realizaron con un pulverizador asistido por gas CO₂ para realizar una pulverización uniforme a 300 kPa,

un volumen de caldo de 300 l/ha y una boquilla de abanico Teejet 9504 EVS. Se realizaron dos evaluaciones en cada campo y año, en 2020 a las 10 y 19 semanas después del tratamiento (SDT) y en el año 2021 a las 8 y 21 SDT. En cada evaluación, se hicieron las siguientes determinaciones: (1) Número de plántulas de *A. sericifera* emergidas; (2) Altura media de las plántulas emergidas; (3) Peso fresco y seco (datos no mostrados) de la parte aérea de las plántulas emergidas; (4) Presencia de otras malas hierbas (% de ocupación) mediante estimación visual de cada unidad experimental; y (5) Peso fresco de la parte aérea de las malas hierbas presentes en cada unidad experimental.

El diseño experimental fue de bloques al azar con 3 repeticiones. El análisis de los datos se realizó con el programa estadístico Statgraphics Centurion XVI, con el que se realizaron los correspondientes ANOVA al 95 % de confianza (test de comparación de medias LSD Fisher) para las variables estudiadas. En 2020, los datos de algunas de estas variables, al no cumplir la condición de normalidad tuvieron que ser transformados con la función LOG (x+1).

Resultados y discusión

En la localidad de Albuixech en 2020 (Tabla 3) a las 10 SDT, el herbicida flazasulfuron y la mezcla de florasulam + penoxsulam han impedido totalmente, junto con la mortalidad natural, la emergencia de *A. sericifera*, mientras que el herbicida oxifluorfen no ha ejercido un buen control. La media de plántulas emergidas cuando se trató con oxifluorfen fue de 7,3 de las 20 sembradas, con una ligera ventaja frente a los árboles sin tratar (control) en cuanto a número de plántulas emergidas, altura y peso de las mismas, lo que indica que hay un cierto efecto herbicida, aunque muy ligero y no suficiente. En la

Tabla 3 puede así mismo observarse el efecto de los tratamientos sobre el resto de malas hierbas, ejerciendo los 3 herbicidas un buen control de las mismas frente a las zonas no tratadas donde predominaron las especies: *Diploaxis eruroides* (L.) DC., *Medicago lupulina* L., *Parietaria judaica* L., *Poa annua* L., *S. oleraceus* y *Veronica hederifolia* L. En una segunda evaluación realizada el 21 de julio (19 SDT) no se observaron nuevas emergencias de *A. sericifera* y se constató la desaparición del efecto herbicida de las materias activas empleadas frente al resto de malas hierbas (destacan: *Conyza* sp., *Echinochloa colonum* (L.) Link, *Euphorbia prostrata* Aiton), en cuanto a porcentaje de zona cubierta por las mismas, aunque el peso de las malas hierbas fue menor en las parcelas tratadas con flazasulfuron que las no tratadas. De hecho, los herbicidas de la familia de las sulfonilureas como flazasulfuron, presentan una elevada persistencia con niveles de pH del suelo elevados y bajos en materia orgánica (Grey y McCullough, 2012), precisamente los niveles encontrados en los análisis del suelo de ambos campos (Tabla 2). En un estudio previo realizado en laboratorio (Gómez de Barreda-Ferraz et al., 2020), la mezcla florasulam + penoxsulam había mostrada la mayor eficacia frente a *A. sericifera* a los 31 días después del tratamiento entre los 11 herbicidas aplicados, aunque no fue total como en este experimento de campo pues quizás las condiciones edafoclimáticas en laboratorio fueron menos agresivas que las de campo para la germinación de esta arvense. En ese mismo estudio, flazasulfuron a 20,1 g m.a./ha tuvo alrededor de un 50 % de eficacia en la emergencia de plántulas de *A. sericifera*, mientras que, en el presente estudio, a una dosis mayor (50 g m.a./ha) el efecto ha sido total. Los resultados del herbicida oxifluorfen en laboratorio son muy similares a lo observado en campo, poca eficacia frente a la emergencia de *A. sericifera*.

Tabla 3. Eficacia de los herbicidas flazasulfuron, oxifluorfen y la mezcla florasulam + penoxsulam sobre *Araujia sericifera* y resto de malas hierbas en un huerto de cítricos de la localidad de Albuixech (Valencia) en 2020.

Table 3. Efficacy of the herbicides flazasulfuron, oxyfluorfen and the mixture florasulam + penoxsulam for *Araujia sericifera* and rest of weed control in a citrus orchard located in Albuixech (Valencia) in 2020.

Tratamientos	21 mayo 2020 (10 SDT)				
	<i>Araujia sericifera</i>			Resto de malas hierbas	
	Número	Altura (cm)	Pf (g)	Cubrición (%)*	Pf (g)*
Control	10,0 a	10,5 a	2,99 a	40,0 a	678,93 a
oxifluorfen	7,3 b	7,2 b	1,45 b	0,8 b	17,20 b
flazasulfuron	0,0 c	0,0 c	0,00 c	0,1 b	2,66 b
florasulam + penoxsulam	0,0 c	0,0 c	0,00 c	0,7 b	31,38 b
p-valor	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0027
LSD	1,9	1,4	0,5	1,21	8,4
Tratamientos	21 julio 2020 (19 SDT)				
	<i>Araujia sericifera</i>			Resto de malas hierbas	
	Número	Altura (cm)	Pf (g)	Cubrición (%)	Pf (g)*
Control	0,0	0,0	0,00	4,0 a	152,16 a
oxifluorfen	0,0	0,0	0,00	6,9 a	70,93 ab
flazasulfuron	0,0	0,0	0,00	0,1 a	9,70 b
florasulam + penoxsulam	0,0	0,0	0,00	2,7 a	67,49 a
p-valor	–	–	–	0,2780	0,0585
LSD	–	–	–	–	4,42

Pf: Peso fresco. SDT: Semanas después del tratamiento. Letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos ($p < 0,05$). *: Datos transformados con la función LOG(x+1) para cumplir con la condición de normalidad para la realización de ANOVA (test de comparación de medias LSD Fisher).

El experimento de campo se replicó a la vez en la localidad cercana de El Puig, y de nuevo se constató (Tabla 4) la gran eficacia de los herbicidas flazasulfuron y la mezcla florasulam + penoxsulam frente a *A. sericifera* a las 10 SDT, mientras que el herbicida oxifluorfen no evitó su emergencia, aunque sí la del resto de malas hierbas, que en las parcelas control fueron predominantemente las mismas que

en la localidad de Albuixech. En esta localidad, sí que se detectaron nuevas emergencias de *A. sericifera* a las 19 SDT, aunque muy escasas, 4 plántulas en las parcelas control, y tan solo 1 plántula en las parcelas tratadas con oxifluorfen y con la mezcla florasulam + penoxsulam. El efecto herbicida a las 19 SDT, ya se había disipado y ni siquiera el herbicida flazasulfuron que sí que evitó la emergencia de

Tabla 4. Eficacia de los herbicidas flazasulfuron, oxifluorfen y la mezcla florasulam + penoxsulam sobre *Araujia sericifera* y resto de malas hierbas en un huerto de cítricos de la localidad de El Puig (Valencia) en 2020.

Table 4. Efficacy of the herbicides flazasulfuron, oxyfluorfen and the mixture florasulam + penoxsulam for *Araujia sericifera* and rest of weed control in a citrus orchard located in El Puig (Valencia) in 2020.

Tratamientos	21 mayo 2020 (10 SDT)				
	<i>Araujia sericifera</i>			Resto de malas hierbas	
	Número	Altura (cm)	Pf (g)	Cubrición (%)*	Pf (g)*
Control	9,7 a	7,2 a	4,92 a	40,0 a	1466,11 a
oxifluorfen	9,0 a	9,3 a	4,23 ab	0,5 b	107,58 b
flazasulfuron	0,0 b	0,0 b	0,0 b	1,0 b	53,86 b
florasulam + penoxsulam	0,0 b	0,0 b	0,0 b	0,7 b	32,71 b
p-valor	0,0322	0,0003	0,0616	0,0005	0,0045
LSD	7,95	3,38	4,5	2,02	5,57
Tratamientos	21 julio 2020 (19 SDT)				
	<i>Araujia sericifera</i>			Resto de malas hierbas	
	Número	Altura (cm)	Pf (g)	Cubrición (%)	Pf (g)
Control	1,3 a	18,2 a	31,05 a	15,0 a	1156,33 a
oxifluorfen	0,3 a	13,0 a	9,30 a	6,3 a	396,67 a
flazasulfuron	0,0 a	0,0 a	0,00 a	4,7 a	353,00 a
florasulam + penoxsulam	0,3 a	13,0 a	2,70 a	7,0 a	623,67 a
p-valor	0,3493	0,3931	0,3009	0,3075	0,2671
LSD	–	15,5	–	12,6	–

Pf: Peso fresco. SDT: Semanas después del tratamiento. Letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos ($p < 0,05$). *: Datos transformados con la función LOG(x+1) para cumplir con la condición de normalidad para la realización de ANOVA (test de comparación de medias LSD Fisher).

malas hierbas en general en la localidad de Albuixech a los 19 SDT, mostró en este campo una buena eficacia tanto por cubrición de las mismas (fundamentalmente *E. postrata* y *S. oleraceus*) como por su peso, similar a las parcelas control y los demás tratamientos.

En el año 2021 se repitió el estudio en la misma época y en las mismas parcelas agrícolas.

El año 2021 tuvo una primavera más propicia para la emergencia de las malas hierbas, pues hubo lluvias más constantes hasta la llegada del mes de julio, aunque el régimen de temperaturas fuese un poco más frío (1,5 °C) al inicio de la primavera, pero luego remontó (Tabla 1). En la localidad de Albuixech de nuevo el efecto herbicida, junto con la mortalidad

Tabla 5. Eficacia de los herbicidas flazasulfuron, oxifluorfen y la mezcla florasulam + penoxsulam sobre *Araujia sericifera* y resto de malas hierbas en un huerto de cítricos de la localidad de Albuixech (Valencia) en 2021.

Table 5. Efficacy of the herbicides flazasulfuron, oxyfluorfen and the mixture florasulam + penoxsulam for *Araujia sericifera* and rest of weed control in a citrus orchard located in Albuixech (Valencia) in 2021.

Tratamientos	6 mayo 2021 (8 SDT)				
	<i>Araujia sericifera</i>			Resto de malas hierbas	
	Número	Altura (cm)	Pf (g)	Cubrición (%)	Pf (g)
Control	7,7 a	6,8 a	1,78 a	10,0 a	524,29 a
oxifluorfen	7,7 a	7,3 a	1,78 a	5,3 ab	457,50 a
flazasulfuron	0,0 b	0,0 b	0,00 b	1,0 b	56,21 b
florasulam + penoxsulam	0,0 b	0,0 b	0,00 b	0,7 b	26,99 b
p-valor	0,0008	0,0000	0,0000	0,0311	0,0217
LSD	3,5	0,9	0,6	6,4	355,9
Tratamientos	29 julio 2021 (20 SDT)				
	<i>Araujia sericifera</i>			Resto de malas hierbas	
	Número	Altura (cm)	Pf (g)	Cubrición (%)	Pf (g)
Control	6,0 a	29,9 ab	296,02 a	25,0 a	1484,25 a
oxifluorfen	4,0 ab	43,6 ab	303,44 ab	22,3 a	1193,43 ab
flazasulfuron	1,0 b	1,7 b	0,29 b	11,8 a	630,34 b
florasulam + penoxsulam	0,7 b	105,4 a	275,18 a	23,3 a	1018,03 ab
p-valor	0,0346	0,1265	0,0483	0,2502	0,0862
LSD	3,8	77,3	216,4	15,3	655,5

Pf: Peso fresco. SDT: Semanas después del tratamiento. Letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos ($p < 0,05$). ANOVA (test de comparación de medias LSD Fisher).

natural, frente a *A. sericifera* fue total con flazasulfuron y la mezcla florasulam + penoxsulam a las 8 SDT, mientras que oxifluorfen no impidió su nascencia, ni siquiera el del resto de las malas hierbas que sí que controlaron muy eficazmente los otros herbicidas. A las 21 SDT, al contrario de lo ocurrido en 2020, se detectaron nuevas emergencias de *A. sericifera* en todos los tratamientos, aunque en menor medida que en el control. Las pocas plántu-

las de *A. sericifera* detectadas en las parcelas tratadas con flazasulfuron, presentaban menor altura y peso que las que emergieron en las parcelas control. Esto mismo sucedió con el resto de malas hierbas, y aunque hubo una cubrición similar (rango de 11,8 a 25,0 %), el peso de las malas hierbas en las parcelas tratadas con flazasulfuron era menor que el de las malas hierbas de parcelas no tratadas (fundamentalmente: *Conyza* sp., *E. colonum*, *E.*

Tabla 6. Eficacia de los herbicidas flazasulfuron, oxifluorfen y la mezcla florasulam + penoxsulam sobre *Araujia sericifera* y resto de malas hierbas en un huerto de cítricos de la localidad de El Puig (Valencia) en 2021.

Table 6. Efficacy of the herbicides flazasulfuron, oxyfluorfen and the mixture florasulam + penoxsulam for *Araujia sericifera* and rest of weed control in a citrus orchard located in El Puig (Valencia) in 2021.

Tratamientos	6 mayo 2021 (8 SDT)				
	<i>Araujia sericifera</i>			Resto de malas hierbas	
	Número	Altura (cm)	Pf (g)	Cubrición (%)	Pf (g)
Control	9,0 a	7,1 a	4,92 a	26,7 a	1204,64 a
oxifluorfen	9,7 a	9,3 a	4,23 ab	1,0 b	64,33 b
flazasulfuron	0,0 b	0,0 b	0,00 b	0,7 b	67,33 b
florasulam + penoxsulam	0,0 b	0,0 b	0,00 b	1,2 b	66,67 b
p-valor	0,0322	0,0003	0,0616	0,0001	0,0000
LSD	7,9	3,4	4,5	7,3	279,4
Tratamientos	29 julio 2021 (20 SDT)				
	<i>Araujia sericifera</i>			Resto de malas hierbas	
	Número	Altura (cm)	Pf (g)	Cubrición (%)	Pf (g)
Control	9,3 a	18,1 a	212,04 a	13,3 a	702,32 a
oxifluorfen	3,7 ab	7,6 ab	28,45 b	6,0 b	264,14 b
flazasulfuron	0,3 b	7,7 ab	12,54 b	10,8 ab	581,78 ab
florasulam + penoxsulam	0,0 b	0,0 b	0,00 b	5,1 b	270,69 b
p-valor	0,0377	0,1481	0,0025	0,0903	0,0577
LSD	6,6	15,8	28,5	7,1	370,4

Pf: Peso fresco. SDT: Semanas después del tratamiento. Letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos ($p < 0,05$). ANOVA (test de comparación de medias LSD Fisher).

postrata, *P. judaica*, *P. annua*, *Setaria verticillata* (L.) P. Beauv., *S. oleraceus* y *V. hederifolia*). En 2021 se replicó de nuevo el ensayo en la localidad de El Puig con resultados similares a los de Albuixech a las 8 SDT en cuanto a control de *A. sericifera* y mejores eficacias detectadas en cuanto al control del resto de malas hierbas, siendo el porcentaje de cubrición en las parcelas tratadas muy similar, independientemente de la materia activa

empleada. Más tarde, a las 20 SDT, continúa emergiendo *A. sericifera*, sobre todo en las parcelas control donde llega a un acumulado medio de un 91,5 % de emergencia frente al 67,0 % de oxifluorfen, 1,5 % de flazasulfuron y eficacia total para la mezcla de florasulam + penoxsulam. En esta última fecha y parcela, aparece en las parcelas control la mala hierba *Solanum nigrum* L. que hasta entonces no había sido detectada.

En las Tablas 3 a 6, no queda sin embargo reflejada la mortalidad de *A. sericifera* debida al tratamiento químico, pues la mortalidad natural puede enmascarar a la debida a los herbicidas. Por tanto, se ha calculado la mortalidad acumulada de las dos fechas de muestreo debida a los herbicidas como la diferencia entre el número de semillas sembradas, las no germinadas debido al 95 % de tasa de germinación y la mortalidad natural de los controles. Como consecuencia, se observa en la Tabla 7 que los herbicidas flazasulfuron y la

mezcla de florasulam + penoxsulam presentan un rango de mortalidad de *A. sericifera* en los 2 lugares y años en el rango del 50 al 91,6 %, siempre superior al control y al herbicida oxifluorfen. Este último, ejerce una mortalidad entre el 8,3 y 24,9 %, claramente insuficiente, sobre todo en El Puig 2020 y Albuixech 2021 donde la mortalidad debida al herbicida es igual al control.

Por último, hay que indicar que en ningún momento se detectó fitotoxicidad alguna en el arbolado por los herbicidas empleados.

Tabla 7. Mortalidad acumulada (% sobre el control) de la mala hierba *Araujia sericifera* debida al tratamiento herbicida con oxifluorfen, flazasulfuron y la mezcla florasulam + penoxsulam, en huertos de cítricos de las localidades de Albuixech y El Puig (Valencia), en 2020 y 2021.

Table 7. *Araujia sericifera* cumulative mortality (% of control) due to the herbicide treatments with flazasulfuron, oxyfluorfen and the mixture florasulam + penoxsulam, in citrus orchards located in Albuixech and El Puig (Valencia), in 2020 and 2021.

	2020		2021	
	Albuixech	El Puig	Albuixech	El Puig
Control	0,0 a	0,0 a	0,0 a	0,0 a
oxifluorfen	13,3 b	8,3 a	10,0 a	24,9 b
flazasulfuron	50,0 c	55,0 b	63,3 b	89,9 c
florasulam + penoxsulam	50,0 c	53,3 b	65,0 b	91,6 c
p-valor	0,0000	0,0044	0,0004	0,0000
LSD	5,4	30,0	24,8	14,6

Letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos ($p < 0,05$). ANOVA (test de comparación de medias LSD Fisher).

Conclusiones

Se confirma el buen control de la emergencia de *A. sericifera* y del resto de malas hierbas con los herbicidas flazasulfuron y la mezcla florasulam + penoxsulam a las 10 SDT, mientras que el herbicida oxifluorfen tan solo consigue evitar la emergencia de *A. sericifera* de manera parcial y en la mitad de los

experimentos realizados, aunque eso sí, con un buen control del resto de malas hierbas. En cuanto al efecto a largo plazo (20 SDT), parece ser más dependiente de la climatología y en el año 2021, con mayor incidencia de malas hierbas, los herbicidas flazasulfuron y la mezcla florasulam + penoxsulam aun fueron eficaces frente a *A. sericifera*.

Agradecimientos

Los autores agradecen al agricultor Juan Martínez Arilla por permitir, desinteresadamente, la ocupación parcial de sus campos para la realización de los experimentos.

Referencias bibliográficas

- Bellache M., Moltó N., Benfekih L.A., Torres-Pagan N., Mir R., Verdeguer M., Boscaiu M., Vicente O. (2022a). Physiological and biochemical responses to water stress and salinity of the invasive moth plant, *Araujia sericifera* Brot., during seed germination and vegetative growth. *Agronomy* 12: 361. <https://doi.org/10.3390/agronomy12020361>.
- Bellache M., Torres-Pagan N., Verdeguer M., Benfekih L.A., Vicente O., Sestras R.E., Sestras A.F., Boscaiu M. (2022b). Essential oils of three aromatic plant species as natural herbicides for environmentally friendly agriculture. *Sustainability* 14: 3596. <https://doi.org/10.3390/su14063596>.
- García Domínguez F.J., Grafulla C., Romero M. (2017). RUEDO®, nuevo herbicida para olivar y cítricos. *Phytoma* 293: 96-97.
- Gómez de Barreda D. (1976). *Araujia sericifera* Brot., mala hierba trepadora en los agrios españoles. *Levante Agrícola* 205: 13-15.
- Gómez de Barreda-Ferraz D., De Luca V., Osca J.M., Verdeguer M., Muñoz M. (2020). Control químico de la mala hierba invasora *Araujia sericifera* Brot. ITEA-Información Técnica Económica Agraria 116: 212-226. <https://doi.org/10.12706/itea.2020.001>.
- Grey T.L., McCullough P. (2012). Sulfonylureas herbicides' fate in soil: dissipation, mobility, and other processes. *Weed Technology* 26: 579-581. <https://doi.org/10.1614/WT-D-11-00168.1>.
- Haeuser E., Dawson W., Thuiller W., Dullinger S., Block S., Bossdorf O., Carboni M., Conti L., Dullinger I., Essl F., Klonner G., Moser D., Münke-müller T., Parepa M., Talluto M.V., Kreft H., Pergl J., Pyšek P., Weigelt P., Winter M., Hermy M., van der Veken S., Roquet C., Van Kleunen M. (2018). European ornamental garden flora as an invasion debt under climate change. *Journal of Applied Ecology* 55: 2386-2395. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13197>.
- Jabusch T., Tjeerdema R. (2005). Partitioning of penoxsulam, a new sulfonamide herbicide. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 53: 7179-7183. <https://doi.org/10.1021/jf050767g>.
- Kanatas P., Travlos I., Kolivas M., Tataridas A., Mavroeidis A. (2020). Pyraflufen-ethyl and florasulam efficacy against glyphosate resistant horseweed (*Conyza canadensis*) biotypes. *Scientific Papers. Series A. Agronomy* 63: 335-340.
- Kanatas P., Antonopoulos N., Gazoulis I., Travlos I. (2021). Screening glyphosate-alternative weed control options in important perennial crops. *Weed Science* 69: 704-718. <https://doi.org/10.1017/wsc.2021.55>.
- Labruzzo A., Carrubba A., Di Marco G., Ebadil M.T. (2017). Herbicide potential of aqueous extracts from *Melia azedarach* L., *Artemisia arborescens* L., *Rhus coriaria* L. and *Lantana camara* L. *Allelopathy Journal* 41: 81-92. <https://doi.org/10.26651/2017-41-1-1085>.
- Parrella G., Greco B., Cennamo G., Griffio R., Stinca A. (2013). *Araujia sericifera* new host of alfalfa mosaic virus in Italy. *Plant Disease* 97: 1387. <https://doi.org/10.1094/PDIS-03-13-0300-PDN>.
- Rubio J.L., Sánchez J., Forteza J. (1996). Mapa de suelos de la Comunidad Valenciana. Hoja: Burjasot 696. Ed. Generalitat Valenciana, Conselleria d'Agricultura i Mig Ambient, Valencia, España. 101 pp.
- SIAR (2023). Sistema de Información Agroclimática para el Regadío. Portal Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. <https://portal.mapa.gob.es/websiar/Inicio.aspx>. (Consultado: 30 enero de 2023).
- Singh M., Ramírez A.H.M., Jhala A.J., Malik M. (2012). Weed control efficacy and citrus response to flazasulfuron applied alone or in combination with other herbicides. *American Journal of Plant Sciences* 3: 520-527. <https://doi.org/10.4236/ajps.2012.34062>.

- Sobrinho E., Sanz-Elorza M., Dana E.D., González-Moreno A. (2002). Invasibility of a coastal strip in NE Spain by alien plants. *Journal of Vegetation Science* 13: 585-594. <https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2002.tb02085.x>.
- Teixeira N., Melo J.C.S., Batista L.F., Paula-Souza J., Fronza P., Brandao M.G.L. (2019). Edible fruits from Brazilian biodiversity: A review on their sensorial characteristics versus bioactivity as tool to select research. *Food Research International* 119: 325-348. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.01.058>.
- Travlos I., Lysandrou M., Apostolidis V. (2014). Efficacy of the herbicide GF-2581 (penoxsulam + florasulam) against broadleaf weeds in olives. *Plant, Soil and Environment* 12: 574-579. <https://doi.org/10.17221/710/2014-PSE>.
- Van Kleunen M., Essl F., Pergl J., Brundu G., Carboni M., Dullinger S., Early R., González-Moreno P., Groom Q.J., Hulme P.E., Kueffer C., Kühn I., Máguas C., Maurel N., Novoa A., Párepa M., Pyšek P., Seebens H., Tanner R., Touza J., Verbrugge L., Weber E., Dawson W., Kreft H., Weigelt P., Winter M., Klonner G., Talluto M.V., Dehnen-Schmutz K. (2018). The changing role of ornamental horticulture in alien plant invasions. *Biological Reviews* 93: 1421-1437. <https://doi.org/10.1111/brv.12402>.
- Vivian-Smith G., Panetta F.D. (2005). Seedling recruitment, seed persistence and aspects of dispersal ecology of the invasive moth vine, *Araujia sericifera* (Asclepiadaceae). *Australian Journal of Botany* 53: 225-230. <https://doi.org/10.1071/BT04118>.
- Whitcomb C.E. (1999). An introduction to ALS-inhibiting herbicides. *Toxicology and Industrial Health* 15: 231-240. <https://doi.org/10.1177/074823379901500120>.
- (Aceptado para publicación el 30 de agosto de 2023)

Compost como fuente de rizobacterias para estimular el crecimiento de plantas micropropagadas de caña de azúcar

Juan M. Cohuo-Colli¹, Juan J. Almaraz-Suarez^{1,*}, Joel Velasco-Velasco², Josafhat Salinas-Ruiz², Arturo Galvis-Spínola¹ y Julián Delgadillo-Martínez¹

¹ Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Carretera México-Texcoco Km 36.5. C.P. 56230. Montecillo, Estado de México. México.

² Colegio de Postgraduados, Campus Córdoba. Carretera Federal Córdoba-Veracruz km 348, Congregación Manuel León, municipio de Amatlán de los Reyes. C.P. 94946. México.

Resumen

El compost es una fuente de microorganismos que pueden tener diferentes funciones en las plantas. El objetivo fue evaluar el efecto de cepas de rizobacterias aisladas de compost de cachaza y gallinaza en plantas micropropagadas de caña de azúcar durante la aclimatación en invernadero. Se aislaron cepas de compost de cachaza+gallinaza (C1 = 25:75 v/v; C2 = 50:50 v/v; C3 = 75:25 v/v y C4 = 100:0 v/v) por la técnica de diluciones y siembra en placa. Las cepas aisladas fueron evaluadas por su capacidad de producir auxinas y solubilizar fosfatos. Las mejores cepas se identificaron a nivel molecular y se inocularon en plántulas micropropagadas de caña de azúcar. Se aislaron 63 cepas bacterianas y se seleccionaron 14 que presentaron mecanismos de promoción de crecimiento. Las cepas de bacterias identificadas molecularmente tuvieron alta similitud a 7 géneros: *Bacillus*, *Enterobacter*, *Acinetobacter*, *Achromobacter*, *Paenarthrobacter*, *Weizmannia* y *Staphylococcus*. La inoculación de rizobacterias en plantas de caña de azúcar, durante la fase de aclimatación, mostró que *Achromobacter xylosoxidans* CPOC56 y *Acinetobacter vivianii* CPOC48 incrementaron significativamente la altura (40 %), área foliar (107 %), volumen radical (124 %), peso seco (93 %) y contenido de nitrógeno (115 %) y fósforo (133 %), comparado con el testigo. El compost de cachaza + gallinaza es un reservorio de rizobacterias promotoras de crecimiento vegetal, las 14 cepas seleccionadas con atributos benéficos pertenecieron a 11 especies distintas. Las cepas *Achromobacter xylosoxidans* CPOC56 y *Acinetobacter vivianii* CPOC48 son una buena opción para favorecer el crecimiento durante la fase de aclimatación de plantas micropropagadas de caña de azúcar.

Palabras clave: Inoculación, colonización, auxinas, cultivo de tejidos, plantas *in-vitro*.

Compost as a source of rhizobacteria to stimulate the growth of micropropagated sugarcane plants

Abstract

Compost is a source of microorganisms with different functions in plants. The objective was to evaluate the effect of rhizobacterial strains isolated from filter cake and chicken manure compost on mi-

* Autor para correspondencia: jalmaraz@colpos.mx

Cita del artículo: Cohuo-Colli J.M., Almaraz-Suarez J.J., Velasco-Velasco J., Salinas-Ruiz J., Galvis-Spínola A., Delgadillo-Martínez J. (2023). Compost como fuente de rizobacterias para estimular el crecimiento de plantas micropropagadas de caña de azúcar. ITEA-Información Técnica Económica Agraria 119(4): 327-342. <https://doi.org/10.12706/itea.2023.013>



cropropagated sugarcane plants during greenhouse acclimatization. Strains from composts obtained from mix of filter cake + chicken manure (C1 = 25:75 v/v; C2 = 50:50 v/v; C3 = 75:25 v/v and C4 = 100:0 v/v) were isolated by the technique of dilutions and spreading in plates. The isolated strains were evaluated for their ability to produce auxins and solubilize phosphates. The best strains were identified at the molecular level and inoculated into micropropagated sugarcane seedlings. 63 bacterial strains were isolated, of which 14 that presented growth promotion mechanisms were selected. The identified bacterial strains were highly similar to 7 genera: *Bacillus*, *Enterobacter*, *Acinetobacter*, *Achromobacter*, *Paenarthrobacter*, *Weizmannia*, and *Staphylococcus*. The inoculation of rhizobacteria in sugarcane plants, during the acclimatization phase, showed that *Achromobacter xylosoxidans* CPOC56 and *Acinetobacter vivianii* CPOC48 significantly increased height (40 %), leaf area (107 %), root volume (124 %), dry weight (93 %), nitrogen (115 %) and phosphorus (133 %) content, compared with the control. The filter cake and chicken manure compost was a reservoir of plant growth-promoting rhizobacteria, the 14 selected strains with beneficial attributes belonged to 11 different species. The *Achromobacter xylosoxidans* CPOC56 and *Acinetobacter vivianii* CPOC48 strains are a good option to promote growth during the acclimatization phase of micropropagated sugarcane plants.

Keywords: Inoculation, colonization, auxins, tissue culture, *in-vitro* plants.

Introducción

La caña de azúcar es de gran importancia en el mundo con una producción de 1949 Mt en 2019, que ubica al cultivo por arriba de la producción alcanzada por maíz o trigo (FAO, 2021). Brasil e India concentran el 59 % de la producción y México ocupa el sexto lugar en producción de ese cultivo (FAO, 2021). Se estima que la producción de caña de azúcar seguirá creciendo a una tasa de 1 % anual debido a la demanda de azúcar (OCDE/FAO, 2021). El incremento de la producción de caña de azúcar implicará la necesidad de generar y propagar masivamente nuevas variedades para satisfacer la demanda. Sin embargo, los métodos convencionales de propagación vegetativa difícilmente lograrán cubrir esa demanda en corto tiempo.

La propagación *in vitro* de plantas mediante el cultivo de tejidos vegetales es una técnica utilizada para obtener plantas sanas de forma masiva, permite mayor tasa de propagación vegetal, producir individuos uniformes y controlar las condiciones ambientales para evitar la aparición de patógenos (Pasqual et al., 2014). Actualmente hay un gran interés en el uso de la micropropagación para pro-

pagar masivamente nuevas variedades de caña de azúcar ya que se obtienen plantas en tiempos mucho más cortos (Lal et al., 2015). No obstante, la fase de aclimatación es quizá la etapa más difícil para las plantas micropropagadas, dado que es un proceso de supervivencia para aumentar crecimiento y reducir mortalidad de plantas, ya que son expuestas a estrés biótico y abiótico cuando son trasladadas a condiciones *ex-vitro* (Scortecchi et al., 2012; Lopes et al., 2017). Se ha observado que el uso de microorganismos benéficos como las rizobacterias, promueven el crecimiento de plantas mediante funciones como solubilización de fosfato, fijación de nitrógeno y producción de reguladores de crecimiento que ayudan a las plantas a tolerar el estrés causado por diversos factores (Alam et al., 2019). Además, se ha mostrado que la inoculación de rizobacterias promotoras de crecimiento vegetal en caña de azúcar, ayudan a reducir la dosis de fertilizantes químicos aplicados a las plantas, haciéndolas más eficientes en la captación de nutrimentos del suelo (Khan et al., 2007; Gyaneshwar et al., 2012).

Por otra parte, la industria azucarera genera grandes cantidades de residuos, como la cachaza, proveniente principalmente del pro-

ceso de clarificación de los jugos de la caña. Países como India, generan de 3,6 a 3,9 millones de t de cachaza al año (Rasappan et al., 2015). El compost ha sido una alternativa para tratar estos residuos para obtener un producto estabilizado que funciona como un fertilizante orgánico y mejora las condiciones del suelo (Cunha-Queda et al., 2007; Romero-Yam et al., 2015). Además de ser una fuente de nutrientes, el compost representa un reservorio de microorganismos benéficos como las rizobacterias promotoras de crecimiento vegetal, tales como aquellas pertenecientes a la familia Bacillaceae, que han sido encontradas en compost de residuos de caña de azúcar (Estrada-Bonilla et al., 2017) o como las especies de *Serratia plymuthica*, *Serratia grimesii* y *Achromobacter piechaudii* (que han sido aisladas en diferentes tipos de compost; Samet et al., 2022). Aunque se tiene conocimiento sobre la importancia y beneficio de los microorganismos en los cultivos, pocos estudios se han enfocado en el uso de rizobacterias promotoras de crecimiento vegetal en la fase de aclimatación de plantas micropropagadas, por lo que el objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto benéfico de bacterias aisladas de compost de cachaza de caña mezclada con gallinaza, en el crecimiento de plantas micropropagadas de caña de azúcar durante la fase aclimatación en invernadero, cuantificado como altura, volumen radical, área foliar, biomasa y contenido de nutrientes.

Material y métodos

La presente investigación fue realizada en el Laboratorio de Microbiología de Suelos del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, ubicado en la Carretera México-Texcoco Km 36,5, Montecillo, Texcoco, Estado de México y en el Colegio de Postgraduados Campus Córdoba, ubicado en Km 348 carretera

federal Córdoba-Veracruz, congregación Manuel León, Municipio de Amatlán de los Reyes, Veracruz.

Origen y descripción del compost utilizado

El material utilizado fue compost obtenido de una mezcla de cachaza de caña de azúcar con gallinaza, en cuatro proporciones diferentes: C1 = 25 % cachaza y 75 % gallinaza (2.5:7.5 v/v); C2 = 50 % cachaza y 50 % gallinaza (5:5 v/v); C3 = 75 % cachaza y 25 % gallinaza (7.5:2.5 v/v); C4 = 100 % cachaza y 0 % gallinaza (10:0 v/v). Se recolectaron tres submuestras de la pila de compost, las cuales se mezclaron para obtener una muestra compuesta de 500 g por cada tipo de compost. Las muestras presentaron valores de pH que fluctuaron de 8 a 9,6. Los valores de materia orgánica fueron 26,3 a 37,9 %, mientras que, de carbono orgánico fueron de 15,3 a 21,97 %, el nitrógeno total osciló de 1,3 a 2,3 % y finalmente la relación C/N (carbono-nitrógeno) fluctuó de 9,5 a 11,5.

De las muestras de compost, se recolectaron submuestras de 10 g y se procesaron en el laboratorio para aislar cepas de rizobacterias por el método de diluciones y siembra en caja Petri. Las muestras se colocaron en botellas que contenían 90 mL de agua destilada estéril y se agitó por 20 min. A partir de esa dilución (10^{-1}) se realizaron diluciones decimales seriadas hasta 10^{-5} . De cada dilución se recolectó una alícuota de 100 μ L y se distribuyó en caja Petri que contenía medio de cultivo sólido. Las cajas se incubaron a 28 °C durante 72 h para obtener colonias de bacterias aisladas. Los medios de cultivo utilizados fueron: agar nutritivo (20 g de agar nutritivo Merck; 1000 mL de agua destilada estéril), Pikovskaya (10 g de Glucosa; 5 g de $\text{Ca}(\text{PO}_4)_2$; 0,5 g de $(\text{NH}_4)\text{SO}_4$; 0,2 g de KCl; 0,1 g de $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; 0,0002 g de MnSO_4 ; 0,0002 g de $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; 0,5 g de extracto de levadura; 15 g de agar; 1000 mL de agua destilada estéril) (Pi-

kovskaya, 1948) y Luria Bertani (LB) (10 g de triptona; 5 g de extracto de levadura; 5 g de NaCl; 1 g de triptófano; 15 g de agar; 1000 mL de agua destilada estéril). El aislamiento de las cepas de rizobacterias se llevó a cabo seleccionando por tamaño y color las colonias de rizobacterias crecidas en cada medio y se resembraron en agar nutritivo e incubaron durante 48 h.

Selección gruesa de cepas de rizobacterias por atributos promotores de crecimiento vegetal

Las cepas aisladas fueron sembradas en microplacas (microplates Costar 3591, Cornind, NY) de 96 pocillos que contenían 150 μ L de medio líquido LB y después de 48 h de incubación a 28 °C, se le agregó a cada pocillo 150 μ L de reactivo salkowski (2 % 0,5 M FeCl_3 en 35 % de ácido perclórico) y se incubó durante 30 min en oscuridad. El indicativo de producción de ácido indolacético es el cambio de coloración del medio, que va de un rosado tenue a rojo (Bric et al., 1991; Almaraz-Suarez et al., 2020). En el caso de cepas solubilizadoras de fosfato, se sembró 10 μ L de inóculo de cada cepa en cajas Petri con medio de cultivo Pikovskaya (Pikovskaya, 1948) y se incubaron durante 48 h. La formación de un halo de color claro alrededor de la colonia fue el indicativo de solubilización de fosfato, que se evaluó a las 48 h.

Cuantificación de AIA y fosfato soluble

A partir de las pruebas cualitativas, se seleccionaron 14 cepas bacterianas. Estas cepas se evaluaron en medio líquido con la finalidad de determinar la cantidad de ácido indolacético que producen y la cantidad de fosfato que solubilizan. Con respecto a la capacidad de solubilizar fosfato, las cepas de bacterias se sembraron en tubos falcon de 15 mL en medio líquido Pikovskaya (Pikovskaya, 1948).

Después fueron incubadas en agitación a 28 °C durante 7 días en un agitador marca Thermo scientific® modelo MAXQ 400. Posteriormente, los cultivos bacterianos se centrifugaron a 7000 rpm durante 10 min y se filtraron en una membrana (Millex syringe filter, 0,22 μ m, Durapore®), se recolectaron 150 μ L de cada filtrado y se colocaron en microplacas (Microplates Costar 3591, Corning, NY) de 96 pocillos, añadiendo 50 μ L de vanadato (NH_4VO_3 0,25 % en 35 % HNO_3) y 50 μ L de molibdato ($(\text{NH}_4)_6\text{MO}_7\text{O}_{24}$ al 5 %). Después de 5 min de reacción, las muestras fueron leídas en un espectrofotómetro (Synergy 2 microplate reader, Biotek Instruments, Inc.) a 420 nm (Almaraz-Suarez et al., 2020). La cantidad de fosfato soluble se calculó mediante una curva estándar elaborada con concentraciones de fosfato (0 μ g mL^{-1} , 50 μ g mL^{-1} , 100 μ g mL^{-1} , 150 μ g mL^{-1} , 250 μ g mL^{-1} y 300 μ g mL^{-1}).

Para la producción de ácido indolacético (AIA), las cepas bacterianas fueron cultivadas en viales de 2 mL con medio Luria-Bertani líquido e incubadas durante 48 h a 28 °C en agitación (Thermo scientific® modelo MAXQ 400) a 180 rpm, se utilizaron dos grupos de tubos. De tal forma que un grupo de tubos con los cultivos bacterianos se centrifugaron a 7000 rpm durante 15 min y se filtraron en una membrana (Millex syringe filter, 0,22 μ m, Durapore®) a las 24 h, se recolectaron 150 μ L del sobrenadante de cada cultivo y se depositó en microplacas de 96 pocillos (Microplates Costar 3591, Corning, NY), adicionando 150 μ L de reactivo Salkowski. A continuación se incubaron en oscuridad durante 30 min y se analizaron en un espectrofotómetro (Synergy 2 microplate reader, Biotek Instruments, Inc.) a 530 nm (Almaraz-Suarez et al., 2020). A las 48 h, el otro grupo de tubos se procesaron realizando el mismo procedimiento. La concentración de AIA, se determinó en función a una curva estándar con concentraciones de ácido indolacético (0 μ g mL^{-1} , 10 μ g mL^{-1} , 20 μ g mL^{-1} , 30 μ g mL^{-1} , 40 μ g mL^{-1} , 50 μ g mL^{-1} , 60 μ g mL^{-1} , 70 μ g mL^{-1} , 80 μ g mL^{-1} y 90 μ g mL^{-1}).

Identificación molecular

El material genético de 14 cepas bacterianas fue obtenido a partir de cultivos jóvenes de 24 h y se realizó siguiendo el protocolo de extracción de DNA para bacterias mediante el método CTAB (Tris-HCl 100 mM, pH 8,0; EDTA 2H₂O mM, CTAB 2 %; NaCl 1,4 M). Se amplificó un fragmento del gen ribosomal 16S ADN_r, utilizando los iniciadores 8F (5'-AGA GTTTGATCCTGGCTCAG-3') y 1492R (5'-GGT TACCTTGTTACGACTT-3'). La mezcla de reacción de amplificación fue con regulador de la reacción en cadena de la polimerasa (PCR) y se basó en: buffer 5X, dNTP's 2,5 mM, vaya Taq ADN polimerasa (5U), ADN 100 ng. La PCR se realizó en un termociclador C100 Touch (Bio-Rad, USA) con una desnaturalización inicial de 95 °C durante 2 min; seguido de 30 ciclos de desnaturalización a 95 °C durante 1 min, alineamiento a 59 °C durante 30 s y la extensión a 72 °C durante 2 min, y una extensión final de un ciclo a 72 °C durante 10 min. Las amplificaciones se observaron en un gel de agarosa al 1,5 % teñido con colorante verde de ADN (Green-DNA dye, Bio Basic Inc., Canada). Posteriormente, los productos finales se purificaron con ExoSAP-IT (Affymetrix, USA) de acuerdo a las instrucciones del fabricante. La secuenciación se llevó a cabo con el Genetic Analyzer modelo 3130 (Applied Biosystem, EE. UU) en ambas direcciones. Las secuencias correspondientes a la región 16S ADN_r de cada una de las cepas, se editaron con el programa BioEdit v7,0,9,1 (Hall, 1999). Se hizo un análisis para encontrar regiones de similitud local entre secuencias con alineamientos significantes de cada aislamiento obtenido, para la región 16S ADN_r en la plataforma BLAST_nucleotide 2,2,19 del National Center for Biotechnology Information (NCBI) (Zhang et al., 2000). Finalmente, las secuencias de las bacterias se depositaron en la base de datos de GenBank del NCBI.

Efecto de cepas de bacterias inoculadas en plantas micropropagadas de caña de azúcar durante la fase de aclimatización en invernadero

La fase de aclimatación de plántulas de caña de azúcar se efectuó en el invernadero de cultivo de tejidos vegetales del Colegio de Postgraduados Campus Córdoba, Veracruz, en los meses de diciembre/2020-febrero/2021. Se seleccionaron 120 plántulas de caña de azúcar de la variedad "Mex 69-290" propagadas *in vitro* con edad de 20 días en invernadero (pre-aclimatación). Como sustrato se utilizó una mezcla de perlita con peat-moss y tezontle en una relación 1:1:1 v/v/v, esterilizada 3 veces en días no consecutivos a 120 °C durante 3 h en autoclave vertical. Las plantas seleccionadas fueron homogenizadas, dejando sólo un vástago y podadas en la parte aérea y en la raíz y después fueron trasplantadas en semilleros de 32 cavidades, siendo una planta por cavidad la unidad experimental. Se incluyeron 15 tratamientos (14 cepas bacterianas y un testigo sin inocular) con 8 repeticiones para cada tratamiento. Las cepas de bacterias fueron crecidas en caldo nutritivo durante 48 h hasta obtener una concentración de 10⁸ células mL⁻¹. Las plantas se inocularon a los 5 días después del trasplante añadiendo 2 mL de inóculo a las raíces con jeringas estériles de 5 mL. Las plantas fueron mantenidas durante dos semanas en un invernadero con 60 % de sombra, con malla sombra a 30±2 °C y humedad relativa del 60±10 % y luz natural. Posteriormente fueron transferidas a un invernadero con mayor iluminación con temperatura de 35±2 °C con humedad relativa del 30 % y luz natural. EL riego se realizó diariamente y se fertilizó dos veces a la semana con 15 mL de solución nutritiva al 10 % (Steiner, 1961). Las plantas fueron cosechadas a los 55 días después de la inoculación. Las variables evaluadas fueron: altura de planta, número de hojas, volumen de raíz (técnica de

desplazamiento de agua por raíz en probeta graduada), diámetro de tallo. El área foliar se determinó con la metodología descrita por Hermann y Camara (1999): $AF = C \times L \times 0,75 \times (N + 2)$, donde; AF = área foliar; C = largo de la primera hoja completamente abierta; L = ancho de la primera hoja completamente abierta; 0,75 = factor de corrección de la hoja del cultivo; N = número de hojas totalmente abiertas con por lo menos 20 % de área verde; 2 = factor de corrección. Los tallos, hojas y raíces fueron secados hasta peso constante en un horno (Felisa, Modelo 242-A) a 70 °C durante 72 h y se pesaron en una balanza analítica (Sartorius Modelo Analytic AC 210S, Illinois, EUA). Finalmente, las muestras secas de tallos y hojas se molieron para determinar; contenido de nitrógeno (N), mediante el procedimiento semi-micro Kjeldahl (Etchevers, 1987), fósforo (P) por colorimetría de complejos molibdofosfóricos reducidos con ácido ascórbico (AOAC, 1980) y potasio (K) por fotometría de llama (Rodríguez y Rodríguez, 2015).

Diseño experimental y análisis estadístico

La producción de AIA y solubilización de fosfato se analizó estadísticamente en un diseño experimental completamente al azar con cuatro repeticiones. Se realizaron análisis de varianza y prueba de comparación de medias (Tukey, $\alpha = 0,05$) mediante el software estadístico R 4.0.2. (R Core Team, 2020), utilizando la librería agricolae y el entorno de desarrollo integrado Rstudio.

El experimento de invernadero con plantas micropropagadas se estableció en un diseño experimental completamente al azar con covariable (altura inicial de la planta), con ocho repeticiones. Los datos de crecimiento se procesaron estadísticamente y se realizó un análisis de covarianza con comparación de medias Ls-means en el paquete estadístico SAS 9.2.

Resultados y discusión

Aislamiento y caracterización de la actividad promotora de crecimiento de las cepas bacterianas

Se aislaron 63 cepas bacterianas, de las cuales 13 cepas fueron aisladas de compost C1, 10 cepas se obtuvieron de C2, 16 cepas se aislaron de C3 y 24 cepas fueron obtenidas de C4. Del total de cepas solo el 22 % mostraron la capacidad de producir ácido indolacético y 10,7 % presentaron el atributo de solubilizar fosfatos. Posteriormente, se seleccionaron 14 cepas que presentaron al menos un mecanismo de promoción de crecimiento. Estas cepas se evaluaron por su capacidad de producir ácido indolacético (AIA) y solubilizar fosfato.

La cepa CPOC12 produjo la mayor cantidad de ácido AIA con 14,7 $\mu\text{g mL}^{-1}$ a las 24 h. Mientras que la cepa CPOC56 fue superior al resto de las cepas a las 48 h con una cantidad de AIA producida de 33,3 $\mu\text{g mL}^{-1}$. En cuanto a la solubilización de fosfato, la cepa CPOC48 mostró una gran capacidad de solubilizar fosfato con 257,59 $\mu\text{g mL}^{-1}$, seguido por las cepas CPOC49 y CPOC12 con 181,1 $\mu\text{g mL}^{-1}$ y 55,13 $\mu\text{g mL}^{-1}$ de fosfato solubilizado, respectivamente (Tabla 1). Al respecto varios estudios han demostrado que bacterias aisladas de rizosfera, residuos y partes de la planta de caña de azúcar, tienen la capacidad de producir AIA y solubilizar fosfato. Santos y Rigobelo (2021) aislaron 167 cepas de bacterias de la rizosfera de algunas variedades de caña de azúcar, de las cuales dos cepas de *Enterobacter asburiae* produjeron la mayor cantidad de AIA con alrededor de 56 $\mu\text{g mL}^{-1}$, y una cepa de *Bacillus thuringiensis* tuvo la capacidad de solubilizar hasta 481 mg mL^{-1} de fosfato. Mientras que, Morgado González et al. (2015), entre las cepas de rizobacterias que aislaron de caña de azúcar, observaron que *Pseudomonas luteola* produjo AIA a un nivel de hasta 117,3 $\mu\text{g mL}^{-1}$ y *Stenotrophomonas maltophilia* solubilizó 222,4 $\mu\text{g mL}^{-1}$

Tabla 1. Producción de ácido indolacético a las 24 y 48 h y fosfato soluble a los 7 días en cultivos de cepas de rizobacterias aisladas de compost.

Table 1. Production of indole acetic acid at 24 and 48 h and soluble phosphate at 7 days in cultures of rhizobacterial strains isolated from compost.

Cepas	Producción de ácido indolacético (AIA) µg mL ⁻¹		Fosfato soluble µg mL ⁻¹ (7 días)
	24 h	48 h	
CPOC12	14,72 a	23,45 b	55,13 c
CPOC49	9,13 ab	13,35 cd	181,15 b
CPOC45	8,94 abc	17,12 bc	10,41 d
CPOC5	8,07 abc	5,17 e	0,37 d
CPOC56	5,92 bc	33,32 a	0,72 d
CPOC36	5,15 bc	19,94 bc	0,56 d
CPOC48	4,86 bc	5,31 e	257,59 a
CPOC61	4,41 bc	9,64 de	0,53 d
CPOC3	3,96 bc	20,17 bc	15,69 d
CPOC7	2,93 bc	16,52 bcd	0,98 d
CPOC32	2,74 bc	13,96 cd	0,91 d
CPOC11	1,52 bc	19,68 bc	5,43 d
CPOC57	1,05 bc	9,41 de	0,29 d
CPOC22	0,87 c	18,35 bc	0,22 d
CME	10,63	8,61	65,67

Letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticas significativas ($\alpha = 0,05$); CME = Cuadrado Medio del Error.

de fosfato. Algunos géneros de rizobacterias como *Acinetobacter* sp. tienen la capacidad de solubilizar hasta 682 µg mL⁻¹ de fosfato (Bharwad y Rajkumar, 2020). Los mecanismos de producción de AIA y la solubilización de fosfatos son aspectos importantes para determinar, ya que son características de las bacterias asociadas a la promoción de crecimiento vegetal (Glick, 2012).

Identificación molecular

El análisis de las secuencias de ADNr 16S amplificadas mostró que las 14 cepas con atributos de promoción de crecimiento tienen alta similitud a 7 géneros: el género *Bacillus* con mayor número de especies: *Bacillus licheniformis* (CPOC3, CPOC7, CPOC11), *Bacillus pumilus* (CPOC22) y *Bacillus australimaris*

(CPOC36). Además, dos cepas pertenecían a especies de *Enterobacter*: *Enterobacter cloacae* (CPOC46) y *Enterobacter hormaechei* (CPOC57). De igual forma, se encontraron cepas pertenecientes a las especies de *Acinetobacter*: *Acinetobacter pittii* (CPOC12) y *Acinetobacter vivianii* (CPOC48). Las cepas CPOC56 y CPOC61 fueron identificadas como *Achromobacter xylosoxidans*, y finalmente las cepas CPOC32, CPOC6 y C49 como *Paenarthrobacter* sp., *Staphylococcus equorum* y *Weizmannia ginsengihumi*, respectivamente (Tabla 2).

Efecto de cepas de bacterias inoculadas en plantas micropropagadas de caña de azúcar durante la fase de aclimatización

El análisis de covarianza mostró diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos ($p \leq 0,05$) con relación a las variables de crecimiento. Las plantas inoculadas con *Achromobacter xylosoxidans* CPOC56, *Acinetobacter vivianii* CPOC48, *Bacillus licheniformis* CPOC11 y *Bacillus licheniformis* CPOC3, mostraron los mayores efectos en las varia-

Tabla 2. Especies de rizobacterias aisladas de compost de cachaza de caña de azúcar con gallinaza.
Table 2. Rhizobacterial species isolated from compost of sugarcane filter cake with poultry manure.

Compost	Clave de identificación	Identificada como	Máxima identidad	Nº. De acceso al GenBank
C1	CPOC3	<i>Bacillus licheniformis</i>	100	ON982497
C3	CPOC5	<i>Staphylococcus equorum</i>	100	ON982498
C3	CPOC7	<i>Bacillus licheniformis</i>	100	ON982499
C3	CPOC11	<i>Bacillus licheniformis</i>	100	ON982500
C4	CPOC12	<i>Acinetobacter pittii</i>	100	ON982501
C4	CPOC22	<i>Bacillus pumilus</i>	100	ON982502
C4	CPOC32	<i>Paenarthrobacter</i> sp.	99,79	ON982503
C1	CPOC36	<i>Bacillus australimaris</i>	100	ON982504
C2	CPOC45	<i>Enterobacter cloacae</i>	99,93	ON982505
C4	CPOC48	<i>Acinetobacter vivianii</i>	99,93	ON982506
C1	CPOC49	<i>Weizmannia ginsengihumi</i>	100	ON982507
C1	CPOC56	<i>Achromobacter xylosoxidans</i>	99,93	ON982508
C2	CPOC57	<i>Enterobacter hormaechei</i>	99,93	ON982509
C3	CPOC61	<i>Achromobacter xylosoxidans</i>	99,93	ON982510

Compost C1 = 25 % cachaza + 75 % gallinaza; Compost C2 = 50 % cachaza + 50 % gallinaza; Compost C3 = 75 % cachaza + 25 % gallinaza; Compost C4 = 100 % cachaza + 0 % gallinaza.

bles de crecimiento evaluadas (Tabla 3). Las plantas inoculadas con *Achromobacter xylosoxidans* CPOC56 tuvieron una altura promedio de 8,3 cm, lo que significa un incremento del 40 % con respecto a plantas sin inocular (Testigo), igualmente presentaron mayor número de hojas. Cuatro cepas incrementaron significativamente el volumen radical con respecto al testigo. El mayor efecto se observó con la inoculación de *Achromobacter xylosoxidans* CPOC56 y *Acinetobacter vivianii* CPOC48, con incrementos significativos en el volumen de raíz de hasta 124 % y 81 % res-

pectivamente, comparado con plantas testigo. Las plantas inoculadas con *Achromobacter xylosoxidans* CPOC56 presentaron la mayor área foliar con 101,6 cm², que representa un incremento de 107 % con respecto a plantas no inoculadas (Tabla 3). En cuanto a biomasa seca, las plantas inoculadas con *Achromobacter xylosoxidans* CPOC56 presentaron incrementos significativos del 93 % y 37 %, en peso seco de la parte aérea y la raíz, con respecto a plantas no inoculadas. Por otra parte, la cepa *Acinetobacter vivianii* CPOC48 incrementó el peso de la parte aé-

Tabla 3. Variables evaluadas en plantas micropropagadas de caña de azúcar inoculadas con rizobacterias, a los 55 días de aclimatación en invernadero.

Table 3. Variables evaluated in micropropagated sugarcane plants inoculated with rhizobacteria at 55 days of acclimatization in greenhouse.

Cepas	Altura (cm)	No. hojas	Volumen radical (cm ³)	Diámetro de tallo (mm)	Área foliar (cm ²)
CPOC56	8,31 a	4,06 a	2,72 a	2,70 a	101,63 a
CPOC61	7,02 b	3,59 ab	1,54 cde	2,43 abc	56,16 bc
CPOC22	7,00 b	3,62 ab	1,85 bcd	2,25 bc	62,52 b
CPOC36	6,94 bc	3,80 ab	1,84 bcde	2,46 ab	55,78 bc
CPOC12	6,78 bc	3,58 ab	1,78 bcde	2,45 ab	55,03 bc
CPOC45	6,71 bcde	3,93 ab	1,92 bcd	2,33 abc	59,81 bc
CPOC3	6,67 bcde	3,74 ab	1,81 bcde	2,66 a	58,10 bc
CPOC48	6,63 bcde	4,05 a	2,20 ab	2,50 ab	55,66 bc
CPOC49	6,53 bcde	3,70 ab	2,05 bc	2,43 ab	56,06 bc
CPOC32	6,46 bcde	3,93 ab	1,41 de	2,30 abc	62,63 b
CPOC11	6,30 bcde	4,04 a	1,68 bcde	2,20 bcd	57,24 bc
CPOC7	6,12 cde	3,85 ab	1,35 de	2,47 ab	66,12 b
CPOC5	6,12 cde	3,86 ab	1,53 cde	2,18 bcd	48,61 bc
CPOC57	5,84 e	3,85 ab	1,37 de	2,03 cd	41,46 c
Testigo	5,93 de	3,43 b	1,21 e	1,81 d	49,07 bc
CME	0,73	0,27	0,38	0,1591	399,65

Letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticas significativas ($\alpha = 0,05$). CME = Cuadrado Medio del Error.

rea y raíz en 60 % y 39 %, respectivamente, comparados con el testigo (Tabla 4).

Diferentes estudios han mostrado que cepas selectas de rizobacterias incrementan el crecimiento de plantas de diferentes cultivos como pepino, tomate y gramíneas, incluyendo caña de azúcar (Castanheira et al., 2014; Soares et al., 2016; Abdel-Rahman et al., 2017; Nascimento et al., 2021). En plántulas de caña de azúcar se han observado incrementos significativos de altura y área foliar por efecto de la inoculación de cepas de las

especies *Pseudomonas luteola*, *Aeromonas salmonicida*, *Stenotrophomonas maltophilia*, *Bacillus cereus*, *Acinetobacter calcoaceticus*, *Acinetobacter* sp. y *Acinetobacter iwoffii* (Morgado González et al., 2015; Hossain et al., 2020; Silva et al., 2021; Patel et al., 2022). En otros estudios se han observado incrementos en la biomasa seca de tallo y raíz de plántulas de caña de azúcar de hasta 30 % al ser inoculadas con *Achromobacter spanius* en comparación con plantas no inoculadas (Santos y Rigobelo, 2021). En trigo la inoculación

Tabla 4. Peso seco de parte aérea y de raíz de plantas micropropagadas de caña de azúcar inoculadas con rizobacterias, a los 55 días de aclimatación en invernadero.

Table 4. Dry weight of shoots and roots of micropropagated sugarcane plants inoculated with rhizobacteria, at 55 days acclimatization in greenhouse.

Cepas	Peso seco aéreo (g planta ⁻¹)	Peso seco de raíz (g planta ⁻¹)
CPOC56	0,30 a	0,21 a
CPOC48	0,20 b	0,18 ab
CPOC49	0,19 bc	0,16 bc
CPOC3	0,19 bc	0,18 ab
CPOC36	0,18 bc	0,17 b
CPOC45	0,19 bc	0,17 b
CPOC11	0,16 bc	0,15 bc
CPOC12	0,18 bc	0,16 bc
CPOC22	0,21 b	0,17 b
CPOC7	0,19 bc	0,17 b
CPOC32	0,18 bc	0,16 bc
CPOC5	0,16 bc	0,14 bc
CPOC61	0,18 bc	0,15 bc
CPOC57	0,14 c	0,13 c
Testigo	0,15 bc	0,15 bc
CME	0,002	0,001

Letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticas significativas ($\alpha = 0,05$), CME = Cuadrado Medio del Error.

de *Acinetobacter guillouiae* EU-B2RT.R1 aumentó significativamente el peso de biomasa aérea y raíz con respecto al testigo (Hossain et al., 2020).

Estos efectos positivos en el crecimiento de las plantas, probablemente se debieron a alguna de las funciones que realizan las cepas de bacterias como producción de AIA y solubilización de fosfato. Con respecto a la producción de AIA, *Achromobacter xylosoxidans* CPOC56 fue capaz de producir 33,3 $\mu\text{g mL}^{-1}$ de AIA, mientras que, *Acinetobacter vivianii* CPOC48 produjo la cantidad más baja de AIA con 5,3 $\mu\text{g mL}^{-1}$. El AIA es una de las principales hormonas vegetales que las bacterias pueden producir y su efecto benéfico es sobre el crecimiento de la raíz, con lo que se aumenta la capacidad de absorción de nutrientes y se manifiesta en mayor crecimiento de la planta (Spaepen y Vanderlyden, 2011). Con respecto a la solubilización de fosfato, *Achromobacter xylosoxidans* CPOC56 solubilizó una mínima cantidad fosfato (0,72 $\mu\text{g mL}^{-1}$) y *Acinetobacter vivianii* CPOC48 solubilizó la mayor cantidad (257,59 $\mu\text{g mL}^{-1}$). Estudios realizados en *Vigna radiata* indicaron que la inoculación de *Acinetobacter* sp. SK2, mejoró el crecimiento de las plantas debido a que solubiliza una gran cantidad de fosfato (682 $\mu\text{g mL}^{-1}$) (Bharwad y Rajkumar, 2020), además, fue capaz solubilizar potasio, el cual es un elemento importante para la activación de varias enzimas, que ayudan al crecimiento vegetal (Etesami et al., 2017). Govindarajan et al. (2006) y Pereira et al. (2019), encontraron que la inoculación de rizobacterias en plantas de caña de azúcar, estimula el desarrollo del sistema radical. Este incremento en el crecimiento de la raíz permite una mayor exploración del suelo y una eficiente absorción de agua y nutrientes e incluso mejora el uso de los fertilizantes nitrogenados (Schultz et al., 2016), lo cual conduce a un aumento en la producción de biomasa. Por consiguiente, estos dos mecanismos promotores de crecimiento, como la produc-

ción de ácido indolacético y solubilización de fosfato, pudieron influir principalmente, en mejorar el crecimiento de las plántulas de caña de azúcar en la fase de aclimatación. Según Lugtenberg y Kamilova (2009), las rizobacterias, además de ayudar al crecimiento de la planta mediante la nutrición, pueden aminorar el ataque de microorganismos patógenos, así como moderar los efectos deletéreos causados por los estreses bióticos y abióticos, como sucede en las plántulas de caña de azúcar producidas *in vitro*, al momento de adaptarlas en invernadero.

Con respecto al contenido de nutrimentos, el análisis de covarianza mostró diferencias estadísticas significativas entre tratamientos para N, P y K. Las plantas inoculadas con *Achromobacter xylosoxidans* CPOC56 fueron estadísticamente diferentes al resto de los tratamientos en el contenido de nitrógeno, esta cepa incrementó en 115 % el contenido de nitrógeno con respecto al tratamiento testigo (Tabla 5), posiblemente debido a que estas plantas desarrollaron un mayor volumen radical, con el que tuvieron mayor capacidad de exploración para captar mayor cantidad de este nutrimento. Santos y Rigobelo (2021) también encontraron una mayor concentración de nitrógeno (69 %) en plantas de caña de azúcar que incrementaron su volumen radical, al ser inoculadas con *Achromobacter spanius* IP23 comparado con plantas no inoculadas. En cuanto al fósforo, la mayor concentración se observó en plantas inoculadas con *Bacillus licheniformis* CPOC11, con un incremento de 133 %, comparado con el testigo (Tabla 5). Este resultado puede atribuirse a la capacidad de la cepa de solubilizar fosfato (5,43 $\mu\text{g mL}^{-1}$). El contenido de fósforo en parte aérea es importante, ya que este nutrimento participa en varias funciones importantes como la síntesis de componentes celulares, de fosfolípidos, nucleótidos, entre otros (Taiz et al., 2015). Rosa et al. (2020), encontraron que la inoculación de plantas de

Tabla 5. Contenido de nutrientes (N, P, K) en plantas micropropagadas de caña de azúcar inoculadas con rizobacterias, a los 55 días de aclimatación en invernadero.
 Table 5. Nutrient content (N, P, K) in micropropagated sugarcane plants inoculated with rhizobacteria at 55 days of acclimatization in greenhouse.

Cepas	N (mg planta ⁻¹)	P (mg planta ⁻¹)	K (mg planta ⁻¹)
CPOC56	4,61 a	0,04 e	2,79 ab
CPOC48	3,03 b	0,03 e	2,19 bcd
CPOC49	2,72 b	0,09 b	3,65 a
CPOC7	2,71 b	0,06 bcd	2,12 bcd
CPOC45	2,68 b	0,06 bcd	1,68 cd
CPOC36	2,66 b	0,07 bc	2,56 bc
CPOC3	2,60 b	0,05 cde	1,91 bcd
CPOC61	2,52 b	0,08 b	1,89 bcd
CPOC22	2,52 b	0,07 bc	2,80 ab
CPOC12	2,28 b	0,04 de	1,84 bcd
CPOC11	2,11 b	0,12 a	2,11 bcd
CPOC5	2,11 b	0,05 cde	1,94 bcd
CPOC32	2,04 b	0,05 cde	1,48 d
CPOC57	1,76 b	0,04 e	1,61 cd
Testigo	2,14 b	0,05 cde	1,74 cd
CME	0,59	0,0002	0,33

Letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticas significativas ($\alpha = 0,05$), CME = Cuadrado Medio del Error.

caña de azúcar con *Bacillus subtilis* y *Pseudomonas fluorescens* junto con dosis bajas de fósforo, aumentaron la concentración de fósforo en hojas. Asimismo, Dos Santos et al. (2020) encontraron que la inoculación de bacterias en dos variedades de plantas de caña de azúcar y utilizando solución nutritiva Hoagland con dosis baja en nitrógeno, aumentó la concentración de fósforo y potasio, en comparación con plantas no inoculadas, lo cual puede estar ocurriendo en este experimento al utilizar solución nutritiva al 10 %, lo que indica que los nutrimentos son absorbidos

de manera eficiente con ayuda de las bacterias. Por otra parte, el mayor contenido de potasio se encontró en plantas inoculadas con *Weizmannia ginsengihumi* CPOC49, seguido de *Achromobacter xylosoxidans* CPOC56 y *Bacillus safensis* CPOC22, con incrementos en las concentraciones de 108 %, 60 % y 59 % con respecto al testigo (Tabla 5). El potasio es otro de los nutrientes importantes para el crecimiento y buen desarrollo de las plantas, siendo uno de los nutrimentos almacenados en grandes cantidades por las plantas de caña de azúcar, después del nitrógeno (Rossetto et al.,

2010). En algunos estudios se ha demostrado que algunas bacterias, tales como el género *Achromobacter* sp. tienen la capacidad de solubilizar potasio (Santos y Rigobelo, 2020), con lo que este nutrimento puede estar disponible para ser absorbido por las plantas.

Además de las características mencionadas, probablemente las cepas poseen otros atributos que necesitan ser evaluadas y que no fueron estudiadas en esta investigación, tales como la formación de biofilms. Se ha observado que bacterias de los géneros *Acinetobacter* sp. y *Achromobacter* sp. tienen la capacidad de producir biofilms, cuando entran en contacto con algunos cultivos, incluso con plantas de caña de azúcar (Syed-Ab-Rahman et al., 2018; Vyas et al., 2018). Souza et al. (2016) destaca que la etapa de crecimiento es otro factor que influye en la respuesta de la interacción planta-rizobacterias, ya que colonizan los órganos de la planta en las primeras etapas de desarrollo. Por otra parte, Matoso et al. (2020) observaron que en la respuesta a la inoculación de plántulas de caña de azúcar influye la variedad del cultivo y el tipo de sustrato que se utiliza.

Conclusiones

Las 14 cepas de bacterias seleccionadas pertenecieron a siete géneros; *Bacillus*, *Enterobacter*, *Acinetobacter*, *Achromobacter*, *Paenarthrobacter*, *Weizmannia* y *Staphylococcus*. La mayor producción de ácido indolacético (AIA) se observó a las 48 h y diez cepas produjeron la mayor cantidad de AIA con valores que fluctuaron de 13,35 $\mu\text{g mL}^{-1}$ a 33,3 $\mu\text{g mL}^{-1}$. Cinco cepas mostraron mayor capacidad de solubilizar fosfato con valores que van de 74,9 $\mu\text{g mL}^{-1}$ a 397,5 $\mu\text{g mL}^{-1}$. Los resultados del experimento con plantas micropropagadas de caña de azúcar mostraron efectos positivos de la inoculación, principalmente con

Achromobacter xylosoxidans CPOC56, la cual mostró incrementos en la altura (40 %), volumen radical (124 %), diámetro de tallo (49 %), área foliar (107 %) y contenido de nitrógeno (115 %) en las plantas. Los resultados de la presente investigación ponen en manifiesto que el compost de cachaza de caña de azúcar mezclada con gallinaza (25/75 v/v) es una fuente de cepas de rizobacterias con capacidad para incrementar el crecimiento de plántulas micropropagadas de caña de azúcar. Además, indica que la cepa bacteriana *Achromobacter xylosoxidans* CPOC56 podría tener el potencial de ser utilizada para la aclimatación y crecimiento de plantas *in vitro* de caña de azúcar en invernadero.

Referencias bibliográficas

- Abdel-Rahman H.M., Salem A.A., Moustafa M., El-Garhy H.A. (2017). A novice *Achromobacter* spp. EMCC1936 strain acts as a plant-growth-promoting agent. *Acta Physiologiae Plantarum* 39(2): 1-15. <https://doi.org/10.1007/s11738-017-2360-6>.
- Alam I.T., Nesa S.R., Alam K.M., Begum A., Akhter H. (2019). Phenotypic and molecular characterization of diazotrophic bacteria associated with sugarcane in Bangladesh. *Organic Agriculture* 9(3): 331-343. <https://doi.org/10.1007/s13165-018-0232-z>.
- Almaraz-Suarez J.J., Pineda-Mendoza D.Y., Heredia-Acuña C. (2020). Métodos prácticos para el estudio de rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal. En: *Microbiología aplicada a la Agricultura y Agroecosistemas, Principios y Técnicas para su Investigación* (Ed. Ferrera C.R., Delgadillo M.J., Alarcón A., Alvarado L.J., Pérez M.J., Almaraz S.J.J.), pp. 227-240. Primera edición. Editorial del Colegio de Postgraduados.
- AOAC (1980). *Official Methods of Analysis* (Ed. Horwitz W.), 13th Ed. Association of Official Analytical Chemists. Washington, D.C., USA. 387 p.

- Bharwad K., Rajkumar S. (2020). Modulation of PQQ-dependent glucose dehydrogenase (mGDH and sGDH) activity by succinate in phosphate solubilizing plant growth promoting *Acinetobacter* spp. SK2. 3.BioTech 10(1): 1-11. <https://doi.org/10.1007/s13205-019-1991-2>
- Bric J.M., Bostock R.M., Silverstone S.E. (1991). Rapid in situ assay for indoleacetic acid production by bacteria immobilized on a nitrocellulose membrane. Applied and Environmental Microbiology 57(2): 535-538. <https://doi.org/10.1128/aem.57.2.535-538.1991>
- Castanheira N., Dourado A.C., Alves P.I., Cortes-Pallero A.M., Delgado-Rodriguez A.I., Prazeres A., Borges N., Sanchçez C., Barreto Crespo M.T., Fareira P. (2014). Annual ryegrass-associated bacteria with potential for plant growth promotion. Microbiological Research 169(9-10): 768-779. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2013.12.010>.
- Cunha-Queda A.C., Ribeiro H.M., Ramos A., Cabral F. (2007). Study of biochemical and microbiological parameters during composting of Pine and *Eucalyptus* bark. Bioresource Technology 98(17): 3213-3220. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.07.006>.
- Dos Santos S.G., Da Silva Ribeiro F., Alves G.C., Santos L.A., Reis V.M. (2020). Inoculation with five diazotrophs alters nitrogen metabolism during the initial growth of sugarcane varieties with contrasting responses to added nitrogen. Plant and Soil 451(1): 25-44. <https://doi.org/10.1007/s11104-019-04101-1>.
- Estrada-Bonilla G.A., Lopes C.M., Durrer A., Alves P.R.L., Passaglia N., Cardoso E.J. (2017). Effect of phosphate-solubilizing bacteria on phosphorus dynamics and the bacterial community during composting of sugarcane industry waste. Systematic and Applied Microbiology 40(5): 308-313. <https://doi.org/10.1016/j.syapm.2017.05.003>.
- Etchevers J.D. (1987). Determinación de nitrógeno en suelos. En: Análisis químico para evaluar la fertilidad del suelo (Ed. Aguilar S.A., Etchevers J.D., Castellanos R.J.Z.), pp. 45-83. Montecillo, Texcoco, Edo. De México. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo.
- Etesami H., Emami S., Alikhani H.A. (2017). Potassium solubilizing bacteria (KSB): Mechanisms, promotion of plant growth, and future prospects: A review. Journal of Soil Science and Plant Nutrition 17(4): 897-911. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162017000400005>.
- FAO (2021). World Food and Agriculture-Statistical Yearbook 2021. Roma, Italia. 368 pp. <https://doi.org/10.4060/cb4477en>.
- Glick B.R. (2012). Plant growth-promoting bacteria: mechanisms and applications. Scientifica (Cairo) 2012: 963401. <https://doi.org/10.6064/2012/963401>.
- Govindarajan M., Balandreau J., Muthukumarasamy R., Revathi G., Lakshminarasimhan C. (2006). Improved yield of micropropagated sugarcane following inoculation by endophytic *Burkholderia vietnamiensis*. Plant and Soil 280: 239-252. <https://doi.org/10.1007/s11104-005-3223-2>.
- Gyaneshwar P., Nares Kumar G., Parkeh L.J., Poole P.S. (2012). Role of soil microorganisms in improving P nutrition of plants. Plant and Soil 245(1): 83-93. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1020663916259>.
- Hall T.A. (1999). BioEdit: a user-friendly biological sequence alignment editor and analysis program for Windows 95/98 / NT. Nucleic Acids Symposium Series. 41: 95-98.
- Hermann E.R., Câmara G.M.S. (1999). Um método simples para estimar a área foliar de cana-de-açúcar. Revista da STAB 17(5): 32-34.
- Hossain G.M.A., Solaiman A.R.M., Karim A.J.M.S., Rahman G.K.M.M., Mia M.A.B. (2020). Influence of diazotrophic bacteria on growth and biomass production of sugarcane *in vitro*. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences 9(3): 3077-3088. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2020.903.353>.
- Khan M.S., Zaidi A., Wani P.A. (2007). Role of phosphate-solubilizing microorganisms in sustainable agriculture: A review. Agronomy for Sustainable Development 27(1): 29-43. <https://doi.org/10.1051/agro:2006011>.
- Lal M., Tiwari A.K., Gupta G.N., Kavita U.P. (2015). Commercial scale micropropagation of sugarcane: constraints and remedies. Sugar Tech 17(4): 339-347. <https://doi.org/10.1007/s12355-014-0345-y>.

- Lopes E.A.P., Brayner F.A., Alves L.C., Antunes J.E.L., Oliveira J.P., Santiago A.N.D., Figueiredo M.V.B. (2017). Acclimatization of *Manihot esculenta* crantz seedlings inoculated *in vitro* with plant growth-promoting bacteria. *Advances in Plants and Agriculture Research* 7(5): 377-386. <https://doi.org/10.15406/apar.2017.07.00270>.
- Lugtenberg B., Kamilova F. (2009). Plant-growth promoting rhizobacteria. *Annual Review of Microbiology* 63: 541-556. <https://doi.org/10.1146/annurev.micro.62.081307.162918>.
- Matoso E.S., Reis V.M., Giacomini S.J., Silva M.T.D., Avancini A.R., Silva S.D.A. (2020). Diazotrophic bacteria and substrates in the growth and nitrogen accumulation of sugarcane seedlings. *Scientia Agricola* 78(1): e20190035. <https://doi.org/10.1590/1678-992x-2019-0035>.
- Morgado González A., Espinosa Victoria D., Gómez Merino F.C. (2015). Efficiency of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) in sugarcane. *Terra Latinoamericana* 33(4): 321-330.
- Nascimento F.X., Glick B.R., Rossi M.J. (2021). Multiple plant hormone catabolism activities: an adaptation to a plant associated lifestyle by *Achromobacter* spp. *Environmental Microbiology Reports* 13(4): 533-539. <https://doi.org/10.1111/1758-2229.12987>.
- OCDE/FAO (2021). OCDE-FAO Agricultural Outlook 2021-2030, OECD Publishing, Paris, Francia. <https://doi.org/10.1787/19428846-en>.
- Pasqual M., Rodrigues Soares J.D., Rodrigues F.A. (2014). Tissue culture applications for the genetic improvement of plants. En: *Biotechnology and Plant Breeding: Applications and Approaches for Developing Improved Cultivars*, (Ed. Borem A, Fritsche-Neto R), pp. 157-199. Academic Press, São Paulo, Brazil. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-418672-9.00007-6>.
- Patel P., Gajjar H., Joshi B., Krishnamurthy R., Amaran N. (2022). Inoculation of salt-tolerant *Acinetobacter* spp (RSC9) improves the sugarcane (*Saccharum* sp. hybrids) growth under salinity stress condition. *Sugar Tech* 24(2): 494-501. <https://doi.org/10.1007/s12355-021-01043-w>.
- Pereira W., Silva S.J., Schultz N., Massena Reis V. (2019). Sugarcane productivity as a function of nitrogen fertilization and inoculation with diazotrophic plant growth-promoting bacteria. *Sugar Tech* 21(1): 71-82. <https://doi.org/10.1007/s12355-018-0638-7>.
- Pikovskaya R.I. (1948). Mobilization of phosphorus in soil in connection with the vital activity of some microbial species. *Mikrobiologiy* 17: 362-370.
- Rasappan K., Kumar A., Santhosh P. (2015). Studies on sugarcane pressmud and distillery wastes as biofertilizer through composting. *International Journal Chemical Sciences* 13(3): 1333-1344.
- R Core Team (2020). R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Rodríguez F.H., Rodríguez A.F. (2015). Métodos de análisis de suelos y plantas: criterios de interpretación. 3ª ed. México, trillas, UANL, 288 pp.
- Romero-Yam L.A., Almaraz-Suarez J.J., Velasco-Velasco J., Galvis-Spinola A., Gavi-Reyes F. (2015). Microbial dynamics during composting of filter cake reactivated with chicken manure. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 21(1): 21-31. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2013.09.032>.
- Rosa P.A.L., Mortinho E.S., Jalal A., Galindo F.S., Buzetti S., Fernandes G.C., Neto M.B., Pavinato P.S., Teixeira Filho M.C.M. (2020). Inoculation with growth-promoting bacteria associated with the reduction of phosphate fertilization in sugarcane. *Frontiers in Environmental Science* 8(32): 1-18. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2020.00032>.
- Rossetto R., Días F.L.F., Vitti A.C., Prado J., Junior P.Q. (2010). Fósforo. En: *Cana de açúcar* (Ed. Dinardo-Miranda L.L., Vasconcelos A.C.M., Landell, M.G.A.), pp. 71-281. Instituto Agronômico, Campinas, Brazil.
- Samet M., Ghazala I., Karray F., Abid C., Chiab N., Nouri-Ellouz O., Sayadi S., Gargouri-Bouid R. (2022). Isolation of bacterial strains from compost teas and screening of their PGPR properties on potato plants. *Environmental Science and Pollution Research* 29: 75365-75379. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-21046-8>.
- Santos R.M.D., Rigobelo E.C. (2020). Selection of *Saccharum* spp. rhizobacteria with growth-promoting properties using PCA analysis. *Australian Journal of Crop Science* 14(7): 1186-1194. <https://doi.org/10.21475/ajcs.20.14.07.p2698>.

- Santos R.M.D., Rigobelo E.C. (2021). Growth-promoting potential of rhizobacteria isolated from sugarcane. *Frontiers in Sustainable Food Systems* 5: 1-12. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.596269>.
- Scortecci K.C., Creste S., Calsa J.T., Xavier M.A., Landell M.G., Figueira A., Benedito V.A. (2012). Challenges, opportunities and recent advances in sugarcane breeding. *Plant Breeding*. 1: 267-296. <https://doi.org/10.5772/28606>.
- Schultz N., Pereira W., Reis V.M., Urquiaga S.S. (2016). Produtividade e diluição isotópica de ^{15}N em cana-de-açúcar inoculada com bactérias diazotróficas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 51: 1594-1601. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2016000900059>
- Silva J.C.D., Santos L.D.S., Faria P.S.A., Silva F.G., Rubio Neto A., Martins P.F., Selari P.J.R.G. (2021). Multifunctional characteristics of *Acinetobacter lwoffii* Bac109 for growth promotion and colonization in micropropagated sugarcane. *Pesquisa Agropecuária Tropical*. 51: 1-10. <https://doi.org/10.1590/1983-40632021v5169373>.
- Soares M.A., Li H.Y., Kowalski K.P., Bergen M., Torres M.S., White J.F. (2016). Functional role of bacteria from invasive *Phragmites australis* in promotion of host growth. *Microbial Ecology* 72(2): 407-417. <https://doi.org/10.1007/s00248-016-0793-x>.
- Souza R.S.C., Okura V.K., Armanhi J.S.L., Jorrín B., Lozano N., Silva M.J., Gonzalez-Guerrero M., Araujo L.M., Verza N.C., Bagheri H.C., Imperial J., Arruda P. (2016). Unlocking the bacterial and fungal communities assemblages of sugarcane microbiome. *Scientific Reports* 6: 28774. <https://doi.org/10.1038/srep28774>.
- Spaepen S., Vanderleyden J. (2011). Auxin and plant-microbe interactions. *Cold Spring Harbor Perspectives in Biology* 3(4): 1-15. <https://doi.org/10.1101/cshperspect.a001438>.
- Steiner A.A. (1961). A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. *Plant Soil* 15(2): 134-154. <https://doi.org/10.1007/BF01347224>.
- Syed-Ab-Rahman S.F., Carvalhais L.C., Chua E., Xiao Y., Wass T.J., Schenk P.M. (2018). Identification of soil bacterial isolates suppressing different *Phytophthora* spp. and promoting plant growth. *Frontiers in Plant Science* 9(1502): 1-18. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01502>.
- Taiz L., Zeiger E., Møller I.M., Murphy A. (2015). *Plant physiology and development*, 6th. Ed. Sinauer Associates Incorporated, LA, California, U.S.A. 896 pp.
- Vyas P., Kumar D., Dubey A., Kumar A. (2018). Screening and characterization of *Achromobacter xylosoxidans* isolated from rhizosphere of *Jatropha curcas* L. (energy crop) for plant-growth-promoting traits. *Journal of Advanced Research in Biotechnology* 3(1): 1-8. <http://dx.doi.org/10.15226/2475-4714/3/1/00134>.
- Zhang Z., Schwartz S., Wagner L., Miller W. (2000). A greedy algorithm for aligning DNA sequences. *Journal of Computational Biology* 7: 203-214. <http://doi.org/10.1089/10665270050081478>.

(Aceptado para publicación el 15 de septiembre de 2023)

Efecto del enriquecimiento ambiental alimenticio en el comportamiento de ovejas alojadas en estabulación permanente

Jorgina T.V. Gonçalves-Casaco¹, Jesús de la Fuente², Concepción Pérez-Marcos^{3,*} y Elisabet González de Chávarri²

- ¹ Facultad de Medicina Veterinaria, Universidade José Eduardo Dos Santos (UJES) Huambo, Angola.
- ² Departamento de Producción Animal, Facultad de Veterinaria, Universidad Complutense de Madrid, España.
- ³ Departamento de Fisiología, Facultad de Veterinaria, Universidad Complutense de Madrid, España.

Resumen

La creciente preocupación por el bienestar de los animales en sistemas de producción intensivos ha llevado al desarrollo de diferentes programas de enriquecimiento ambiental, para mejorar el grado de diversidad comportamental de los animales de granja y mejorar su bienestar. El objetivo de este trabajo fue determinar los efectos de un enriquecimiento ambiental alimenticio sobre la respuesta comportamental de ovejas gestantes, lactantes con corderos y secas.

A partir del rebaño de la Facultad de Veterinaria de la Universidad Complutense de Madrid, 36 ovejas de la raza Castellana se distribuyeron aleatoriamente en 9 lotes de 4 ovejas, 3 grupos por estado fisiológico. El enriquecimiento nutricional consistió en proporcionar el 25 % de la ración de volumen, heno de alfalfa, en una malla suspendida del techo y una plataforma para facilitar el acceso, administrando también heno en el comedero habitual. Se grabaron las frecuencias y el tiempo que las ovejas dedicaron a la expresión de los distintos comportamientos. Las ovejas lactantes usaron de inmediato el enriquecimiento, mientras que las gestantes aprendieron, porque no fueron a comer a la malla el día 1, pero sí los días sucesivos. Al cuarto día la frecuencia y el tiempo que el conjunto de ovejas dedicó a comer en los diferentes sitios era mayor, así como las interacciones sociales en gestantes y secas, siendo menor el comportamiento de pie observando. Se ha conseguido que las ovejas se mantengan activas y distraídas, expresando durante más tiempo un repertorio de comportamientos naturales y, en consecuencia, mejorando su bienestar.

Palabras clave: Bienestar animal, enriquecimiento ambiental, ovejas.

Effect of environmental food enrichment on the behaviour of sheep kept in permanent housing

Abstract

The growing concern for the animal welfare in intensive production systems has led to the development of different environmental enrichment programmes, with the aim of optimizing the degree of behav-

* Autor para correspondencia: cpmarcos@ucm.es

Cita del artículo: Gonçalves-Casaco J.T.V., de la Fuente J., Pérez-Marcos C., González de Chávarri E. (2023). Efecto del enriquecimiento ambiental alimenticio en el comportamiento de ovejas alojadas en estabulación permanente. ITEA-Información Técnica Económica Agraria 119(4): 343-356. <https://doi.org/10.12706/itea.2023.008>



ioral diversity of farm animals to improve their welfare. The objective of this work was to assess the effect of an environmental enrichment on the behavior profile of housed sheep.

Pregnant, lactating, and non-pregnant adult ewes from the experimental farm of the Veterinary Faculty of the Complutense University of Madrid were randomly distributed in 9 experimental groups of 4 ewes, 3 groups per physiological state. Nutritional environmental enrichment consisted in providing 25 % of the ration volume, alfalfa hay, in a mesh suspended from the ceiling with platform to facilitate access to the mesh, also administering hay in the usual feeder. The frequencies and the time that the sheep dedicated to the expression of the different behaviors were recorded for 1h over the 4 test days. Lactating ewes made immediate use of the enrichment, while pregnant ewes learned to eat from the mesh, because they did not eat from the mesh the first day, but they did the following days. At the end of the four days the frequency and time that ewes spent eating in the different sites was higher than the first day, as well as the social interactions in pregnant and dry ewes, being lower the frequency and time they spent standing. The provided environmental enrichment has kept ewes occupied and distracted, expressing for a longer time a repertoire of natural behaviors, and consequently, improving their welfare.

Keywords: Animal welfare, environmental enrichment, sheep.

Introducción

La cría de las ovejas en sistemas intensivos es muy reciente si lo comparamos con los 10.000 años de cría en extensivo (Duffrene et al., 2022). Las ovejas que viven en rebaños, alojadas en sistemas extensivos suelen disponer de un ambiente que pueden modular, dedicando buena parte de su tiempo a la obtención de alimento, mientras que en sistemas intensivos reciben alimento una vez al día por lo que el tiempo dedicado a la ingestión de alimentos es muy reducido acompañado de un entorno vacío y poco estimulante. En los sistemas intensivos, los animales no tienen el control, ni están motivados para llevar a cabo muchos comportamientos de tipo individual, social o parental, dejan de comportarse como lo harían en su hábitat natural. La falta de estímulos en el alojamiento puede conducir a estrés, patologías diversas y al desarrollo de conductas anormales como: estereotipias, conductas redirigidas, coprofa-gia, excitabilidad, agresión, hipersensibilidad a los estímulos ambientales o letargo e inactividad (Shepherdson et al., 1993).

La preocupación por el bienestar de los animales mantenidos en cautividad ha llevado a mejorar su entorno físico y/o social, surgien-

do con este propósito el enriquecimiento ambiental (EA). El enriquecimiento permite mayor grado de diversidad comportamental en el ganado (van de Weerd y Day, 2009). Es decir, el EA puede proporcionar estímulos que ponen a prueba los sentidos y el intelecto de los animales para tener mayor control sobre su ambiente, experimentar situaciones novedosas y desarrollar habilidades y comportamientos similares a los de su entorno natural, siendo las principales formas de enriquecimiento ambiental sensorial, ocupacional, social, físico y nutricional. (Arechavala-Lopez et al., 2021).

Un programa de enriquecimiento ambiental eficaz en los animales de granja debe ser aquel que además de mejorar su bienestar, y no representar riesgo para los animales sea fácil de aplicar y mejore la economía del sistema de producción (Ostovi et al., 2016). Los objetivos de un programa dependen de qué sistemas motivacionales queramos estimular. Por lo cual, en un sistema extensivo, las sombras, puntos de bebida y sales minerales serian objetivos importantes. Mientras que, en sistemas estabulados, los objetivos estarán encaminados a mejorar las zonas de descanso, incrementar los tiempos de locomoción, exploración y búsqueda de comida, así como

mejorar el contacto social, consiguiendo reducir la frustración y el aburrimiento (Aguayo-Ulloa et al., 2014).

El enriquecimiento nutricional en ovino puede incluir la administración de alimentos nuevos, variaciones en la dieta o en la forma de suministrarla, por ejemplo, la presencia de paja puede conducir a que los corderos expresen un repertorio de comportamientos más naturales al mantenerles ocupados y distraídos, evitando ejecutar comportamientos anormales (Aguayo-Ulloa et al., 2014).

Las ovejas tienen una excelente memoria general y capacidad de aprendizaje, Duffrene et al. (2022) sugieren que las ovejas y las cabras pueden hacer inferencias basadas en un razonamiento deductivo. Nowak (1994) y Hunter et al. (2015) vieron que corderas y ovejas de 18 y 40 semanas podían recordar la prueba de laberinto durante al menos 22 semanas y que la experiencia previa, no solo la edad, se correlacionaba con el rendimiento en el laberinto. Existen pruebas de que los rasgos de personalidad de cada oveja individualmente son un factor importante en relación con su comportamiento social (Hauschildt y Gerken, 2015).

El objetivo de este trabajo fue determinar los efectos de un enriquecimiento ambiental alimenticio sobre la respuesta comportamental de ovejas en diferentes estados fisiológicos, gestantes, lactantes y secas.

Material y métodos

Material y diseño experimental

Se utilizaron un total de 36 ovejas adultas del rebaño ovino de raza Castellana de la granja experimental de la Facultad de Veterinaria de la Universidad Complutense de Madrid. Las ovejas empleadas estaban en tres estados fisiológicos distintos: en los últimos 15 días de gestación (n=12), en los primeros 15 días de lactación con sus corderos (n=12) y secas (n=12). La experiencia se realizó el mes de mayo de 2015, con una temperatura media de 19,5 °C.

El corral experimental contaba con un comedero con acceso por ambos lados y un bebedero de nivel de agua constante. Para la experiencia se colgó una malla a una altura de



Figura 1. Corral experimental con el material de enriquecimiento utilizado.
Figure 1. Experimental shed and enrichment materials.

1,5 m del suelo y debajo se colocó una plataforma de 0,6 m de altura que permitía a las ovejas apoyar las extremidades delanteras para acceder a la malla (Fig. 1). Para las grabaciones se dispuso de una cámara Air Space CCD Exview HAD Hig Res (SONY: Zabatel, S.L. Madrid, España) en el techo del corral, que permitía visualizar todo el corral. La cámara estaba conectada a un ordenador personal con una tarjeta de captura de vídeo.

Se ha realizado la misma rutina para todos los grupos experimentales. Las 36 ovejas se distribuyeron aleatoriamente en 9 grupos experimentales de 4 ovejas, tres grupos por estado fisiológico (EF). Cada grupo se mantuvo en el corral experimental separado del resto del rebaño durante 5 días consecutivos para su habituación al nuevo alojamiento, iniciándose la prueba el día 6, con una duración de 4 días. El enriquecimiento alimenticio consistió en colocar el 25 % de la ración de volumen (heno de alfalfa) en la malla suspendida (1 kg), al mismo tiempo que se suministraba otro kg en el comedero (Fig 2). Los cuatro días de prueba (DO): D1, D2, D3 y D4 que se correspondieron con el 6º, 7º, 8º y 9º día en el corral, aproximadamente a la misma hora (10:00-10:30), se sacaban las



Figura 2. Las ovejas comiendo heno de la malla.
Figure 2. Sheep eating hay in the mesh.

ovejas del corral para colocar el heno en el comedero y en la malla, y seguidamente se permitía que los animales volvieran al corral. En torno a las 14:00 horas se completaba la ración diaria, el concentrado y el resto de la ración de volumen, heno de alfalfa para las ovejas gestantes y lactantes, y paja para las ovejas secas. Al final de cada prueba, se procedía a la limpieza del corral y a su preparación para los restantes grupos.

Se inició la grabación del comportamiento de cada grupo de ovejas en cuanto volvieron al corral, durante una hora por día. El vídeo se grabó en formato "MPG – Moving Picture Group". Se grabaron un total de 36 horas, correspondientes a la hora diaria de grabación durante 4 días de cada uno de los 9 grupos (3 por estado fisiológico). Posteriormente se visionaron las grabaciones, registrando los comportamientos que figuran en la tabla 1. Para cada uno de los comportamientos se ha registrado su frecuencia y el tiempo dedicado a realizarlo.

Análisis estadístico

Para el análisis estadístico de los datos se utilizó el programa informático Statgraphics Centurion V19.2.01. El modelo utilizado para los análisis de todas las variables tanto para las frecuencias como para los tiempos fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + EF_{i(1..3)} + DO_{j(1..4)} + EF \times DO_{ij} + \varepsilon_{k(ij)} \quad [1]$$

Donde:

Y_{ijk} = variables dependientes (frecuencias y tiempo de dedicación a un comportamiento)

μ = media general

EF_i = efecto del estado fisiológico de la oveja, gestantes, lactantes o secas

DO_j = efecto del día de observación, D1, D2, D3 y D4

Tabla 1. Descripción de los comportamientos registrados.

Table 1. Description of recorded behaviors.

Comiendo del comedero	Ovejas ingiriendo heno de alfalfa en el comedero
Comiendo de la malla	Ovejas ingiriendo heno de alfalfa de la malla.
Comiendo de la plataforma	Ovejas ingiriendo heno de alfalfa que se había caído sobre la plataforma situada debajo de la malla.
Comiendo del suelo	Ovejas ingiriendo heno de alfalfa que se había caído al suelo procedente del comedero o de la malla.
Caminando por el corral	Ovejas moviéndose dentro del corral.
Cambio de lado en el comedero	Ovejas cambiándose de lado en el comedero.
Bebiendo	Ovejas bebiendo del bebedero.
De pie observando	Ovejas tranquilas mirando con la cabeza levantada
Interacción entre ovejas	Ovejas contactando con otra/s ovejas

EF x DO_{ij} = interacción entre el estado fisiológico de la oveja y el día de observación

$\epsilon_{k(ij)}$ = error experimental

La frecuencia de realización de los comportamientos se analizó mediante el test no paramétrico Sheirer-Ray-Hare, que es una extensión del análisis de Kruskal-Wallis, que permite estudiar la interacciones entre factores. Para la realización de este test se obtuvieron los rangos de datos y un análisis de varianza de estos rangos según el modelo descrito anteriormente. Se realizó un test de Dunn-Sidák como método de comparación múltiple para evaluar el efecto del estado fisiológico y el día de observación cuando la interacción entre ambos factores era significativa. Además, se comparó cada estado fisiológico en cada día de observación y cada día de observación para cada estado fisiológico mediante el test de la U de Mann-Whitney.

Para el estudio del tiempo que dedicaron las ovejas a cada comportamiento se realizó inicialmente un análisis de los residuos, para comprobar la normalidad empleando el test

de Shapiro-Wilks y para estudiar la homogeneidad de la varianza se realizó un test de Bartlett. Para este estudio se llevó a cabo un análisis de la varianza de dos vías, según el modelo presentado previamente. Se empleó el test de Dunn-Sidák como método de comparación múltiple cuando la interacción entre ambos factores era significativa, realizando la comparación dos a dos mediante la prueba t de Student para cada estado fisiológico en cada día de observación y cada día de observación para cada estado fisiológico.

Resultados

En la Tabla 2 se presentan las *frecuencias* con las que las ovejas expresan los diferentes comportamientos analizados respecto al estado fisiológico (EF) y a los días de observación (DO). El estado fisiológico presentó efectos significativos en la frecuencia del comportamiento de cambio de lado de comedero y bebiendo, con interacción significativa (EFxDO)

Tabla 2. Frecuencia de los diferentes comportamientos de las ovejas en función del día de observación (DO) y estado fisiológico (EF) (medianas y rangos intercuartílicos).

Table 2. Frequency of different sheep behavior according to day (DO) and physiological status (EF) (medians and interquartile ranges).

Tipo de Comportamiento	Días de observación (DO)	Estado Fisiológico (EF)			Significación (P Valor)		
		Gestantes	Lactantes	Secas	EF	DO	EF x DO
Comiendo en el comedero	Primero	18(9,5)	18,5(8)	16,5(8)	0,4216	0,0921	0,2687
	Segundo	18(5,5)	12,5(7,5)	19(10)			
	Tercero	13(8,5)	15,5(5,5)	14,5(11,5)			
	Cuarto	18,5(6,5)	23(14)	17(14)			
Comiendo en la malla	Primero	0(0) ^{a,x}	7,5(15) ^b	8,5(15) ^b	0,2651	0,0001	0,0103
	Segundo	4,5(11) ^y	9,5(10,5)	8(5,5)			
	Tercero	16(12,5) ^y	9,5(13,5)	11(10,5)			
	Cuarto	11,5(18) ^y	11,5(8,5)	14(10,5)			
Comiendo en la plataforma	Primero	3(7) ^{a,x}	13(20) ^b	10,5(17,5) ^{b,x}	0,2014	0,0000	0,0150
	Segundo	16(13) ^y	16,5(11,5)	18,5(13) ^x			
	Tercero	26(9) ^{y,z}	17(19)	23,5(12,5) ^{xy}			
	Cuarto	27,5(10,5) ^z	17,5(18,5)	29(21,5) ^y			
Comiendo en el suelo	Primero	12,5(10)	12,5(18,5)	8,5(9,5)	0,8236	0,2290	0,8989
	Segundo	9,5(13)	18(19,5)	11,5(11)			
	Tercero	5,5(8,5)	8(14,5)	11(12,5)			
	Cuarto	10(10,5)	13,5(15)	13,5(15,5)			
Caminando por el corral	Primero	24,5(10,5) ^a	41(26) ^{b,x}	27(10,5) ^{ab}	0,0666	0,9967	0,0387
	Segundo	22(22)	32,5(16,5) ^{xy}	26,5(12)			
	Tercero	29,5(14) ^{ab}	22(15) ^{a,y}	36,5(15) ^b			
	Cuarto	20,5(14)	32,5(9) ^{xy}	34(22)			
Cambios de lado en el comedero	Primero	4,5(5,5)	7(60,5)	3(5)	0,0000	0,7983	0,3988
	Segundo	5(5,5)	4,5(50,5)	5(5,5)			
	Tercero	5(4)	9(34)	2,5(4,5)			
	Cuarto	4(3)	10,5(49)	2(1,5)			
Bebiendo	Primero	2(3) ^{a,x}	5,5(3,5) ^b	1(2) ^{a,xy}	0,0000	0,4931	0,0296
	Segundo	1(1,5) ^{a,y}	4,5(3,5) ^c	2(2,5) ^{b,x}			
	Tercero	3(2) ^x	2(4,5)	1(3) ^{xy}			
	Cuarto	1,5(3) ^{ab,xy}	3(2,5) ^a	0(1,5) ^{b,y}			
De pie observando	Primero	9,5(26,5) ^x	14(20,5) ^{xy}	7(10,5) ^x	0,2537	0,0003	0,0000
	Segundo	7,5(15) ^{a,x}	15,5(9,5) ^{a,x}	2(4) ^{b,y}			
	Tercero	5(6) ^x	3(5,5) ^y	10,5(14) ^x			
	Cuarto	0(1) ^{a,y}	3,5(11) ^{a,y}	5,5(7) ^{b,xy}			
Interacción entre ovejas	Primero	3(5,5)	6,5(9,5)	2,5(3)	0,1869	0,0055	0,1267
	Segundo	5,5(6,5)	4,5(12)	6,5(12,5)			
	Tercero	13,5(15)	5(9,5)	6,5(26)			
	Cuarto	9(12,5)	4(6)	14(17,5)			

^{a,b,c} Diferentes superíndices en la misma fila indican diferencias significativas. ^{x,y,z}, Diferentes superíndices en la misma columna indican diferencias significativas.

para este último comportamiento. Las ovejas lactantes cambiaron más veces de lado del comedero que las secas y gestantes. Además, las ovejas lactantes visitaron más veces el bebedero que gestantes y secas, especialmente los días 1 (D1) y 2 (D2), y también que las secas el día 4 (D4).

El efecto tiempo (días de observación) resultó estadísticamente significativo en el comportamiento comiendo de la malla, comiendo de la plataforma y permaneciendo de pie observando ($P < 0,001$), en los que además hubo una interacción significativa entre el estado fisiológico y los días de observación. Los días de observación también presentaron un efecto significativo sobre el comportamiento de interacción de las ovejas entre sí ($P < 0,01$), pero en este caso no hubo interacción significativa entre las dos variables analizadas (EFxDO). Las ovejas gestantes no fueron a comer de la malla el día 1(D1), pero si el resto de los días. Además, el D1 ovejas lactantes y secas comieron de la malla, a diferencias de las gestantes, pero a partir del día 2 (D2) ya no hubo diferencias significativas entre ellas.

Las ovejas lactantes no presentaron diferencias significativas en el comportamiento comer de la plataforma en los diferentes días, pero las gestantes y secas incrementaron de forma significativa las veces que comían de la plataforma con el transcurso de los días. Las lactantes y secas comieron más veces de la plataforma el D1 que las gestantes. Respecto al comportamiento de permanecer de pie observando, a medida que avanzan los días tanto las ovejas gestantes como las lactantes permanecieron menos veces de pie, aunque las diferencias solo fueron significativas el día 4 (D4) en gestantes y el día 3 (D3) y día 4 respecto al día 2 en lactantes, destacando la gran variabilidad individual del primer día. El día 2 las ovejas secas permanecieron de pie menos veces que las lactantes y gestantes, mientras que el día 4 las ovejas secas fueron las que permanecieron más veces de pie del tiempo de observación.

La frecuencia del comportamiento de interacción entre las ovejas aumentó con el transcurso de los días de observación ($P < 0,01$). En el comportamiento de caminar por el corral, solo tuvo efecto significativo la interacción entre los dos factores (EFxDO) ($P < 0,05$), las ovejas lactantes caminaron con más frecuencia que las gestantes el día 1 y menos que las secas el día 3. Las frecuencias de los comportamientos comer en el comedero y comer en el suelo, no se encontraron afectadas por el EF ni por el DO.

Si analizamos el *tiempo total* que las ovejas estuvieron expresando los diferentes comportamientos (Tabla 3), el día de observación y la interacción (EFxDO) tuvieron un efecto significativo sobre los comportamientos comiendo en comedero, comiendo en malla, comiendo en la plataforma e interacción entre ovejas. El comportamiento permanecer de pie observando se encontró afectado de forma significativa por los días de observación ($P < 0,001$), aunque la interacción entre ambos factores (EFxDO) no fue significativa.

En el comportamiento comiendo del comedero, en el día 1 las ovejas gestantes pasaron más tiempo comiendo que las lactantes y secas y en el día 2 más que las lactantes. Además, las gestantes pasaron más tiempo comiendo en el comedero en el día 1 que en los días sucesivos ($P < 0,05$).

Con relación al comportamiento comiendo de la malla, en el primer día de observación las ovejas gestantes comieron durante menos tiempo que las secas. El tiempo que las gestantes dedicaron a comer de la malla se fue incrementando con el trascurso de los días, con un máximo los días 3 y 4. Se observó una situación similar en el comportamiento comer de la plataforma, en el que las gestantes dedicaron muy poco tiempo a comer de la plataforma el día 1, para ir aumentando los minutos con los días de observación, si bien estas diferencias fueron significativas entre el día 1 y los días 3 y 4 ($P < 0,05$).

Tabla 3. Tiempo dedicado por las ovejas a los diferentes comportamientos en función de los días de observación (DO) y el estado fisiológico (EF) (medias y error estándar).

Table 3. Time dedicated by the sheep to the different behaviors according to observation day (OD) and physiological status (EF) (media and standard error).

Tipo de Comportamiento	Días de observación (DO)	Estado Fisiológico (EF)			EE	Significación (P Valor)		
		Gestantes	Lactantes	Secas		EF	DO	EF x DO
Comiendo en el comedero	Primero	28,52 ^{a,x}	16,06 ^b	21,45 ^b	2,250	0,0533	0,0024	0,0460
	Segundo	19,70 ^{a,y}	13,17 ^b	19,10 ^{ab}				
	Tercero	17,69 ^y	16,36	17,16				
	Cuarto	17,11 ^y	16,58	15,18				
Comiendo en la malla	Primero	0,042 ^{a,x}	4,52 ^{ab}	8,47 ^b	2,133	0,8593	0,0014	0,0134
	Segundo	6,52 ^y	9,88	8,37				
	Tercero	12,68 ^z	7,97	9,01				
	Cuarto	9,56 ^{yz}	9,48	7,49				
Comiendo en la plataforma	Primero	1,91 ^x	7,52	8,02	2,186	0,7771	0,0001	0,0181
	Segundo	7,29 ^{xy}	7,02	11,51				
	Tercero	13,24 ^y	11,47	12,25				
	Cuarto	14,66 ^y	11,11	11,35				
Comiendo en el suelo	Primero	7,45	7,25	6,29	1,998	0,6802	0,3999	0,3425
	Segundo	5,52	5,97	8,62				
	Tercero	4,91	9,19	5,07				
	Cuarto	7,98	10,05	7,34				
Caminando por el corral	Primero	4,07	8,11	3,47	1,419	0,1964	0,3535	0,0538
	Segundo	5,80	7,52	4,76				
	Tercero	3,56	3,30	5,87				
	Cuarto	2,02	4,01	6,91				
Cambios de lado en el comedero	Primero	1,23	0,78	0,75	0,280	0,3532	0,0682	0,9028
	Segundo	0,62	0,61	0,83				
	Tercero	0,57	0,29	0,21				
	Cuarto	0,70	0,44	0,26				
Bebiendo	Primero	1,89	1,48	0,80	0,629	0,7833	0,1259	0,5574
	Segundo	1,22	1,47	1,47				
	Tercero	2,21	2,91	2,75				
	Cuarto	1,73	0,97	0,77				
De pie observando	Primero	10,90 ^{a,x}	6,95 ^{ab,x}	4,50 ^b	1,630	0,4446	0,0006	0,0630
	Segundo	5,90 ^y	6,29 ^{xy}	2,08				
	Tercero	0,94 ^z	2,30 ^y	3,69				
	Cuarto	0,63 ^z	2,73 ^{xy}	2,81				
Interacción entre ovejas	Primero	1,35	2,33	1,08	0,864	0,5693	0,0271	0,0017
	Segundo	2,14	2,58	2,78				
	Tercero	3,25	2,79	2,87				
	Cuarto	2,70 ^a	1,01 ^a	5,65 ^b				

^{a,b,c} Diferentes superíndices en la misma columna indican diferencias significativas. ^{x,y,z}, Diferentes superíndices en la misma fila indican diferencias significativas.

Las ovejas gestantes pasaron más tiempo de pie observando que las secas en el día 1. Estas ovejas gestantes redujeron el tiempo que permanecían de pie observando con el trascurso de los días ($P < 0,001$), siendo mínimo los días 3 y 4, y las lactantes permanecieron menos tiempo de pie en el día 3 respecto al primer día (D1). Por otra parte, el comportamiento de interacción entre las ovejas fue aumentando con los días de observación en las ovejas secas, siendo mayor en estas ovejas el día 4 que en lactantes y gestantes ($P < 0,01$).

El EF no incidió significativamente sobre la duración de ninguno de los comportamientos, y tampoco el DO para los comportamientos comiendo en el suelo, caminando por el corral, cambio de lado en el comedero y bebiendo.

Discusión

Las ovejas se suelen considerar animales temerosos, neofóbicos, y gregarios, (Houpt, 2018). Por otro lado, se sabe que los corderos tienen una robusta memoria espacial (Nowak, 1994) y las ovejas pueden aprender y recordar un laberinto bastante complejo (Hunter et al., 2015). Su comportamiento alimentario está determinado en primer lugar por las exigencias de la homeostasis, pero también puede estar influido por los comportamientos hedonistas y la saciedad (efectos postingestivos) (Favreau et al., 2010; Ginane et al., 2015).

El enriquecimiento ambiental debe ajustarse al comportamiento y a la fisiología de cada especie animal. En este trabajo, con la nueva forma de presentación del alimento (malla suspendida con heno) como método de enriquecimiento ambiental para las ovejas, se han analizado las frecuencias y duración de la expresión de comportamientos relacionados con los procesos cognitivos, y la expresión de comportamientos exploratorios y sociales.

Comportamientos relacionados con el aprendizaje

Las ovejas, mediante el refuerzo con técnicas de aprendizaje, son capaces de elegir su dieta preferida a través de señales sensoriales (Villalba y Provenza, 1997; Favreau et al., 2010). A medida que aumentaron los días de observación, aumentó la frecuencia y el tiempo que las ovejas gestantes acudieron a comer a la plataforma y a la malla, que también se observó en las veces en que las secas acudieron a comer de la plataforma. Este hecho concuerda con trabajos previos en corderos, que consumían más determinados alimentos a medida que avanzaban los días de exposición a los mismos (Burritt y Provenza, 1996). Sin embargo, las ovejas lactantes no presentaron esta evolución en el tiempo. En el primer día, lactantes y secas fueron las que más veces comieron de la malla y de la plataforma, y el tiempo dedicado a comer de la malla fue mayor en secas que gestantes. En el caso de las lactantes, puede atribuirse su comportamiento a sus mayores necesidades nutritivas, ya que cuanto más hambriento está un animal (estado emocional negativo), más trabajará para obtener alimento y reducir este estado negativo (Verbeek et al., 2011).

Según estos resultados, parece que las ovejas lactantes y secas fueron las que tomaron la iniciativa el primer día de comer de la malla y de la plataforma. En todo grupo social hay animales que toman las iniciativas y basándose en las consecuencias pueden aprender, por ejemplo, sobre nuevos alimentos (Huffman, 2011). Hay diferencias de personalidad entre las ovejas respecto a la toma de decisiones frente a la novedad y el miedo, siendo unas más audaces y otras más tímidas (Wilson et al., 1994), en función de que las primeras asumen riesgos y las segundas no (Brick y Jacobsson, 2002). Miranda-de la Lama et al. (2019) matizan identificando cuatro perfiles de personalidad en ovejas (huidizo, afiliativo, agresivo y pragmático).

El porcentaje de reactivos y no-reativos entre la población puede determinar las decisiones de búsqueda de alimento de todo el grupo, en el que los individuos más audaces actúan como líderes (Michelena et al., 2009). Así la personalidad afecta a la capacidad de buscar alimento en los herbívoros, dado que los audaces tienden a aceptar más rápidamente nuevos alimentos y están más dispuestos a explorar nuevas localizaciones de alimentos que los tímidos (McArthur et al., 2014) y una vez un individuo ha aprendido un nuevo comportamiento puede extenderse en el grupo (Huffman, 2011). En este sentido, los corderos a los que se inicia en la lactancia artificial aprenden antes a beber de una tetina cuando están alojados junto a corderos experimentados (Veissier y Stefanova, 1993). En este trabajo es posible considerar a las ovejas lactantes y secas como las más audaces en el uso de las nuevas localizaciones de alimento, mientras que las ovejas gestantes serían las más tímidas o a las que más les cuesta optar por comer de la plataforma y de la malla. Es posible que esté más asociado al estado fisiológico en el primer día que a la personalidad individual de cada oveja. Se ve reforzado porque el comportamiento de cambiar de lado en el comedero es mayor en lactantes, como si estuvieran buscando comida todo el tiempo. El comportamiento animal es la manifestación de la fisiología interna y los animales a menudo ofrecen diferentes expresiones de comportamiento según su estado fisiológico (Flannigan y Stookey, 2002). Por otra parte, la actividad de comer en el comedero o en el suelo no se vio alterada por comer de la plataforma o de la malla, no cambiando con DO ni con EF, aunque el primer día las gestantes pasaron más tiempo comiendo en el comedero que los días posteriores.

En cuatro días las ovejas gestantes aumentaron ostensiblemente las veces y el tiempo en que comían heno de la plataforma y de la malla, y las secas aumentaron la frecuencia de comer de la plataforma. Este hecho puede

estar relacionado con que la prueba se realizó en un entorno familiar para las ovejas y con alimentos conocidos. Se ha demostrado que las ovejas son más reacias a aceptar nuevos alimentos cuando están en un entorno no familiar (Burritt y Provenza, 1997) y que cuando se alojan en nuevos emplazamientos y se les ofrecen nuevos alimentos, pueden experimentar miedo y estrés, reduciendo la productividad (Orihuela, 2021). Mientras los corderos pueden necesitar hasta 14 días para familiarizarse con un nuevo alimento (Burritt y Provenza, 1996), en esta experiencia se necesitó muy poco tiempo para que las ovejas utilizaran las nuevas localizaciones de alimento, debido a que contenían el heno al que están acostumbradas. Esto concuerda con Pedernera et al. (2022), quienes no encontraron diferencias en el consumo de nuevos alimentos mezclados con otro conocido entre corderos con y sin experiencia alojados en un entorno no-familiar, concluyendo que la presencia de señales de alimentos familiares puede contribuir a la reducción de la influencia de experiencias previas negativas en la ingesta de alimento en un entorno no-familiar. Además, un entorno enriquecido también puede estimular la transferencia de conocimiento intergeneracional en ovejas, donde las ovejas transfieren comportamientos de pastoreo, especialmente conocimiento de los nutrientes del pasto y palatabilidad, a los corderos (Sanga et al., 2011).

Comportamiento exploratorio y locomotor

El comportamiento exploratorio es una forma importante del ganado de obtener experiencia y mejorar su capacidad de adaptación al entorno (Mendl y Deag, 1995). Las ovejas gestantes y lactantes estuvieron menos veces y menos tiempo de pie observando a medida que pasan los días. Las ovejas lactantes en el D1 estuvieron más tiempo de pie, y más veces de pie en el D2 respecto a las secas. Li et al. (2023) observaron una mayor ex-

presión del comportamiento de permanecer de pie en ovejas lactantes y lo asociaron con un comportamiento que ayuda a la oveja a estar alerta para evitar interferencias externas y proporcionar una protección efectiva al cordero. Sin embargo, Atkinson et al. (2022) consideran que el carácter del comportamiento locomotor depende del contexto y no es generalizable, ya que puede incluir características como explorar-evitar, audacia-timidez y actividad general.

Las ovejas lactantes expresaron más veces el comportamiento caminando por el corral en el D1 de observación que las gestantes y secas, y en las primeras la frecuencia de este comportamiento se fue reduciendo a lo largo de los días. Aunque una mayor expresión del comportamiento de caminar por el corral suele estar asociado a una mayor expresión del comportamiento exploratorio en condiciones normales (Rice et al., 2016), en este estudio no tiene porqué asociarse al comportamiento exploratorio porque el enriquecimiento introducido es hacia donde las ovejas dirigen el comportamiento exploratorio. De hecho, las ovejas dedicaron más tiempo en conjunto a comer del comedero, de la malla y de la plataforma el último día (D4) que el D1, lo que concuerda con Fernandes (1996), que consideran que el éxito de un enriquecimiento nutricional puede medirse por el incremento del tiempo que los animales pasan obteniendo alimento.

Cuando la comida es diversa y abundante, la saciedad de un solo alimento estimula la exploración y selección de una dieta diversa y de otras fuentes de alimentos (Villalba y Provenza, 2007; Favreau et al., 2010). Mellor (2015) considera que los comportamientos de búsqueda de alimento y exploración están acompañados de efectos positivos basándose en la evidencia neurocientífica. En primer lugar, el procesamiento neurológico de estos comportamientos incluye neurotransmisores de

dopamina que comunican la señal de “recompensa” al cerebro del animal, dándole así una sensación de satisfacción, y en segundo lugar quedaría la parte afectiva. La valencia de las conductas exploratorias constituye gustos o deseos que deben cumplirse para alcanzar la saciedad, lo que motiva a las ovejas a interactuar con el medio ambiente (Mellor, 2015).

Interacciones sociales

El comportamiento afiliativo puede considerarse como un indicador de las experiencias positivas y de la cohesión del grupo en animales de granja (Boissy et al., 2007). Se cree que las agrupaciones de ovejas basadas en el sexo biológico (grupos de carneros o grupos de ovejas) impulsan cohesión social e interacción y esto también es claro en otros animales (Mendonça et al., 2021).

Los resultados obtenidos en este estudio reflejan que la frecuencia de la interacción social aumentó con los días de observación en las ovejas gestantes y secas. Según Weary et al. (2008), el enriquecimiento ambiental aumenta la sociabilidad debido a un incremento en las interacciones afiliativas. Así mismo Aguayo-Ulloa et al. (2015) encontraron que el enriquecimiento ambiental aumenta la proximidad entre corderos, con más comportamientos afiliativos. Estos autores concluyeron que el enriquecimiento ambiental produce un efecto positivo en corderos, porque enriquece el repertorio de comportamientos, con un incremento de las interacciones afiliativas, que mejoran la cohesión del grupo, con un efecto positivo en el bienestar de los corderos (Aguayo-Ulloa et al., 2014). Además, la socialización refuerza la eficiencia del aprendizaje y favorece el proceso en el que cada individuo no tenga porqué aprender por sí mismo mediante ensayo y error (Villalba et al., 2009) si no por imitación.

Conclusiones

El éxito del programa de enriquecimiento ambiental alimenticio probado varió en los grupos experimentales, aunque en general fue bien aceptado. Las ovejas lactantes hicieron uso inmediato del enriquecimiento, mientras que las gestantes tuvieron que aprender, y el éxito del procedimiento se reflejó en que al final de los cuatro días las ovejas aumentaron la frecuencia y el tiempo dedicado a comer en los diferentes sitios, unido al aumento de las interacciones sociales en gestantes y secas y a una disminución tanto de la frecuencia como del tiempo que estaban de pie. Se ha conseguido que las ovejas se mantengan ocupadas y distraídas, expresando durante más tiempo un repertorio de comportamientos naturales y, en consecuencia, mejorando su bienestar. Estos resultados avalan la necesidad de continuar con investigaciones sobre métodos de enriquecimiento para diversificar el comportamiento y reducir las desviaciones de este, y avanzar para mejorar el bienestar de las ovejas en estabulación permanente.

Referencias bibliográficas

- Aguayo-Ulloa L.A., Miranda-de la Lama G.C., Pascual-Alonso M., Olleta J.L., Villarroel M., Sañudo C., María G.A. (2014). Effect of enriched housing on welfare, production performance and meat quality in finishing lambs: The use of feeder ramps. *Meat Science* 97(1): 42-48. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2014.01.001>
- Aguayo-Ulloa L.A., Pascual-Alonso M., Villarroel M., Olleta J.L., Miranda-de la Lama G.C., María G.A. (2015). Effect of including double bunks and straw on behaviour, stress response production performance and meat quality in feedlot lambs. *Small Ruminant Research* 130: 236-245. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2015.06.016>
- Atkinson L., Doyle R.E., Woodward A., Jongman E.C. (2022). Behavioural reactivity testing in sheep indicates the presence of multiple temperament traits. *Behavioural Processes* 201: 1047111. <https://doi.org/10.1016/j.beproc.2022.104711>
- Arechavala-Lopez P., Cabrera-Álvarez M.J., Maia C.M., Saraiva J.L. (2021). Environmental enrichment in fish aquaculture: A review of fundamental and practical aspects. *Reviews in Aquaculture* 14: 704-728. <https://doi.org/10.1111/raq.12620>
- Boissy A., Manteuffel G., Jensen M.B., Moe R.O., Spruijt B., Keeling L.J., Winckler C., Forkman B., Dimitrov I., Langbein J., Bakken M., Veissier I., Aubert A. (2007). Assessment of positive emotions in animals to improve their welfare. *Physiology & Behavior* 92(3): 375-397. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2007.02.003>
- Brick O., Jakobsson S. (2002). Individual variation in risk taking: the effect of a predatory threat on fighting behavior in *Nannacara anomala*. *Behavioral Ecology* 13: 439-442. <https://doi.org/10.1093/beheco/13.4.439>
- Burritt E.A., Provenza F.D. (1996). Amount of experience and prior illness affect the acquisition and persistence of conditioned food aversions in lambs. *Applied Animal Behaviour Science* 48(1-2): 73-80. [https://doi.org/10.1016/0168-1591\(95\)01004-1](https://doi.org/10.1016/0168-1591(95)01004-1)
- Burritt E.A., Provenza F.D. (1997). Effect of an unfamiliar location on the consumption of novel and familiar foods by sheep. *Applied Animal Behaviour Science* 54(4): 317-325. [https://doi.org/10.1016/S0168-1591\(97\)00005-1](https://doi.org/10.1016/S0168-1591(97)00005-1)
- Duffrene J., Petit O., Thierry B., Nowak R., Dufour V. (2022). Both sheep and goats can solve inferential by exclusion tasks. *Animal Cognition* 25(6): 1631-1644. <https://doi.org/10.1007/s10071-022-01656-y>
- Favreau A., Baumont R., Duncan A., Ginane C. (2010). Sheep use preingestive cues as indicators of postingestive consequences to improve food learning. *Journal of Animal Science* 88: 1535-1544. <https://doi.org/10.2527/jas.2009-2455>
- Fernandes D. (1996). 35: Aspects of the ecology and psychology of feeding and foraging. En: *Wild mammals in captivity: principles and techniques* (Ed. Kleiman GD, Allen EM, Thompson VK, Lumpkin S), pp. 319-328. University of Chicago Press.

- Flannigan G., Stookey J.M. (2002). Day-time time budgets of pregnant mares housed in tie stalls: a comparison of draft versus light mares. *Applied Animal Behaviour Science* 78: 125-143. [https://doi.org/10.1016/S0168-1591\(02\)00085-0](https://doi.org/10.1016/S0168-1591(02)00085-0)
- Ginane C., Bonnet M., Baumont R., Revell D.K. (2015). Feeding behaviour in ruminants: A consequence of interactions between a reward system and the regulation of metabolic homeostasis. *Animal Production Science* 55: 247-260. <https://doi.org/10.1071/AN14481>
- Hauschildt V., Gerken M. (2015). Individual gregariousness predicts behavioural synchronization in a foraging herbivore, the sheep (*Ovis aries*). *Behavioural Processes* 113: 110-112. <https://doi.org/10.1016/j.beproc.2015.01.013>
- Houpt K.A. (2018). Communication. En: *Domestic animal behaviour for veterinarians and animal scientists 6th Ed.* pp5-21. John Wiley & Sons Inc.
- Huffman M.A. (2011). Primate self-medication. En: *Primates in perspective* (Ed. Campbell C., Fuentes A., MacKinnon K., Bearder S., Stumpf R.), pp 563-573. University of Oxford Press, Oxford.
- Hunter D.S., Hazel S.J., Kind K.L., Liu H., Marini D., Owens J.A., Pitcher J.B., Gatford K.L. (2015). Do I turn left or right? Effects of sex, age, experience and exit route on maze test performance in sheep. *Physiology and Behavior* 139: 244-253. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2014.11.037>
- Li F., Yang Y., Wang H., Pan Z., Wang Z., Lv S. (2023). Behavioral and physiological difference of small-tailed Han sheep at different estrus stage after delivery. *Journal of Veterinary Behavior* 60: 44-50. <https://doi.org/10.1016/j.jveb.2022.12.004>
- McArthur C., Banks P.B., Boonstra R., Forbey J.S. (2014). The dilemma of foraging herbivores: dealing with food and fear. *Oecologia* 176: 677-689. <https://doi.org/10.1007/s00442-014-3076-6>
- Mellor D.J. (2015). Positive animal welfare states and encouraging environment-focused and animal-to-animal interactive behaviours. *New Zealand Veterinary Journal* 63: 9-16. <https://doi.org/10.1080/00480169.2014.926800>
- Mendl M., Deag J.M. (1995). How useful are the concepts of alternative strategy and coping strategy in applied studies of social behaviour? *Applied Animal Behaviour Science* 44(2-4): 119-137. [https://doi.org/10.1016/0168-1591\(95\)00609-V](https://doi.org/10.1016/0168-1591(95)00609-V)
- Mendonça R.S., Pinto P., Inoue S., Ringhofer M., Godinho R., Hirata S. (2021). Social determinants of affiliation and cohesion in a population of feral horses. *Applied Animal Behaviour Science* 245: 105496. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2021.105496>
- Michelen P., Sibbald A.M., Erhard H.W., McLeod J.E. (2009). Effects of group size and personality on social foraging: the distribution of sheep across patches. *Behavioral Ecology* 20(1): 145-152. <https://doi.org/10.1093/beheco/arn126>
- Miranda-de la Lama G.C., Pascual-Alonso M., Aguayo-Ulloa L., Sepúlveda W.S., Villarroel M., María G.A. (2019). Social personality in sheep: Can social strategies predict individual differences in cognitive abilities, morphology features, and reproductive success?. *Journal of Veterinary Behavior* 31: 82-91. <https://doi.org/10.1016/j.jveb.2019.03.005>
- Nowak R. (1994). Mother location by newborn lambs in repetitive testing: Influence of first successful reunion. *Applied Animal Behavior Science* 41: 75-86. [https://doi.org/10.1016/0168-1591\(94\)90053-1](https://doi.org/10.1016/0168-1591(94)90053-1)
- Orihuela A. (2021). Management of livestock behavior to improve welfare and production. *Animal* 15: 100290. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2021.100290>
- Ostović M., Mesić Z., Mikuš T., Matković K., Pavičić Z. (2016). Attitudes of veterinary students in Croatia toward farm animal welfare. *Animal Welfare* 25: 21-28. <https://doi.org/10.7120/09627286.25.1.021>
- Pedernera M., Vulliez A., Villalba J.J. (2022). The influence of prior experience on food preference by sheep exposed to unfamiliar feeds and flavors. *Applied Animal Behaviour Science* 246: 105530. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2021.105530>
- Rice M., Jongman E.C., Butler K.L., Hemsworth P.H. (2016). Relationships between temperament, feeding behaviour, social interactions, and stress in lambs adapting to a feedlot environment. *Applied Animal Behaviour Science* 183: 42-50. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2016.07.006>

- Sanga U., Provenza F.D., Villalba J.J. (2011). Transmission of self-medicative behaviour from mother to offspring in sheep. *Animal Behaviour* 82: 219-227. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2011.04.016>
- Shepherdson D.J., Carlstead K., Mellen J.D., Seidensticker J. (1993). The influence of food presentation on the behavior of small cats confined environments. *Zoo Biology* 12: 203-216. <https://doi.org/10.1002/ZOO.1430120206>
- Van de Weerd H.A., Day J.E. (2009). A review of environmental enrichment for pigs housed in intensive housing systems. *Applied Animal Behaviour Science* 116(1): 1-20. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2008.08.001>
- Veissier I., Stefanova I. (1993). Learning to suckle from an artificial teat within groups of lambs: influence of a knowledgeable partner. *Behavioural processes* 30(1): 75-82. [https://doi.org/10.1016/0376-6357\(93\)90013-H](https://doi.org/10.1016/0376-6357(93)90013-H)
- Verbeek E., Waas J.R., McLeay L., Matthews L.R. (2011). Measurement of feeding motivation in sheep and the effects of food restriction. *Applied Animal Behaviour Science* 132(3-4): 121-130. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2011.03.014>
- Villalba J.J., Provenza F.D. (1997). Preference for flavored wheat straw by lambs conditioned with intraruminal infusions of acetate and propionate. *Journal of Animal Science* 75: 2905-2914. <https://doi.org/10.2527/1997.75112905x>
- Villalba J.J., Provenza F.D. (2007). Self-medication and homeostatic behaviour in herbivores: Learning about the benefits of nature's pharmacy. *Animal* 1: 1360-1370. <https://doi.org/10.1017/S1751731107000134>
- Villalba J.J., Manteca X., Provenza F.D. (2009). Relationship between reluctance to eat novel foods and open-field behavior in sheep. *Physiology & Behavior* 96(2): 276-281. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2008.10.010>
- Weary D.M., Jasper J., Hötzel M.J. (2008). Understanding weaning distress. *Applied Animal Behaviour Science* 110(1-2): 24-41. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2007.03.025>
- Wilson D.S., Clark A.B., Coleman K., Dearstyne T. (1994). Shyness and boldness in humans and other animals. *Trends in Ecology & Evolution* 9: 442-446. [https://doi.org/10.1016/0169-5347\(94\)90134-1](https://doi.org/10.1016/0169-5347(94)90134-1)

(Aceptado para publicación el 11 de julio de 2023)

Pradera de raigrás inglés-trébol blanco (*Lolium perenne-Trifolium repens*) en Asturias. III. Ingestión y valor lastre en vacuno lechero

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

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

Resumen

Durante ocho años se determinó la digestibilidad, balances en energía y nitrógeno en forraje verde de pradera de raigrás inglés y trébol blanco, así como de los ensilados de primer corte (en silo trinchera) y segundo corte (en rotopacas). La pradera era característica de la zona costera centro oriental de Asturias (Arco Atlántico). Los ensayos se realizaron sobre vacas frisonas con partos de invierno individualizadas en nave metabólica. En cada uno intervinieron seis animales en producción, con forraje a voluntad: dos como lote testigo con forraje como dieta única y cuatro suplementados con concentrado dos veces al día, con un total de siete suplementaciones distintas, a partir de tres concentrados diferentes y cuatro escalas de dosificación. Los datos recogidos permiten determinar la ingestibilidad relativa, el valor lastre en vacuno lechero y el nivel de sustitución forraje: concentrado. La ingestibilidad relativa (escala 0-1) del forraje verde resultó 0,87 en marzo y descendió hasta 0,71 en octubre ($p < 0,05$), mientras que en términos de unidades lastre leche/kg de materia seca, fueron 1,00-1,25, respectivamente ($p < 0,01$). Para los ensilados de primero y segundo cortes, las ingestibilidades relativas fueron respectivamente 0,70 y 0,82 y las unidades lastre leche 1,26 y 1,08 (no significativo). El nivel de sustitución resultó de 0,37, sin diferencias significativas entre concentrados. Se concluye que la pradera evaluada presenta buena capacidad de ingestión en vacuno lechero y bajo efecto sustitución, hecho que posibilita una adecuada respuesta a la suplementación con concentrado.

Palabras clave: Forraje, ingestibilidad relativa, valor lastre, nivel de sustitución.

Sown meadows of *Lolium perenne* and *Trifolium repens* in Asturias III. Ingestion and fill value in dairy cattle

Abstract

Digestibility, energy and nitrogen balances for eight years were determined in green forage of perennial ryegrass and white clover meadows, and in addition to first cut (in trench silo) and second cut (in big bales) silages. The temporary grassland was characteristic of the central coastal land of Asturias (Atlantic Area). The trials were carried out on individualized Frisian cows in metabolism stalls. Six production animals participated in each one with ad libitum forage. These animals were divided into three groupings according to

* Autor para correspondencia: broza@serida.org

Cita del artículo: de la Roza-Delgado B., Martínez-Fernández A., Modroño M.S., Argamentería A. (2023). Pradera de raigrás inglés-trébol blanco (*Lolium perenne-Trifolium repens*) en Asturias. III. Ingestión y valor lastre en vacuno lechero. ITEA-Información Técnica Económica Agraria 119(4): 357-369. <https://doi.org/10.12706/itea.2023.009>



management: two of them with forage as the only diet (control group) and four supplemented with concentrate (three different concentrates) twice a day, across the four dosing scales throughout the years. The relative ingestibility, fill units and substitution rate were determined. The relative ingestibility (scale 0-1) of green forage was 0.87 in March and decreased to 0.71 in October ($p < 0.05$), while in terms of fill units/kg dry matter, they results were 1.01-1.24, respectively. For first and second cut silages, the relative ingestibilities were 0.70 and 0.82, respectively, and the milk fill units were 1.26 and 1.08 (not significant). The substitution rate was 0.37, without significant differences between concentrates. Results from this study suggest that the evaluated temporary grassland has a very good potential for voluntary forage intake in dairy cattle, with an adequate response to supplementation with concentrate.

Keywords: Forage, relative ingestibility, fill value, substitution rate.

Introducción

La ingestión voluntaria de alimentos depende de multitud de factores, tanto en animales monogástricos como en rumiantes (Forbes, 2007), resultando en el caso de estos últimos de suma importancia para la producción de leche y carne en base a pasto. El éxito en la utilización de forraje de pradera para producción de leche en las zonas húmedas del Norte de España, pertenecientes al Arco Atlántico, depende de conseguir una suficiente ingestión de energía metabolizable por vaca y día, con un uso limitado de concentrado (Faverdin et al., 2018a,b), que se ve afectada por numerosos factores, entre los que destacan el tipo de animal, forraje y concentrado, debiendo tener en cuenta su interacción. En este sentido, algunos autores indican que, para abordar el contexto en su conjunto, se precisa la colaboración de varias disciplinas científicas: nutrición animal, pratericultura, pascicultura y etología (Ferrer et al., 2001), simplificando al máximo posible, dado que no hay muchos procesos con tan alto grado de complejidad.

Las praderas utilizadas en el presente trabajo, en régimen de pastoreo, presentan una mayor velocidad de crecimiento frente a los prados, lo cual se traduce en un mayor número de aprovechamientos y una mayor utilización. En el caso de realizar uno o dos cortes para ensilar, se reduce el número total de

aprovechamientos, pero aumentan la velocidad de crecimiento y la utilización de la hierba (Martínez-Fernández et al., 2008). Estos autores indican que sus resultados presentan buena concordancia con los de otros ensayos realizados sobre pequeña parcela en zonas húmedas del Norte de España y, en cuanto a su contenido en principios nutritivos, se aprecia un claro embastecimiento del pasto en oferta durante el verano y posterior recuperación en otoño. Además, el hecho de realizar cortes para ensilar temprano y/o tardío no evita el proceso de embastecimiento.

Trabajos previos llevados a cabo sobre las mismas praderas de este estudio (de la Roza-Delgado et al., 2022a,b), mediante balances nutricionales sobre vacas lecheras individualizadas en nave metabólica, determinaron la digestibilidad y el balance energético de la hierba de pradera como dieta única o con suplementación de diferentes modalidades y dosis de concentrado. Dado que en estos trabajos el forraje era ingerido a voluntad, y se dispone de los datos necesarios, el objetivo del actual fue evaluar y discutir diferentes aspectos nutricionales sobre la ingestibilidad y nivel de sustitución forraje: concentrado en vacuno lechero, empleando forraje verde de pradera de raigrás inglés y trébol blanco, así como de los ensilados de primer corte (en silo trinchera) y de segundo corte (en rotopacas).

Material y métodos

Finca experimental, rebaño e instalaciones

Se utilizaron 24 ha de praderas de *Lolium perenne* L. (raigrás inglés, variedades de precocidad diferente) y *Trifolium repens* L. (trébol blanco cv. Huia) ubicadas en la finca de la Unidad de Producción de Leche del Servicio Regional de Investigación y Desarrollo Agrolimentario del Principado de Asturias (43°28'50"N, 5°26'27"W, 10 m s.n.m.), colindantes entre sí, que disponían de bebederos de nivel y que fueron divididas mediante cerca eléctrica en 18 parcelas con una superficie comprendida entre 0,8 y 1,9 ha. Fueron aprovechadas en pastoreo rotacional por vacas frisonas multíparas, con alturas de entrada y salida de pasto de 14,50-23,50 cm y 5,13-9,90 cm, respectivamente. El tiempo de ocupación por parcela osciló de 0,5 a 15 días. La fertilización fosfopotásica se efectuó de acuerdo con los resultados del análisis del suelo y la nitrogenada consistió en 30 kg/ha

de N como urea en invierno y tras cada aprovechamiento en pastoreo, salvo situación de sequía, encharcamiento, finales de otoño o exceso de pasto en oferta. Diez de dichas parcelas eran mecanizables y, en primavera, se excluían de la rotación de pastoreo y tras un aporte de 100 kg/ha de N recibían un primer corte a ensilar a las 6-7 semanas de crecimiento. Tras el primer corte se aportaron 80 kg/ha de N y tras 5-6 semanas de crecimiento se realizó un segundo corte a ensilar (Martínez-Fernández *et al.*, 2008). El concentrado (véanse detalles más adelante), se dosificaba en el patio de ejercicio, de forma individual y previa al ordeño, llevado a cabo en seis plazas en paralelo. Las instalaciones disponían de parque de maquinaria, estercolero y silos trinchera. Para la realización de los ensayos se utilizó una nave metabólica para vacuno lechero con nueve plazas de adaptación y seis para recolección de heces, orina y leche (Figura 1), instalación que constituyó el eje principal del presente trabajo.



Figura 1. Nave metabólica para vacuno lechero con plazas de adaptación y seis para recolección de heces, orina y leche.

Figure 1. Installation of a metabolic shed for dairy cattle with adaptation stalls and six for feces, urine and milk collection tests.

Diseño experimental

Durante ocho años sucesivos (1991-1998), aproximadamente cada trimestre se seleccionaban los animales para la realización de los ensayos, que provenían del rebaño de vacas lecheras del SERIDA, en régimen de pastoreo rotacional sobre pradera de raigrás inglés y trébol blanco y se individualizaban en plazas metabólicas para control individual de ofertas y rechazos de forraje y dosis de concentrado. Se excluyeron novillas de primer parto, animales que aún no hubiesen alcanzado el máximo de producción o estuvieran muy próximos al parto, aquellos cuyo historial revelase propensión a mamitis o estrés ante el confinamiento, o, que ya hubieran sido seleccionados previamente para ensayos en la nave metabólica en ese mismo año. En cada ensayo intervinieron seis vacas, dos de ellas con forraje a voluntad como dieta única. Se establecieron diez categorías de forraje: hierba verde de marzo, abril, mayo, primera quincena de junio (junio 1), segunda quincena de junio y julio (junio 2), agosto, octubre, noviembre, ensilado trinchera de primer corte y ensilado de rotopacas de segundo corte. La suplementación tuvo lugar mediante combinación de tres diferentes concentrados (B1, B2 y B) × cuatro diferentes escalas E1, E2, E3 y E4. El concentrado B1 consistía en una mezcla simple de 75 % cebada + 25 % harina de pescado y 50 g/vaca-día de microcorrector vitamínico-mineral. El B2, 85 % cebada + 12,5 % harina de pescado + 2,5 % corrector. El B, 24,25 % trigo, 24,25 % pulpa de remolacha, 39 % gluten de maíz, 5,5 % melaza, 2,5 % pulpa de cítricos, 2 % tercerilla y 2 % corrector. Las escalas de suplementación (kg concentrado/vaca-día) fueron las siguientes: E1: 9,5-0 kg según producción de leche; E2: 5-0 kg; E3: 2 kg en primavera y 5 kg el resto del año y E4: 5 kg durante toda la lactación. Las combinaciones fueron B1 × E1, B1 × E2, B2 × todas las escalas y B × E4 (de la Roza-Delgado et al. (2022a).

Se registró la ingestión voluntaria de materia seca (MS) de forraje (If), así como el peso vivo, utilizando una báscula de 1.000±0,1 kg, con dos pesadas en días sucesivos al principio y al final de cada periodo experimental; la condición corporal (escala 1-5) según García-Paloma (1990) y la semana de lactación correspondiente a cada vaca durante el ensayo.

En cada parcela aprovechada en pastoreo por el rebaño de vacuno lechero, se excluyó mediante cerca eléctrica una superficie proporcional al número de vacas alojadas en la nave metabólica, en la cual se segaban franjas diarias, mediante barra de corte de 1,50 m a 5-6 cm de altura sobre el suelo. Se tomó una muestra diaria para análisis de la oferta y rechazos de ese forraje segado y del concentrado utilizado. El proceso de la toma de muestras y las analíticas realizadas fue realizado de acuerdo con de la Roza-Delgado et al. (2022a). Las variables dependientes finales para el presente trabajo, fueron la If y la ingestión total $I_t = I_f +$ ingestión de concentrado (I_c), expresadas en kg MS/vaca-día, en % del peso vivo de la vaca, o, en g MS/kg peso vivo^{0,75}.

Análisis estadístico

Se utilizó la aplicación informática R de libre acceso (R Core Team, 2013), y, por falta de homogeneidad de varianza, se empleó la estadística robusta (Wilcox, 2017).

Como paso previo, mediante el paquete estadístico WRS2, procedimiento ancova, se determinó si había diferencias significativas en la I_t para las tres diferentes categorías de concentrado (B1, B2, B), frente a no suplementación ($I_c = 0$ kg MS/vaca-día), aplicando un análisis de covarianza no paramétrico según modelo:

$$I_t = I_c + \text{Categoría de concentrado} + \text{Error}$$

I_t e I_c , en kg MS/vaca-día. Categoría de concentrado = Efecto fijo de este sobre la línea de regresión. Se contrastó si, para niveles

prefijados de I_c , los correspondientes valores I_t difieren significativamente según categorías de concentrado.

Esta modalidad de análisis sólo permite contrastar dos niveles de efecto fijo a la vez, por tanto, se efectuó en primer lugar un análisis para los concentrados B1 vs. B2, tras lo cual se realizó el análisis para los concentrados B2 vs. B.

Las ingestibilidades relativas de los forrajes y los niveles de sustitución de los concentrados, se obtuvieron mediante regresión robusta (paquete estadístico MASS, procedimiento rlm), con ajuste de un modelo lineal múltiple, donde:

$$I_t = I_{\max} \times ir \times pv \times fn + (1 - s) \times I_c + \text{Error, con intercept} = 0. \quad [1]$$

Donde I_t e I_c van expresadas en % del peso vivo medio de la vaca

I_{\max} = Ingestión máxima de forraje de ingestibilidad relativa 1, en % del peso vivo medio de la vaca

ir = Ingestibilidad relativa del forraje evaluado (intervalo 0-1)

pv = Peso vivo medio de la vaca en centenas de kg

fn = Factor dependiente de la semana de lactación n correspondiente al periodo experimental, según el modelo de Vadiveloo y Holmes (1979):

$$fn = 0,67 + (4,0401 \times \log n - 0,095 \times n + 0,095) \times 0,0972 \quad [2]$$

$pv \times fn$ se sintetizó en una misma variable independiente, producto de las dos, denominada $pvfn$

$I_{\max} \times ir$ se determinó como un único coeficiente de regresión. Según el modelo Camdairy de Hulme et al. (1986), a I_{\max} pueden asignársele los valores 2,97-3,08-3,19-3,29 % del peso vivo. Es posible adoptar un valor concreto de I_{\max} que permita que todos los resultados de ir queden comprendidos dentro

del intervalo 0-1. En este trabajo se adoptó el valor $I_{\max} = 3,29$ (redondeado a 3,30) y la ingestibilidad relativa de cada forraje dentro del intervalo 0-1, se calculó como $ir = \text{Ingestión observada para el mismo} / 3,30$.

El valor del segundo coeficiente de regresión, $(1 - s)$, permite obtener el nivel de sustitución s .

Los resultados obtenidos posibilitan el cálculo directo del valor lastre de cada categoría de forraje en unidades lastre leche (ULL/kg MS). Expresada I_f en g MS/kg peso vivo^{0,75}, según Faverdin et al. (2018a), $ULL/kg MS = 140 / (I_f \times fn)$.

Los valores de ir y ULL/kg MS, se sometieron a análisis de varianza robusto (paquete estadístico WRS2, procedimiento t1way), seguido de los contrastes lineales entre categorías de forraje.

Se determinó la relación existente entre ir (ingestibilidad relativa del forraje evaluado) y composición química. Como paso inicial al análisis de regresión, se obtuvo la matriz de coeficientes de correlación robustos y los correspondientes niveles de significación (paquete estadístico WRS2, procedimiento pball). Según resultados, se seleccionó la variable regresora y el procedimiento a seguir a continuación.

Resultados

Parámetros iniciales a utilizar en las estimaciones de ingestibilidad de forrajes y nivel de sustitución forraje:concentrado

En la Tabla 1 se presentan los resultados de ingestibilidad relativa (ir) y unidades lastre en vacuno lechero (ULL/kg MS) de los forrajes evaluados. Los intervalos de variación son muy amplios: ir entre 0,70 y 0,87 para ensilado de primer corte y hierba de marzo, respectivamente y ULL/kg MS entre 1,00 para hierba de marzo y 1,25 para hierba de octu-

Tabla 1. Estadística descriptiva de los parámetros iniciales a utilizar en las estimaciones de ingestibilidad de forrajes y nivel de sustitución forraje:concentrado.

Table 1. Descriptive statistics of the initial parameters to be used in the estimations of forage ingestibility and forage:concentrate substitution rate.

Parámetro	SemLact	fn	PV	If	Ic	It
Mínimo	-9,00	0,6700	378,3	6,58	0,00	6,58
Primer cuartil	9,00	0,9390	488,9	10,55	0,00	11,85
Mediana	21,00	0,9634	531,7	11,93	1,76	14,40
Media	21,84	0,9548	529,5	11,96	2,10	14,06
Tercer cuartil	35,00	1,0016	564,0	13,60	4,44	15,88
Máximo	48,00	1,0060	690,0	17,46	8,13	21,35

SemLact = Semana de lactación de la vaca; fn = factor de evolución de la capacidad de ingestión según semana de lactación; PV = Peso vivo de la vaca; If = Ingestión voluntaria de forraje en kg materia seca/vaca/día; Ic = Ingestión de concentrado en kg materia seca/vaca/día; It = Ingestión total en kg materia seca/vaca/día.

bre y noviembre, respectivamente, por lo que recogen todas las situaciones previstas en el diseño experimental. Los valores correspondientes a las semanas de lactación de las vacas (SemLact) negativos, se refieren a las semanas transcurridas desde el secado para las vacas secas gestantes.

Efecto de la naturaleza del concentrado

De acuerdo con el análisis de covarianza, los resultados muestran que para concentrado B1 vs. B2, con valores prefijados Ic = 2 – 3,5 – 4 – 5 kg MS/vaca·día, resultó siempre $p > 0,48$. Para concentrado B2 vs. B, con valores prefijados Ic = 4 – 4,5 – 5 kg MS/vaca·día, resultó siempre $p > 0,92$.

Ingestibilidad relativa de los forrajes y nivel de sustitución de los concentrados

Como no hubo efecto significativo de la modalidad de concentrado, pudo realizarse un análisis conjunto, sin necesidad de indivi-

dualizar para cada uno, alcanzándose el criterio de convergencia con 5 iteraciones y una escala estimada de $\pm 2,65$ kg MS/vaca·día.

El valor del coeficiente de regresión $I_{max} \times ir$, resultó 2,50 % del peso vivo de la vaca. Si aceptamos para el modelo de Hulme *et al.* (1986) $I_{max} = 3,29$ % del peso vivo (redondeado a 3,3), resulta como promedio general $ir = 2,50/3,3 = 0,76$, y, todos los resultados individuales quedan dentro del intervalo 0-1, tal como se pretendía.

Como se puede observar, la Tabla 2 presenta los valores para *ir* y los correspondientes valores lastre para cada una de las diez categorías de forrajes evaluados para vacuno lechero, es decir para los forrajes verdes y sus ensilados. Al inicio de la primavera, *ir* es máxima y, decae hasta un mínimo alcanzado en octubre, siendo la evolución del valor lastre inversa a la de *ir*. Es decir, máximo en octubre y noviembre y mínima en marzo.

Las diferencias entre los resultados obtenidos para las categorías de forraje y sus ensilados

Tabla 2. Ingestibilidad relativa (ir) y unidades lastre en vacuno lechero (ULL/ kg MS) de los forrajes evaluados.

Table 2. Relative ingestibility (ir) and fill units in dairy cattle (ULL/ kg DM) of the evaluated forages.

Forraje	ir	ULL/kg MS
Hierba verde		
Marzo	0,87 ± 0,022 b	1,00 ± 0,026 a
Abril	0,84 ± 0,018 b	1,02 ± 0,017 a
Mayo	0,82 ± 0,027 ab	1,05 ± 0,031 ab
Junio1	0,75 ± 0,031 ab	1,15 ± 0,044 ab
Junio2	0,78 ± 0,026 ab	1,14 ± 0,035 ab
Agosto	0,75 ± 0,031 ab	1,13 ± 0,044 ab
Octubre	0,71 ± 0,024 a	1,25 ± 0,042 b
Noviembre	0,74 ± 0,034 ab	1,25 ± 0,061 ab
Ensilado de hierba		
HOR(1C)	0,70 ± 0,017 a	1,23 ± 0,029 b
ROT(2C)	0,82 ± 0,040 ab	1,08 ± 0,061 ab

ULL: Unidades lastre leche. MS: Materia seca; Junio1: Inicio de la experiencia antes del 15 de junio; Junio 2: Inicio de la experiencia después del 16 de junio; HOR(1C): ensilado horizontal primer corte; ROT(2C): ensilado en rotopacas segundo corte; a, b: Valores acompañados de distinta letra en la misma columna difieren a $p \leq 0,05$.

para ir y valor lastre, no resultaron estadísticamente significativas, observándose que el forraje verde de primavera temprana tiene mayor ir (o menor ULL) que el forraje verde de octubre y que el ensilado horizontal. Entre ambos ensilados no hay diferencias significativas.

Nivel de sustitución forraje: concentrado

El coeficiente de regresión ($1 - s$), resultó igual a 0,63. Por tanto, el nivel de sustitución forraje: concentrado es $1 - 0,63 = 0,37$.

Relación entre ingestibilidad relativa y composición química

En la Tabla 3, se presenta la matriz de coeficientes de correlación robustos entre los valores para la ingestibilidad relativa (ir) y los diversos principios nutritivos, así como sus niveles de significación. La ir está correlacionada significativamente con el contenido en cenizas, fibra neutro detergente con y sin cenizas (FND y FNDLC) y digestibilidad enzimática de la materia orgánica (DEMO). La ir presenta los coeficientes más altos con FND

Tabla 3. Matriz de coeficientes de correlación robustos entre ingestibilidad relativa (ir) y los principios nutritivos.
 Table 3. Robust correlation coefficients matrix between relative ingestibility (ir) and nutritional principles.

ir	MS	Cenizas	PB	FND	FNDLC	DEMO	EB
ir	1						
MS	-0,13	ns					
Cenizas	-0,38	***					
PB	0,09	0,09	ns				
FND	-0,40	0,47	***	1			
FNDLC	-0,39	0,50	***	0,99	1		
DEMO	0,41	-0,50	***	-0,85	-0,82	1	
EB	0,04	0,14	ns	-0,19	-0,20	0,06	1

MS = Materia seca (MS); PB = Proteína bruta (%MS); FND = Fibra neutro detergente (%MS); FNDLC = Id. Libre de cenizas (%MS); DEMO = Digestibilidad neutro detergente-celulosa de la materia orgánica (%); EB = Energía bruta (MJ/kgMS).

y DEMO, siendo mayor con esta última, por lo que fue la variable que se seleccionó para análisis de regresión paramétrica. Los resultados de la regresión entre ir y DEMO de los valores medidos vs. valores ajustados, están representados en la Figura 2. Al no observarse una relación lineal, se optó por un modelo no paramétrico aplicando función de suavizado (paquete estadístico WRS2, procedimiento pbrunbo), resultando tres tramos de ir ajustada. Los resultados están representados en la Figura 3. Se puede observar que el tramo intermedio presenta una evolución lineal creciente, que se puede definir mediante una recta de regresión, calculable mediante estadística paramétrica, obteniendo un coeficiente de determinación que indica un óptimo ajuste ($R^2 = 0,996$).

Discusión

Ingestibilidades relativas y valores lastre de los forrajes

Según Hulme et al. (1986), a menor condición corporal de las vacas, mayor valor lmax. Dado que los valores de condición corporal del rebaño experimental de vacuno lechero en pastoreo eran bajos, resulta lógica la adopción de lmax = 3,30 % del peso vivo para el cálculo de los valores ir.

No obstante, ese hecho no basta para modelizar la ingestión voluntaria de materia seca. Se debe tener en cuenta la influencia negativa que en la ingesta tiene el exceso en humedad del forraje. Según Mahanna (1994) la MS ingerida podría reducirse en un 0,02 % del PV del animal por unidad porcentual que se incremente la humedad de la ración total a partir del 50 %. Flores-Calvete (2004) expuso que en base a esa relación una vaca de 600 kg que consuma el 2,2 % de su PV de un ensilado de hierba con un 30 % de MS y 8 kg de MS de concentrado, reduciría en un 2,5 kg

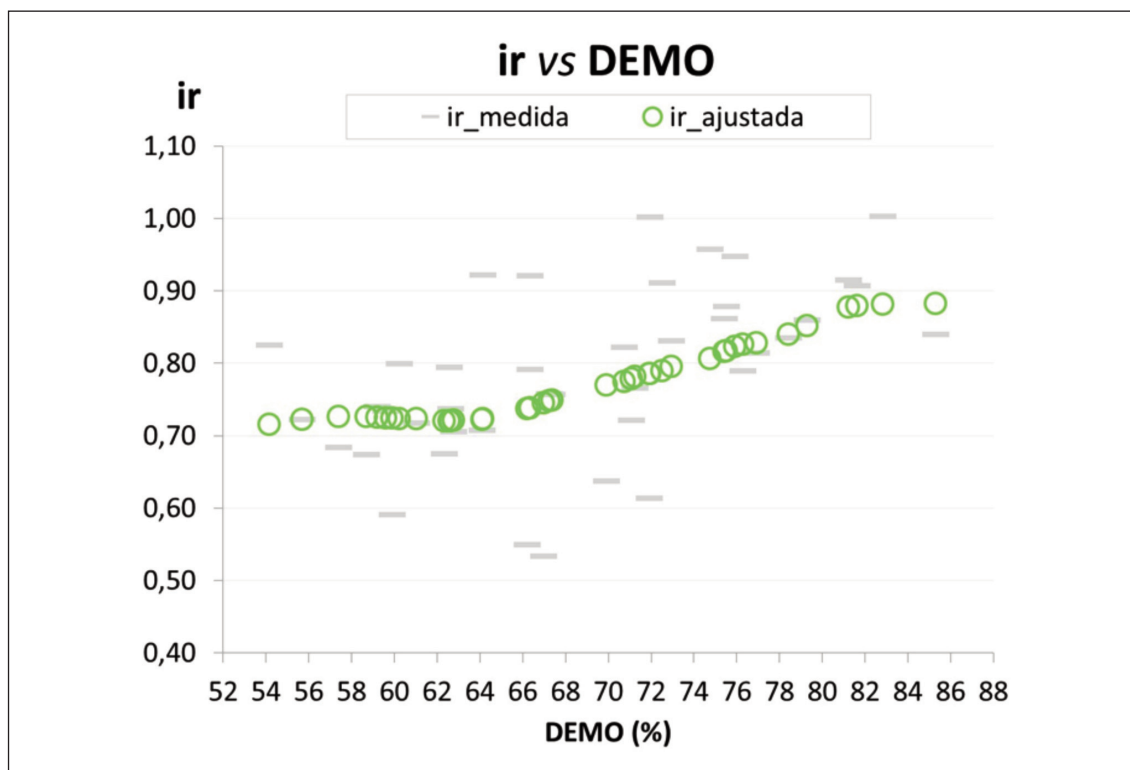


Figura 2. Regresión no paramétrica entre ingestibilidad relativa (*ir*) y digestibilidad enzimática neutro detergente celulasa de la materia orgánica (DEMO, %): valores medidos vs. valores ajustados.

Figure 2. Non parametric regression between relative ingestibility (*ir*) and neutral detergent cellulase organic matter digestibility (DEMO, %): measured values vs. adjusted values.

MS el consumo diario de forraje si se sustituyera ese ensilado por otro con el 15 % de MS, aunque el nivel y tipo de suplementación puede modificar las relaciones anteriores.

En cuanto al valor lastre (ULL/kg MS), en las Tablas INRA (Baumont *et al.*, 2018a), para la pradera de Normandía (códigos INRA FV0010 a FV0140), figuran valores entre 0,90-1,20. Para variedades precoces y tardías de raigrás inglés (código INRA FV0550 a FV0910), el intervalo es 0,95-1,20. Los resultados obtenidos en este trabajo fueron ligeramente superiores, pero el grado de coincidencia se puede considerar aceptable.

En cuanto a ensilados (FE0010 a FE0560 para la pradera de Normandía y FE1720 a FE28010 para el raigrás inglés), el intervalo de variación es 1,07-1,28. Los resultados obtenidos se sitúan dentro del mismo intervalo.

En un trabajo previo de la Roza-Delgado *et al.* (2007) sobre ovino, se observó menor ingestibilidad de los ensilados de rotopacas y de los forrajes de primer corte en general, hecho que no concuerda con los resultados actuales sobre vacuno lechero en producción. En este sentido, es preciso tener en cuenta el diferente comportamiento entre ovino y vacuno lechero en cuanto a ingestibilidad, que

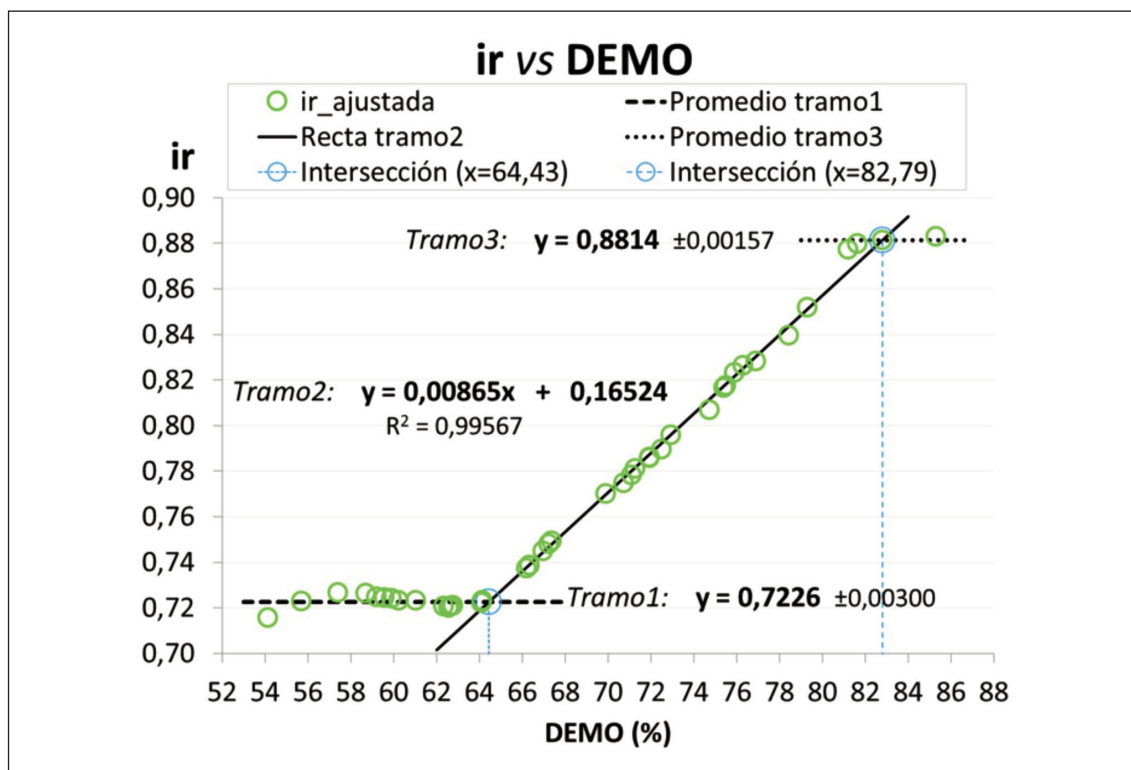


Figura 3. Regresión no paramétrica entre la ingestibilidad relativa (ir) y digestibilidad enzimática neutro detergente celulasa de la materia orgánica (DEMO, %).

Figure 3. Parametric regression between relative ingestibility (ir) and neutral detergent cellulase organic matter digestibility (DEMO, %).

obligó a establecer distintas unidades de medida para las dos especies (Faverdin *et al.*, 2018a). Pero, aplicando a estos resultados la relación entre ULL y ULO obtenida por Faverdin *et al.* (2018a), se observa que, a medida que se reduce la ingestibilidad, hay mayor diferencia entre los valores de ULL y ULO. Es decir, existe una tendencia hacia lo observado previamente en ovino. Además, los valores ULO estimados a partir de los ULL obtenidos, se sitúan dentro del intervalo 1,00-1,82, como ocurrió en los mencionados ensayos con ovino.

Flores-Calvete (2004) en un trabajo sobre valoración nutritiva de ensilados de hierba en explotaciones lecheras de Galicia, reporta va-

lores ULO con una media general de 1,83 dentro de un rango muy amplio (1,25-4,83). Los resultados de este trabajo para ULO, se encuentran dentro del mismo rango.

Respuestas ante la suplementación con concentrados

El nivel de sustitución forraje: concentrado logrado en el presente trabajo resulta inferior al que sería de esperar según Hulme *et al.* (1986), conforme a su modelo de nivel de sustitución estándar \times factor relativo de sustitución. Pero, concuerda con el obtenido por Meijs y Hoekstra (1984) para altos valores de

hierba en oferta por vaca y día. El hecho de que no presente diferencias entre los concentrados amiláceos y el rico en fibra de alta digestibilidad permite que coincida con las conclusiones de dichos autores (Meijs y Hoekstra, 1986), aunque discrepa de las de Sayers et al. (2003). Ello puede atribuirse a que, el concentrado B, aún con mayoría de subproductos y mayor contenido en fibra, incluye materias primas que son fuente de almidón (trigo, gluten de maíz y tercerilla).

Según Favardin et al. (2018b), valor lastre del concentrado (VLc) = Valor lastre del forraje (VLf) \times s. De acuerdo con los resultados de este trabajo, los VLc estarían comprendidos entre 0,37 y 0,66. Los valores lastre basales de los tres concentrados B1, B2 y B, según Baumont et al. (2018b), tendrían promedios respectivos de 0,28; 0,29 y 0,31. Esos valores de referencia son compatibles con s = 0,37.

Un nivel de sustitución de 0,37 se puede considerar bajo, lo cual, unido al mayor contenido en energía metabolizable de los concentrados, justifica las respuestas positivas en la ingestión de energía metabolizable y en el nivel de alimentación observadas en los balances nutricionales previos al presente trabajo (de la Roza-Delgado et al., 2022b).

Estimación de ingestibilidad relativa en función de la digestibilidad neutro detergente-celulasa de la materia orgánica

Según Chalupa et al. (1996), el contenido en FND influye sobre el llenado del rumen, afectando a la ingestión voluntaria. En ese mismo contexto, parece lógico que la solubilidad con celulasa de la FND tenga un efecto sobre el llenado ruminal, siendo razonable que, el contenido en FND no solubilizada por la celulasa, tenga una influencia aún mayor. Por tanto, la determinación de la DEMO puede conducir, pues, a una estimación tanto de la digestibilidad *in vivo* como de la ingestibilidad relativa de los forrajes.

Conclusiones

El valor lastre de la pradera de *Lolium perenne* y *Trifolium repens* evaluada, aunque obtuvo un valor ligeramente superior al de otras praderas del Arco Atlántico, presenta el menor ULL en el forraje verde de primavera temprana.

Con respecto a los concentrados y escalas de suplementación empleadas, el nivel de sustitución forraje: concentrado resultó bajo y acorde con la bibliografía.

Los resultados de este trabajo parecen mostrar buenas posibilidades para producción de leche en base a pradera con un uso moderado de concentrados, facilitando que puedan expresarse ambos efectos positivos de buena ingestibilidad y bajo nivel de sustitución, con un adecuado manejo de la pradera, que permita una elevada oferta de pasto por vaca y día.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA) la financiación de los proyectos que permitieron la realización de gran parte de los trabajos experimentales recogidos en la presente publicación. Además, agradecen a la Universidad de Córdoba el interés demostrado en los datos obtenidos, que fueron incluidos en su Servicio de Información sobre Alimentos (SIA). Al personal del SERIDA, Alfonso Carballal Samalea, la labor informática que llevó a cabo, a José Bodelo Parceros, a María Antonia Cueto Ardavín, a todo el personal de campo de la Unidad de Producción de Leche y Nave Metabólica y al del Laboratorio de Nutrición Animal, la ejecución de las labores agroganaderas, de funcionamiento de la nave metabólica y de análisis de muestras. Finalmente, los autores agradecen al Grupo de Investigación consolidado NYSA (PCTI IDI2 021-000102) cofinanciados con Fondos FEDER su colaboración.

Referencias bibliográficas

- Baumont R., Tran G., Chapoutot P., Maxin G., Sauviant D., Heuzé V., Lemosquet S., Lamadon A. (2018a). Chapitre 25: Tables INRA de la valeur des aliments utilisés en France. En: INRA (2018). Alimentation des ruminants. Ed Quae, Versailles Cedex. France. pp. 521-616.
- Baumont R., Sauviant D., Maxin G., Chapoutot P., Tran G., Boudon A., Lemosquet S., Nozière P. (2018b). Chapitre 24: Calcul de la valeur des aliments pour les ruminants: tables et équations de prévision. En: INRA (2018). Alimentation des ruminants. Ed Quae, Versailles Cedex. France. pp. 487-520.
- Chalupa W., Galligan D.T., Ferguson J.D. (1996). Animal nutrition in the XXI century. *Animal Feed Science and Technology* 58: 1-18. [http://doi.org/10.1016/0377-8401\(95\)00869-1](http://doi.org/10.1016/0377-8401(95)00869-1)
- Faverdin P., Delagarde R., Lemosquet S., Boudon A., Delaby L. (2018a). Chapitre 17. Vaches laitières. En: INRA (2018). Alimentation des ruminants. (Ed Quae, Versailles Cedex), pp. 273-314. France.
- Faverdin P., Baumont R., Boval M., Agabriel J., Delagarde R. (2018b). Chapitre 2. Ingestion des aliments. En: INRA (2018b). Alimentation des ruminants. (Ed Quae, Versailles Cedex), pp. 33-46. France.
- Ferrer C., San Miguel A., Olea L. (2001). Nomenclator básico de pastos de España. *Pastos* 29: 7-44.
- Flores-Calvete G. (2004). Factores que afectan a la calidad del ensilaje de hierba y a la planta de maíz forrajero en Galicia y evaluación de métodos de laboratorio para la predicción de la digestibilidad *in vivo* de la materia orgánica de estos forrajes ensilados. Tesis Doctoral. E.T.S.I. Agrónomos, Universidad Politécnica de Madrid.
- Forbes J.M. (2007). Voluntary food intake and diet selection in farm animals. Second edition. Ed. CABI, Head Office, Wallingford, Oxfordshire, United Kingdom. 453 pp.
- García-Paloma J.A. (1990). El método de la condición corporal en vacuno lechero: propuesta de una metodología unificadora. *Investigación Agraria. Producción y Sanidad Animal* 5: 121-130.
- Hulme D.J., Kellaway R.C., Booth P.J., Bennett L. (1986). The CAMDAIRY model for formulating and analysing dairy cow rations. *Agricultural Systems* 22: 81-108. [http://doi.org/10.1016/0308-521X\(86\)90054-5](http://doi.org/10.1016/0308-521X(86)90054-5)
- Martínez-Fernández A., de la Roza-Delgado B., Modroño S., Argamentería A. (2008). Producción y contenido en principios nutritivos de prados, praderas y de la rotación raigrás italiano-maíz en la rasa marítima centro-oriental de Asturias. *Pastos* 38(2): 187-224.
- Mahanna B. (1994). Proper management assures high-quality silage, grains. *Feedstuffs* 10: 12-56.
- Meijs J.A.C., Hoekstra J.A. (1984). Concentrate supplementation of grazing dairy cows. 1. Effect of concentrate intake and herbage allowance on herbage intake. *Grass and Forage Science* 39: 59-66. <http://doi.org/10.1111/j.1365-2494.1984.tb01665.x>
- Meijs J.A.C., Hoekstra J.A. (1986). Concentrate supplementation of grazing dairy cows. 2. Effect of concentrate composition on herbage intake and milk production. *Grass and Forage Science* 41: 229-235. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2494.1986.tb01808.x>
- R Core Team (2013). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL: <http://www.R-project.org/>
- de la Roza-Delgado B., Argamentería A., Martínez-Fernández A. (2007). Ingestión voluntaria y digestibilidad de forraje verde de raigrás inglés, raigrás híbrido y trébol blanco ensilado bajo forma de rotopacas o en silos horizontales. *Pastos* 37(2): 203-227.
- de la Roza-Delgado B., Martínez-Fernández A., Modroño M.S., Argamentería A. (2022a). Pradera de *Lolium perenne* y *Trifolium repens* en Asturias. I. Evolución de la composición química y de la digestibilidad *in vivo* sobre vacas frisonas a lo largo del año. *ITEA-Información Técnica Económica Agraria* 118(1): 48-68. <https://doi.org/10.12706/itea.2021.013>
- de la Roza-Delgado B., Martínez-Fernández A., Modroño M.S., Argamentería A. (2022b). Pradera de *Lolium perenne* y *Trifolium repens* en

- Asturias. II. Balances nutricionales sobre vacas frisonas en producción a lo largo del año. ITEA- Información Técnica Económica Agraria. 118(4): 530-546. <https://doi.org/10.12706/itea.2021.039>
- Sayers H.J., Mayne C.S., Bartram C.J. (2003). The effect of level and type of supplement offered to grazing dairy cows on herbage intake, animal performance and rumen fermentation characteristics. *Animal Science* 76: 439-454. <http://dx.doi.org/10.1017/S1357729800058653>
- Vadiveloo J., Holmes W. (1979). The prediction of the voluntary feed intake of dairy cows. *Journal of Agricultural Science* 93: 553-562. <http://dx.doi.org/10.1017/S0021859600038958>
- Wilcox R.R. (2017). *Introduction to Robust Estimation & Hypothesis Testing*. 4th edition. Elsevier. Amsterdam. The Netherlands. 608 pp.

(Aceptado para publicación el 28 de julio de 2023)

Impacto del tipo genético y el sexo sobre parámetros productivos y el contenido en grasa intramuscular, así como el consumo de antioxidantes sobre la oxidación de la carne en cerdo ibérico (50 %) de “Cebo de Campo”

Guillermo Usero-Alonso^{3,*}, Francisco Gil-Rueda³, Beatriz Isabel²,
Guillermo Ramis-Vidal¹ y Antonio Muñoz-Luna^{1,3}

¹ Departamento de Producción animal, Facultad de Veterinaria de la Universidad de Murcia, Campus Espinardo s/n, 30100 Murcia, España.

² Departamento de Producción animal, Facultad de Veterinaria de la Universidad Complutense de Madrid, Ciudad Universitaria s/n, 28040 Madrid, España.

³ FARM Faes Nutrición y Salud Animal, Pol. El Carrascal Parc. 8-9, 01308 (España).

Resumen

El objetivo de este estudio, realizado durante la etapa de crecimiento de cerdos ibéricos (50 % Duroc) categoría “Cebo de Campo” hasta su sacrificio comercial, fue investigar por un lado, el efecto del tipo genético del verraco finalizador (Duroc Templario™ (DT) y Duroc Templario™ de alta infiltración grasa (DTGIM)) y el sexo sobre parámetros de crecimiento, rendimiento de canal y el contenido de grasa intramuscular; y por otro el efecto de la combinación de antioxidantes suplementados en el pienso de acabado (150 ppm de vitamina E sintética (VE) *versus* 150 ppm de vitamina E sintética + 500 ppm de IN-GASO QTMEAT® (VEQM)), en parámetros de oxidación de la carne y ácidos grasos del tejido graso subcutáneo. El experimento se diseñó en condiciones de campo con dos lotes de animales: lote A, formado por 91 machos castrados y 95 hembras, descendientes del verraco DT que recibieron el tratamiento antioxidante VE en el pienso de acabado, y lote B, formado por 56 machos castrados y 60 hembras, descendientes del verraco DTGIM que recibieron el tratamiento antioxidante VEQM en el pienso de acabado. Se les realizaron mediciones repetidas individuales: durante la fase de crecimiento, en una finca situada en el entorno de la dehesa extremeña en el término municipal de Olivenza, del peso vivo y espesor graso dorsal; y tras su sacrificio de parámetros de canal, contenido de grasa intramuscular y oxidación lipídica sobre muestras de carne de *longissimus thoracis et lumborum*, así como de la composición de ácidos grasos sobre muestras de grasa subcutánea. Se observó que, por efecto del tipo genético y el sexo, los animales descendientes de Duroc DT y los machos presentaron las tasas de crecimiento significativamente ($p < 0,05$) mayores. Los DT y las hembras obtuvieron un significativo ($p < 0,05$) menor contenido graso tanto de su espesor graso dorsal de la canal como de grasa intramuscular de la carne, así como un significativo ($p < 0,05$) mayor rendimiento de jamón y lomo. Sin embargo, los DTGIM y las hembras alcanzaron un significativo ($p < 0,05$) mayor rendimiento de canal. Mientras que por efecto

* Autor para correspondencia: gusero@farmfaes.com

Cita del artículo: Usero-Alonso G., Gil-Rueda F., Isabel B., Ramis-Vidal G., Muñoz-Luna A. (2023). Impacto del tipo genético y el sexo sobre parámetros productivos y el contenido en grasa intramuscular, así como el consumo de antioxidantes sobre la oxidación de la carne en cerdo ibérico (50 %) de “Cebo de Campo”. ITEA-Información Técnica Económica Agraria 119(4): 370-386. <https://doi.org/10.12706/itea.2023.011>



del consumo de antioxidantes se observó que, en los animales que consumieron el tratamiento antioxidante reforzado (VEQM), se oxidó menos la carne, obteniendo valores de oxidación lipídica significativamente ($p < 0,05$) menores y de ácidos grasos poliinsaturados mayores. En conclusión, la utilización de líneas de verraco Duroc finalizador más grasas, junto con la incorporación de una combinación adecuada de antioxidantes en el pienso de finalización en la producción de cerdo ibérico contribuyen a la obtención de carnes de mayor valor nutricional.

Palabras clave: Antioxidantes, ácidos grasos, calidad de carne, crecimiento lento, vitamina E.

Impact of genotype and sex on performance and intramuscular fat content, as well as the consumption of antioxidants on meat oxidation in Iberian (50 %) pig reared in outdoor system

Abstract

The aim of this study, carried out during the growth stage of Iberian pigs (50 % Duroc) “Cebo de Campo” category until commercial slaughter, was to investigate on the one hand, the effect of the genetic type of terminal boar (Duroc Templario™ (DT) and Duroc Templario™ high fat infiltration (DTGIM)) and sex on growth performance, carcass yield and intramuscular fat content; and the effect of the combination of antioxidants supplemented in the finishing feed (150 ppm synthetic vitamin E (VE) versus 150 ppm synthetic vitamin E + 500 ppm INGASO QTMEAT® (VEQM)) on oxidation parameters of the meat and subcutaneous fatty acids. The experiment was designed under field conditions with two batches of animals: batch A, consisted of 91 castrated males and 95 females, offspring of the DT boar that received the VE antioxidant treatment in the finishing feed, and batch B, consisted of 56 castrated males and 60 females, offspring of the DTGIM boar that received the VEQM antioxidant treatment in the finishing feed. Repeated individual measurements were carried out: during the growth phase, in a farm located in the environment of the *dehesa* of Extremadura in Olivenza village, of live weight and back fat thickness; and after slaughter of carcass parameters, intramuscular fat content and lipid oxidation were made on samples of *longissimus thoracis and lumborum*, as well as the composition of fatty acids on samples of subcutaneous fat. It was observed that, due to the effect of genotype and sex, the animals descended from Duroc DT and males presented significantly ($p < 0.05$) higher growth rates. The DT and females obtained a significantly ($p < 0.05$) lower fat content, both in terms of carcass backfat thickness and meat intramuscular fat, as well as a significantly ($p < 0.05$) higher ham and loin yield. However, DTGIM and females achieved a significant ($p < 0.05$) higher carcass yield. Meanwhile, due to the effect of antioxidant intake, it was observed that, in the animals that consumed an extra of antioxidant treatment (VEQM), both the meat and the subcutaneous fat part more sensitive to oxidation were less oxidized, obtaining significantly ($p < 0.05$) lower values of lipid oxidation and significantly ($p < 0.05$) higher values of polyunsaturated fatty acids, respectively. In conclusion, the use of higher fat Duroc terminal boar lines, together with the incorporation of an adequate combination of antioxidants in the finishing feed in the production of Iberian pigs contributes to obtain meats of higher nutritional value.

Keywords: Antioxidants, fatty acids, quality meat, slow growth, vitamin E.

Introducción

Las características más significativas de la producción de cerdo ibérico (50 % Duroc) en categoría de “Cebo de Campo” (BOE, 2014) son las propias de la cría del cerdo tradicional en el suroeste de la península ibérica, en la que se utiliza una raza de cerdo local cria-

do en condiciones de semilibertad en un ciclo largo para producir productos cárnicos de elevada calidad. Estos cerdos se distinguen por su contenido en grasa intramuscular (GIM) y perfil de ácidos grasos (AG), principales factores que influyen en la aceptación de un producto cárnico por parte del consumidor (Wood et al., 2008). La raza utilizada procede del

cruce al 50 % de un macho Duroc y una hembra ibérica. Respecto a otras razas comerciales, destaca por su bajo potencial de crecimiento, elevado perfil adipogénico (come más de lo que necesita, principalmente de la raza ibérica) y potencial contenido en GIM. El sistema de producción utilizado proporciona a los animales suficiente espacio y espacio al aire libre en tierra para caminar y desarrollar un ciclo largo, con una edad y peso vivo (PV) al sacrificio objetivos de 12 meses y 160 kg, respectivamente. Este sistema requiere de un programa de alimentación específico que evite el engrasamiento precoz y que tenga en cuenta, por un lado, las necesidades energéticas de mantenimiento extra por las condiciones particulares de alojamiento (ejercicio, ambiente, etc.), y por otro el ajuste de niveles de factores nutricionales y alimenticios que afectan a la composición de AG como son los de energía, proteína, fuentes grasas de los piensos (Essén-Gustavsson et al., 1994; Ninoles et al., 2007) y restricción alimentaria (Daza et al., 2007a). Para ello, se divide en fases a lo largo del crecimiento del animal que combinan piensos de diferente composición y sus diferentes niveles de aporte (racionada o *ad libitum*), que evitan el engrasamiento precoz, desarrollan un crecimiento compensatorio y dirigen la composición de AG de la grasa de la canal, mediante el control de su síntesis endógena y la acumulación directa (Morel et al., 2006), favoreciendo la deposición de niveles altos de AG omega-3 y oleico. Esta composición grasa de la canal es especialmente sensible a la oxidación y requiere de la incorporación de antioxidantes en el pienso para reducir su deterioro (López-Bote et al., 2003). Los antioxidantes son sustancias que se incluyen en el pienso de los cerdos a baja concentración que retrasan o previenen el deterioro y la aparición de radicales libres de la carne (Thomas et al., 1994), y un tratamiento extra no tiene ningún efecto ni sobre los parámetros zootécnicos ni de rendimiento de canal (Co-

rino et al., 1999; NRC 2012). Pueden actuar de forma individual, vitamina E (acetato de alfa-tocoferilo) o selenio (Corino et al., 1999; López-Bote et al., 2003) o de manera combinada de dos o más antioxidantes juntos con acción sinérgica, es decir, evitan la oxidación con mayor efecto que su suma por separado (Duthie et al., 2001). Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue investigar, por un lado, el efecto del tipo genético del verraco finalizador y el sexo sobre los rendimientos de crecimiento, canal y contenido en grasa intramuscular, y por otro, el efecto de un suplemento de antioxidantes en el pienso de acabado sobre parámetros de oxidación de la carne y AG subcutáneos de una producción de cerdo ibérico (50 % Duroc) en categoría de "Cebo de Campo".

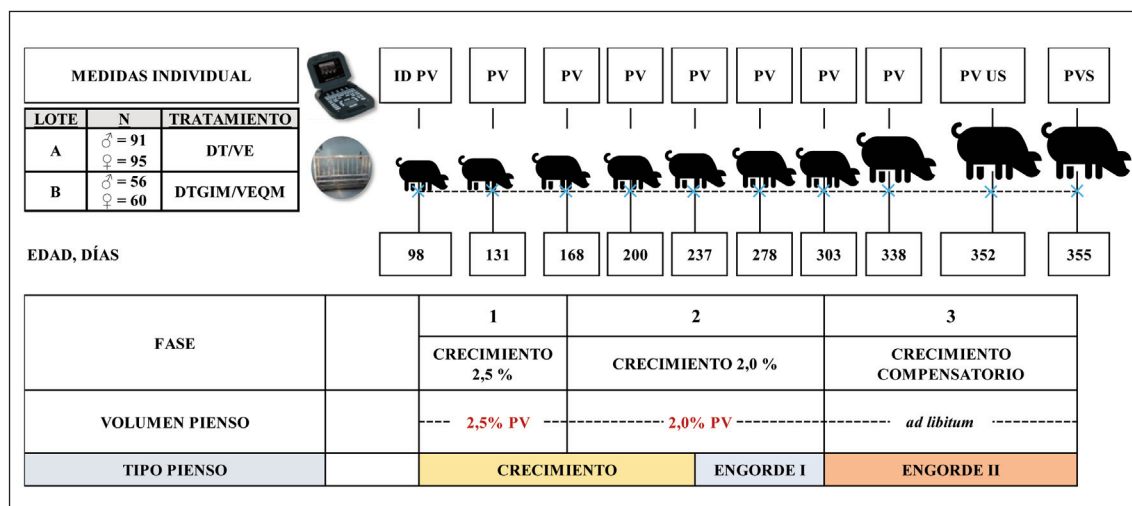
Material y métodos

El estudio se realizó en condiciones de campo, entre diciembre de 2017 y diciembre de 2019, en la unidad de crecimiento-cebo de una granja comercial situada a una Latitud de 38° 35' 20,3" Norte y 7° 01' 7,8" Oeste, en la región de Extremadura (España). Esta zona presenta un clima mediterráneo continentalizado (con cierta influencia atlántica), que se caracteriza generalmente por una importante amplitud térmica, siendo veranos cálidos y secos e inviernos parcialmente fríos y húmedos. 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 la Directiva Europea 2010/63/UE publicada en el DOUE (2010) y en las normas nacionales recogidas en el Real Decreto 53/2013 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.

Animales

Se utilizaron dos lotes de lechones ibéricos (50 % Duroc) seleccionados al azar a los 98 días de edad en el momento de salida de la transición, nacidos al final de año de dos años consecutivos en una granja de producción comercial. El lote A constaba de 91 machos castrados de 29,1 kg de PV y 95 hembras de 29,3 kg de PV, y el lote B de 56 machos castrados de 35,6 kg de PV y 60 hembras de 34,3 kg de PV. Para la fase de crecimiento, en la misma época del año, ambos lotes se trasladaron a la misma explotación en semi-extensivo donde se evaluaron sus parámetros de crecimiento (Figura 1). Se repartieron en dos corrales distintos por tamaños homogéneos (machos y hembras mezclados), con las mismas condiciones ambientales, de alimentación y manejo. Los corrales disponían de un

área al aire libre suficientemente amplia para caminar con toda libertad, más de 100 m² por cerdo y suelo de tierra. Estos corrales estaban cercados con valla metálica y pared de piedra con una zona cubierta con espacio disponible de 1 m² por cerdo de refugio y descanso. Todos los animales tuvieron libre acceso al agua y restringido al pienso hasta los 303 días de edad y posteriormente *ad libitum* hasta el sacrificio, 355 días de edad y 170 kg de PV. Al sacrificio se seleccionaron, por un lado, 55 hembras y 63 machos del lote A, y 44 hembras y 46 machos del lote B para evaluar parámetros de canal; y por otro, 23 hembras y 36 machos del lote A, y 29 hembras y 32 machos del lote B para analizar parámetros de calidad de carne. Al lote A se asignaron lechones de tipo genético descendientes de DT y fueron alimentados con el pienso de engorde II (VE); al lote B se asignaron lechones de tipo ge-



Fases: 1.- Crecimiento 2,5 % PV, aporte de pienso calculado como el 2,5 % del PV (kg); 2.- Crecimiento 2,0 % PV, aporte de pienso calculado como el 2,0 % del PV (kg); 3.- Crecimiento compensatorio, acceso *ad libitum* al pienso. Mediciones individuales: ID: identificación de los animales; PV: peso vivo, US: EGD por ultrasonidos. PVS: peso vivo sacrificio; Parámetros post mortem: peso de canal caliente, pesos jamones y paletas sin perfilar y peso lomos en frío a 24 h post-mortem; parámetros de carne *post mortem*: humedad, grasas intramuscular, proteína, vitamina E alfa-tocoferol, el índice TBARs, *perfil* de AG.

Figura 1. Diseño experimental. Donde: PV, medición individual del peso vivo en kg manualmente.
 Figure 1. Experimental design. Where: BW, individually measure of body weight in kg by manually.

nético descendientes de DTGIM y fueron alimentados con pienso de engorde II (VEQM). La característica diferencial del tipo de verraco Duroc utilizado fue su contenido de GIM medida por ultrasonidos (% GIM_US) en vivo: DT con un 4,26 % (población fundacional Duroc Templario™) y DTGIM con un 4,49 % GIM_US (primera generación de verracos Duroc Templario™). INGASO QTMEAT®, es un suplemento nutricional que combina de forma sinérgica diferentes antioxidantes naturales (ácido ascórbico, vitamina E natural, polifenoles naturales y selenio orgánico).

Programa de alimentación

Para la fase experimental de ambos lotes se diseñó un mismo programa de alimentación con el objetivo de obtener una tasa de crecimiento lento global de menos de 550 g/d entre los 100 y los 355 días de edad (Figura 1). Los piensos se formularon siguiendo los requerimientos recomendados por FEDNA (2013) y su composición en materias primas y los principales contenidos de nutrientes estimados se muestran en la Tabla 1. Brevemente, los animales siguieron 3 fases de alimentación, crecimiento (98-237 días de edad), engorde I (237-303 días de edad) y engorde II (303-352 días de edad). 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 3 fases de crecimiento. Se programó de la siguiente forma: 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).

Parámetros crecimiento y canal

En la Figura 1 aparece el esquema del protocolo de medición de parámetros de crecimiento y canal de los cerdos. Se monitorizaron a lo largo del tiempo mediciones repetidas individuales de PV (kg) para el cálculo la ganancia media diaria (GMD; kg/d). Al sacrificio se midió de forma individual el PV y el espesor graso dorsal (EGD; mm) 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); en *post mortem*, el peso de canal en caliente (kg) y en el despiece en frío (24 h post-mortem), los pesos de piezas nobles: jamones sin perfilar (kg), paletas sin perfilar (kg) y lomos (kg). El rendimiento de canal se calculó en caliente y el de las partes nobles frente a la canal en frío que fue un 2 % menos del peso de canal caliente por las pérdidas por oreo durante las primeras 24 h de enfriamiento.

Parámetros de calidad de carne

Los parámetros de calidad de carne se midieron en muestras de 20 cm de carne recogidas de la zona craneal del músculo *longissimus thoracis et lumborum* y de 100 g de grasa subcutánea recogidas a la altura de la cadera. En la muestra de carne se midió el contenido de: humedad, mediante secado en estufa a 105 °C durante 24 h o hasta obtener peso constante (Norma ISO 1442:1997); de grasa, usando éter de petróleo (40-60 °C) como solvente en una unidad extractora Soxhlet (Soxhlet System HT2 1045 Tecator, Suecia); y proteína, N Dumas × 6,25 (midiendo el N con un equipo LECO Serie 828) de acuerdo con los AOAC (2006). La deter-

Tabla 1. Ingredientes y composición de los piensos de crecimiento-engorde.
 Table 1. Ingredients and composition of the diet during growth and fattening.

	Pienso crecimiento	Pienso engorde I	Pienso engorde II (VE)	Pienso engorde II (VEQM)
Ingredientes, g/kg				
Cebada	163,0	128,0	229,5	229,5
Trigo	299,9	290,1	289,9	289,9
Soja-44	167,5	117,0	93,0	93,0
Maíz	240,0	240,0	240,0	240,0
Salvado-cuartas	12,0	50,5	16,5	16,5
Manteca	20,0	–	–	–
Semilla girasol	–	58,0	58,0	58,0
Aceite girasol alto oleico	–	41,0	44,0	44,0
Harina colza	70,0	40,0	–	–
Sepiolita	–	8,0	–	–
Carbonato Cálcico	9,5	10,1	10,3	10,3
Fosfato Cálcico	7,7	8,0	9,2	9,2
Sal	4,5	4,5	4,5	4,5
Premix	4,0	4,0	4,0	4,0
Lisina suplemento	1,8	0,9	1,0	1,0
Vitamina E sintética, g/tn	–	–	150	150
INGASO QTMEAT®, g/tn	–	–	–	500
Composición				
EM, kcal/kg	3155	3298	3370	3370
EN, kcal /kg	2350	2520	2615	2615
Lisina DIS, g/kg	7,60	5,80	4,80	4,80
Lisina DIS/EM, g/MJ	0,58	0,42	0,34	0,34
Materia seca, g/kg	883,2	887,8	887,1	887,1
Proteína bruta, g/kg	160,0	139,9	120,0	120,0
Grasa bruta, g/kg	40,8	85,1	87,4	87,4
C 16:0, g/kg	7,75	6,21	6,38	6,38
C 18:0, g/kg	2,86	0,24	0,26	0,26
C 18:1 n-9, g/kg	14,69	60,51	62,14	62,14
C 18:2 n-6, g/kg	13,06	13,85	14,22	14,22
C 18:3n-3, g/kg	0,70	2,21	2,27	2,27
Coste				
Precio ¹ , €/kg	0,239	0,260	0,257	0,257

¹Precio de mercado de materias primas (Mercolleida, Spain), diciembre de 2019. EM = Energía metabolizable; EN = Energía neta; Lisina DIS = Lisina digestible ileal estandarizada; VE = tratamiento antioxidante en el pienso de acabado de 150 ppm de vitamina E sintética; VEQM = tratamiento antioxidante en el pienso de acabado de 150 ppm de vitamina E sintética + 500 ppm INGASO QTMEAT®.

minación del contenido en Vitamina E de las muestras se llevó a cabo según el método descrito por Rey *et al.* (1996) e Isabel *et al.* (1999a). La solución tampón utilizada para la extracción estuvo formada por 13,4 g de fosfato sódico y 1,86 g de EDTA disueltos en 1 L de agua y ajustado a pH 7 con HCl 5 N. El etanol, metanol y hexano grado HPLC se obtuvieron de PANREAC. Para el análisis cromatográfico se inyectaron 25 µl de muestra en un cromatógrafo de líquidos de alta resolución (HPLC) Hewlett-Packard, Serie 1050, equipado con una bomba isocrática y una columna Lichrcart PR 18 (250 mm × 4 mm y 5 µm de tamaño de partícula). La fase móvil empleada fue metanol: agua (97:3) a un flujo de 2 ml/min. La detección del alfa-tocoferol se realizó mediante un detector ultravioleta fijado a 292 nm. La identificación se realizó por comparación de los tiempos de retención con el correspondiente patrón. La cuantificación se realizó a partir de una cantidad conocida de los distintos patrones y se expresó en forma de µg/g de alimento de vitamina E alfa-tocoferol, en ppm sobre materia seca (MS) con el equipo de cromatografía líquida HPLC Agilent 1100. La reacción de ácido 2-tiobarbitúrico (TBARS) de las muestras se cuantificó mediante espectrofotometría a una absorbancia de 532 nm en una dilución descrita por Botsoglou *et al.* (1994) a través de una recta de calibrado construida frente a un blanco preparado con la dilución de trabajo de malondialdehído (MDA) (2,39 µl/ml) diluida con 2,5 ml de una dilución acuosa de ácido tricloroacético (TCA) (5 %) + 1,5 ml de ácido 2-tiobarbitúrico (TBA) (0,8 %). Los análisis de AG se llevaron a cabo siguiendo la metodología expuesta por Isabel *et al.* (2014), basada en la extracción y metilación de los ésteres metílicos y su posterior inyección y determinación por cromatografía de gases. Los AG fueron fraccionados e identificados utilizando un cromatógrafo Hewlett Packard 6890 con un columna 30 mm × 0,32 mm × 0,25 µm cross-linked polyethylene

glycol capillary column. El programa de temperaturas presentó un rango de 170 a 245 °C. El inyector y el detector mantuvieron una temperatura de 250 °C. El flujo del gas (helio-portador) fue de 2 ml/min. Los AG determinados en el tejido subcutáneo están expresados en porcentaje. En el caso de las dietas están expresados en g/kg a partir de la matriz de formulación. Todos los patrones de AG utilizados fueron suministrados por SIGMA (Madrid) (López-Bote *et al.*, 2003).

Análisis estadísticos

Se realizó un ANCOVA donde los parámetros de crecimiento y de canal observados fueron las variables respuesta (Y), y el sexo (S) y el tipo de verraco terminal (V), las variables explicativas. La estructura del modelo fue la siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + (S)_i + (V)_j + P_0 + \varepsilon_{ijk} \quad [1]$$

donde, Y = datos observados para el cerdo k del factor i j; μ = media general; S = macho castrado y hembra; V = DT y DTGIM; P_0 = covariable peso inicial: PV1, PV a los 98 días de edad para parámetros de crecimiento (PV_i y GMD_i); PVS, PV al sacrificio para parámetros de rendimiento de canal y piezas nobles (jamón, paleta, lomo y EGD_s); ε = error residual.

Además, por un lado, se realizó un ANOVA donde el contenido de grasa intramuscular fue la variable dependientes (Y), y el sexo (S) y el tipo de verraco terminal (V), las variables explicativas. La estructura del modelo fue la siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + (S)_i + (V)_j + \varepsilon_{ijk} \quad [2]$$

donde, Y = datos observados para el cerdo k del factor i j; μ = media general; S = macho castrado y hembra; V = DT y DTGIM.

Y por otro, un ANOVA donde el índice de oxidación lipídica y contenido de AG fueron las variables dependientes (Y), y el sexo (S) y el

suplemento antioxidante en el pienso de engorde II (OX), las variables explicativas. La estructura del modelo fue la siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + (S)_i + (OX)_j + \varepsilon_{ijk} \quad [3]$$

donde, Y = datos observados para el cerdo k del factor i j; μ = media general; S = macho castrado y hembra; OX = VE y VEQM; ε = error residual.

Los análisis estadísticos se realizaron mediante el software de estadística para Excel (Microsoft, Estados Unidos), XLSTAT versión 2016.02.28451 (Addinsoft, Estados Unidos). Los resultados se presentan como medias y error estándar de la media (SEM) del conjunto de datos en cada caso. El nivel de significación estadística para todos los análisis fue predefinido ($p < 0,05$).

Resultados

Parámetros crecimiento y canal

La Tabla 2 presenta los resultados del promedio de PV y GMD observados a lo largo del crecimiento y el efecto que tuvo el tipo de verracos terminal y el sexo sobre estas dos variables. Cabe destacar que el PV inicial (PV1) utilizado como factor covariable en el análisis afectó de manera significativa ($p < 0,05$) en el resultado de PV de cada control y en la tasa de crecimiento global de todo el ciclo. Se observaron diferencias significativas en los PV de cada control ($p < 0,05$) por efecto del tipo de verracos terminal excepto a los 168 días de edad. Sin embargo, no por el sexo hasta los 237 días de edad, momento en el que los machos fueron significativamente ($p < 0,05$) más pesados que las hembras hasta el final del ciclo.

Para la GMD se observaron diferencias significativas ($p < 0,05$) tanto por efecto del tipo de verraco como por el sexo en la fase global del ciclo (Fase 1+2+3), la fase de restricción

alimentaria (Fase 1+2) de crecimiento lento y la de consumo *ad libitum* (Fase 3) donde se expresó el crecimiento compensatorio en todos los casos. Los animales descendientes del verraco terminal DT y los machos obtuvieron mayores tasas de GMD que los descendientes del verraco terminal DTGIM y las hembras, respectivamente.

La Tabla 3 recoge los resultados medios de los parámetros de canal medidos, observados para cada factor en estudio (verraco terminal y sexo), observándose que los machos y los animales descendientes del verraco DTGIM obtuvieron valores significativamente ($p < 0,05$) mayores para el EGD, medido por ultrasonidos, y menores para rendimiento de jamón y lomo que las hembras y los animales descendientes del verraco DT, respectivamente. No se observó interacción significativa ($p < 0,05$) entre el tipo de verraco terminal y el sexo y si que el PV_{sacrificio} utilizado como covariable en el ANCOVA, afectó de manera significativa ($p < 0,05$) sobre los resultados de los cuatro parámetros (EGD, jamón, paleta, y lomo) de canal medidos.

Parámetros de calidad de carne

Los resultados y diferencias estadísticamente significativas que se observaron por efecto del verraco terminal y el sexo sobre el contenido de GIM y la combinación de antioxidantes en el pienso sobre el índice TBARS de la carne y la composición de AG de la grasa subcutánea aparecen en la Tabla 4. No se observó interacción entre el tipo de verraco terminal y el sexo para el contenido de GIM. El % Humedad está correlacionado positivamente con el contenido de grasa intramuscular de la carne, de esta manera, las muestras de nuestro estudio presentaron un elevado valor tanto de % Humedad como grasa. El efecto del verraco terminal afectó significativamente ($p < 0,05$) sobre el % Humedad, y no el del sexo; se observaron valores mayores

Tabla 2. Efecto del sexo (S) y el verraco terminal (DT y DTGIM) sobre parámetros de crecimiento.
 Table 2. Effect of sex (S) and terminal sire (DT and DTGIM) on growth traits.

Parámetro ^D	Verraco Terminal		Sexo		SEM ^B	COV PV1 ^C	Significancia ^A	
	DT (186)	DTGIM (116)	Hembra (155)	Macho (147)			V	S
PV, kg								
Edad, días								
98	28,29 ^b	33,77 ^a	30,67 ^c	31,29 ^c	0,406	–	***	ns
131	39,77 ^b	50,01 ^a	43,28 ^c	44,15 ^c	0,729	***	***	ns
168	51,05 ^b	58,79 ^a	53,15 ^c	54,93 ^c	0,783	***	†	ns
200	64,90 ^b	68,51 ^a	65,39 ^d	67,21 ^c	0,820	***	***	†
237	82,27 ^a	76,14 ^b	78,36 ^d	81,46 ^c	0,996	***	***	*
278	104,11 ^a	91,03 ^b	97,29 ^d	100,85 ^c	1,107	***	***	*
303	117,81 ^b	119,33 ^a	116,13 ^d	120,78 ^c	1,196	***	**	*
338	157,47 ^a	152,94 ^a	151,85 ^d	159,43 ^c	1,574	***	***	**
352	165,55 ^b	168,42 ^a	162,84 ^d	170,77 ^c	1,610	***	*	**
GMD, kg/d								
Fase								
1	0,324 ^a	0,349 ^a	0,324 ^c	0,344 ^c	0,009	***	ns	ns
2	0,491 ^a	0,450 ^b	0,465 ^d	0,487 ^c	0,007	ns	*	*
3	1,031 ^a	0,950 ^b	0,958 ^d	1,037 ^c	0,019	†	***	**
1+2	0,433 ^a	0,416 ^b	0,416 ^d	0,438 ^c	0,005	ns	*	*
1+2+3	0,541 ^a	0,524 ^b	0,518 ^d	0,549 ^c	0,006	*	**	**

^{a-d} Medias con superíndice distinto, son diferentes. ^A Significancia estadística: † $p < 0,10$; * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; ns, no significativo. V = factor verraco terminal; S = factor sexo. La interacción V x S fue no significativa ($p < 0,10$). ^B SEM = Error estándar de la media (n = 221 para PV98; 183 para PV131; 147 para PV168; 150 para PV200 y PV303; 115 para PV237 y PV278; 110 para PV338; 127 para PV352; 114 para GMD Fase 1; 140 para GMD Fase 2; 150 para GMD Fase 3; 179 para GMD Fases 1+2; y 130 para GMD Fases 1+2+3). ^C Probabilidad de la co-variable del PV1. ^D PV: Peso vivo; GMD: Ganancia media diaria.

en las muestras de animales que descendían del verraco terminal DT (68,64 %) que en las de DTGIM (67,80 %). Para el contenido de GIM_MS observamos diferencias significativas ($p < 0,05$) tanto por efecto del verraco terminal como por el sexo, los animales que

descendían de DTGIM (29,62 %) y los machos (28,56 %) alcanzaron valores mayores que los DT (25,80 %) y las hembras (26,68 %), respectivamente. Mientras que para el contenido de proteína bruta de la materia seca (PB MS; %) no hubo diferencias significativas

Tabla 3. Efecto del sexo (S) y el verraco terminal (DT y DTGIM) sobre el rendimiento de canal.
 Table 3. Effect of sex (S) and terminal sire (DT y DTGIM) on carcass yield.

Parámetro ^D	Verraco Terminal		Sexo		SEM ^B	COV PVS ^C	Significancia ^A	
	DT (118)	DTGIM (90)	Hembra (99)	Macho (109)			V	S
Edad, días	354,3 ^a	355,0 ^a	354,9 ^c	354,3 ^c	0,209		ns	ns
PVs, kg	174,5 ^a	166,5 ^b	167,1 ^d	173,9 ^c	0,982		***	***
EGD _s , mm	51,05 ^b	57,02 ^a	52,75 ^c	54,90 ^c	0,820	0,00	***	ns
Peso canal, kg	133,63 ^b	138,16 ^a	136,50 ^c	135,33 ^d	0,790	<0,0001	***	***
Peso jamón, kg	28,56 ^a	28,74 ^a	29,06 ^c	28,23 ^d	0,174	<0,0001	ns	***
Peso paleta, kg	19,83 ^b	20,40 ^a	20,20 ^c	20,04 ^c	0,114	<0,0001	***	ns
Peso lomo, kg	5,01 ^a	4,70 ^b	4,97 ^c	4,73 ^d	0,046	<0,0001	***	***
Rendimiento ^E , %								
Canal caliente	78,08 ^b	80,72 ^a	79,57 ^c	78,90 ^d	0,243	0,242	***	*
Jamón frío	21,75 ^a	21,34 ^b	21,87 ^c	21,30 ^d	0,137	0,000	**	*
Paleta fría	15,11 ^a	15,17 ^a	15,07 ^d	15,19 ^c	0,085	<0,0001	ns	*
Lomo frío	3,82 ^a	3,47 ^b	3,75 ^c	3,59 ^d	0,043	0,043	***	*

^{a-d} Medias con superíndice distinto, son diferentes. ^A Significancia estadística † $p < 0,10$; * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; ns, no significativo. V = factor verraco terminal; S = factor sexo. La interacción V x S fue no significativa ($p < 0,10$). ^B SEM = Error estándar de la media (n = 99 para rdt. canal y EGD_s, y 109 para rto. jamón, rto. paleta y rto. lomo). ^C Probabilidad de la co-variable del PV_{sacrificio} PVS. ^D PVs: Peso vivo al sacrificio; EGDs: Espesor grasa dorsal medido por ultrasonidos al sacrificio; Peso de canal: en caliente; Peso de jamón: en frío (24 horas *post-mortem*) y sin perfilar; Peso paleta: en frío (24 horas *post-mortem*) y sin perfilar; Peso de lomo: en frío (24 horas *post-mortem*) y perfilado. ^E Rendimiento de piezas nobles, jamones, paletas y lomos, como la suma del peso en frío de las dos piezas nobles de cada cerdo con respecto al peso de su canal en frío, que es un 2 % menos del peso de canal caliente por las pérdidas por oreo durante las primeras 24 h de enfriamiento; EGD_s: espesor grasa dorsal al sacrificio de la canal medida por ultrasonidos *in vivo*.

($p > 0,05$) por efecto del verraco terminal, si las hubo ($p < 0,05$) por efecto del sexo; las hembras presentaron valores mayores de proteína que los machos, 69,74 % y 67,09 %, respectivamente. En los resultados de índice de oxidación de las grasas (TBARS) se observaron diferencias significativas ($p < 0,05$) por efecto de los antioxidantes en los piensos

de engorde II, los VE obtuvieron valores significativamente ($p < 0,05$) mayores que los de VEQM (0,20 y 0,17; respectivamente). En cuanto a los valores de vitamina E alfa-tocoferol determinada en músculo *longissimus thoracis et lumborum* sobre la MS, no se encontraron diferencias significativas ($p > 0,05$) por efecto de ningún factor estudiado. Para

Tabla 4. Efecto del sexo (S), el verraco terminal (DT y DTGIM), y la combinación de antioxidantes en el pienso (VE y VEQM) sobre parámetros de calidad de carne.

Table 4. Effect of sex, terminal sire, and antioxidant supplementation on meat traits.

Parámetros fisicoquímicos	Verraco Terminal		Sexo		SEM ^B	Significancia ^A	
	DT (59)	DTGIM (61)	Hembra (52)	Macho (68)		V	S
Humedad, %	68,64 ^a	67,80 ^b	68,46 ^c	68,02 ^c	0,305	*	ns
PB MS, %	69,00 ^a	67,51 ^a	69,74 ^c	67,09 ^d	0,925	ns	*
GIM MS, %	25,80 ^b	29,62 ^a	26,68 ^d	28,56 ^c	0,884	***	*
Parámetros fisicoquímicos	VE (59)	VEQM (61)	Hembra (52)	Macho (68)	SEM ^B	OX	S
VIT E MS, ppm	16,16 ^a	16,17 ^a	16,15 ^c	16,17 ^c	0,380	ns	ns
TBARS	0,20 ^a	0,17 ^b	0,18 ^c	0,19 ^c	0,030	*	ns
Ácidos grasos, % ^C							
C 12:0	0,08 ^a	0,07 ^b	0,07 ^c	0,08 ^c	0,001	***	ns
C 14:0	1,46 ^a	1,29 ^b	1,37 ^c	1,37 ^c	0,019	***	ns
C 16:0	22,40 ^a	21,61 ^b	22,06 ^c	21,95 ^c	0,136	***	ns
C 16:1	2,16 ^a	1,89 ^b	2,04 ^c	2,00 ^c	0,039	***	ns
C 17:0	0,25 ^b	0,28 ^a	0,25 ^d	0,27 ^c	0,007	**	*
C 17:1	0,26 ^a	0,25 ^a	0,24 ^c	0,27 ^c	0,007	ns	*
C 18:0	9,89 ^b	10,62 ^a	10,28 ^c	10,25 ^c	0,138	***	ns
C 18:1n-9	53,66 ^a	53,48 ^a	53,55 ^c	53,58 ^c	0,179	ns	ns
C 18:2n-6	7,51 ^b	7,94 ^a	7,73 ^c	7,73 ^c	0,054	***	ns
C 18:3n-3	0,57 ^b	0,74 ^a	0,66 ^c	0,65 ^c	0,012	***	ns
C 20:0	0,18 ^a	0,20 ^a	0,18 ^c	0,20 ^c	0,017	ns	ns
C 20:1n-9	1,58 ^b	1,64 ^a	1,56 ^d	1,65 ^c	0,022	*	**
omega 6/omega 3	13,17 ^a	10,73 ^b	11,81 ^c	12,02 ^c	0,186	***	ns
AGS ^D	34,26 ^a	34,07 ^a	34,21 ^c	34,13 ^c	0,213	ns	ns
AGMI ^E	57,66 ^a	57,26 ^a	57,40 ^c	57,51 ^c	0,192	ns	ns
AGPI ^F	8,08 ^b	8,69 ^a	8,39 ^c	8,38 ^c	0,063	***	ns

^{a-d} Medias con superíndice distinto, son diferentes. ^A Significancia estadística † $p < 0,10$; * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; ns, no significativo. OX = factor antioxidantes; S = factor sexo. La interacción OX x S fue no significativa ($p < 0,10$). ^B SEM = Error estándar de la media (n = 61 para Humedad y PB MS; n = 52 para GIM MS y VIT E; n = 59 para TBARS; n = 52 para C120, C140, C160, C161, C180, C181, C182, C183, C201, omega 6/omega 3, AGS, AGMI, AGPI, n = 68 para C170 y C171; n = 61 para C200). Parámetros: PB MS, %: porcentaje de proteína bruta; GIM MS, %: porcentaje de grasa intramuscular expresado en MS; VIT E MS, ppm: partes por millón de vitamina E expresada en MS; TBARS: sustancias reactivas con el ácido tiobarbitúrico (mg MDA/kg carne). ^C AG Expresados como g/100 g del total de ácidos grasos. ^D AGS = \sum Ácidos grasos saturados. ^E AGMI = \sum Ácidos grasos monoinsaturados. ^F AGPI = \sum Ácidos grasos poliinsaturados.

la composición de AG de la grasa subcutánea, no se observaron diferencias significativas ($p > 0,05$) en el contenido de AG saturados (AGS) y AG monoinsaturados (AGMI) para ningún factor estudiado. Y en el contenido de los AG polinsaturados (AGPI) y ratio AG omega-6:omega-3 sí hubo diferencias significativas ($p < 0,05$), los animales VEQM presentaron mayores valores de AGPI que los VE (8,69 % versus 8,08 %) y menores de ratio omega-6:omega-3 (10,73 % versus 13,17 %, respectivamente).

Discusión

Parámetros de crecimiento y canal

En el actual estudio, el ritmo de crecimiento de la fase de restricción alimentaria (Fase 1+2) desde los 98 hasta los 303 días de edad dependió de la cantidad de pienso aportada y el sexo a partir de los 168 días, momento en el que se reduce el aporte de pienso y aumenta la competencia por el mismo, en estas circunstancias los machos fueron favorecidos sobre las hembras. A su vez, en la fase de realimentación *ad libitum* (Fase 3) la GMD fue afectada significativamente por el tipo de verraco terminal y el sexo, no por el peso de inicial. En esta última fase del ciclo, los animales descendientes de verraco DT mostraron un significativo ($p < 0,05$) mayor potencial de crecimiento (1,031 vs. 0,950 kg/día) que los de DTGIM. Y los machos alcanzaron tasas de crecimiento (1,037 vs. 0,958 kg/día) significativamente mayores que las hembras, a diferencia con los resultados obtenidos por otros autores como Usero et al. (2016) y Serrano et al. (2008), que no encontraron diferencias significativas ni por efecto del genotipo del verraco finalizador ni por el sexo en la fase de crecimiento entre los 19-145 kg de PV del cerdo ibérico (50 % Duroc) de "Cebo" criado en condiciones de intensivo. Por un lado, los resultados de ritmo de crecimiento

lento medios obtenidos en la fase de restricción alimentaria coinciden con Daza et al. (2008), que indica que la cantidad de la reducción del crecimiento provocada por la restricción alimentaria es proporcional al nivel de restricción excepto cuando los animales están expuestos a temperaturas medias por debajo la termoneutra, como de hecho sucedió en la Fase 2, que transcurrió durante el invierno, donde la velocidad de crecimiento se redujo; por otro, los resultados de GMD obtenidos en la fase de realimentación *ad libitum* de crecimiento compensatorio coinciden con Campbell y Dunkin (1983), que encontraron que 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. Este efecto se prolonga durante 2-3 semanas si el periodo de restricción va seguido de una alimentación *ad libitum*, provocando un mayor consumo y ritmo de crecimiento, que se prolonga durante 6 semanas, 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 de peso y la deposición de grasa tras una restricción energética (Daza et al., 2008). Los animales descendientes del verraco terminal DTGIM, significativamente más grasos que los DT (57,02 vs. 51,05 mm EGD), tuvieron un significativo mayor rendimiento de canal (80,72 vs. 78,08 %) y paletas (15,17 vs. 15,11 %), de acuerdo con los resultados encontrados por Serrano et al. (2008), y menores de rendimiento de jamón (21,34 vs. 21,75 %) y lomo (3,47 vs. 3,82 %), esta vez en desacuerdo con este trabajo de Serrano. En cuanto al sexo, los machos obtuvieron valores de EGD de la canal significativamente ($p < 0,05$) mayores que las hembras

(54,90 vs. 52,75 mm EGD) y menores de rendimiento de jamón (21,30 vs. 21,87 %) y lomo (3,59 vs. 3,75 %), de acuerdo con Serrano et al. (2008).

En general, las canales menos grasas obtuvieron mejores rendimientos de jamón y lomo, y peores de paleta, discrepancias que podrían estar relacionadas con la diferente metodología utilizada por otros autores para el despiece llevado a cabo de las canales.

Contenido de grasa intramuscular

Los resultados medios de contenido de GIM_MS (%) obtenidos en este trabajo están de acuerdo con los obtenidos por Vázquez-Gómez et al. (2020) y son mayores que los publicados por Barbero et al. (2013) en cerdo ibérico (50 % Duroc) de "Cebo", y están de acuerdo con Serrano et al. (2008) en su estudio en cerdo ibérico (50% Duroc) de "Cebo" en intensivo, donde se observó que hubo efecto del tipo de verraco y el sexo sobre su contenido. En nuestro estudio, los machos obtuvieron mayores valores que las hembras, de acuerdo con Egea et al. (2016) y Serrano et al. (2008), y en discrepancia con los resultados obtenidos por Usero et al. (2016) en cerdo ibérico (50 % Duroc) de "Cebo".

Oxidación lipídica y composición de los ácidos grasos

La oxidación lipídica es la principal causa del deterioro de la carne. Sobre los resultados del índice de oxidación de las grasas (TBARS) se observó el efecto del nivel de antioxidantes en el pienso. De cualquier modo, para ambos lotes experimentales, estaban lejos de valores de 0,5 considerado valor crítico para la estabilidad oxidativa de la carne (Wood et al., 2008). Los valores obtenidos de vitamina E resultaron de acuerdo con los obtenidos por Isabel et al. (1999a), de 16,87 ppm en MS, en músculo *biceps femoris* de cerdo blanco

suplementado con 200 ppm de vitamina E sintética en el pienso durante los últimos 42 días de vida. Aumentar la vitamina E en la dieta es una estrategia para aumentar la estabilidad oxidativa y mejorar las características sensoriales de los jamones curados (Isabel et al., 1999b), pero aunque la vitamina E tiene muy poca toxicidad, por mucho que se aumente su nivel de inclusión en el pienso, esta alcanza un punto que no responde a una mayor acumulación en el músculo (Bonnette et al., 1990). Así, en este estudio se observó que no había diferencias significativas en el contenido de vitamina E muscular *post-mortem* en animales VEQM (150 ppm vitamina E sintética + 18,2 ppm de vitamina E natural extra) con respecto a los VE (150 ppm vitamina E sintética). Por eso, más allá de aumentar la vitamina E para mejorar la protección antioxidante de la carne, el programa de alimentación experimental siguió la estrategia de estudiar combinaciones sinérgicas de otras moléculas naturales con características antioxidantes junto con la vitamina E. Además, se diseñó para dirigir el perfil de AG a controlar la síntesis endógena de AGS y estimular la acumulación de AGMI y AGPI, más sensibles a la oxidación. Para ello, se formularon los piensos de crecimiento y engorde con niveles relativamente bajos de proteína y lisina, y altos de energía, grasa, AGMI y AGPI, en comparación con piensos convencionales (Estévez et al., 2006). Y se llevó a cabo un racionamiento dirigido por fases explicado anteriormente en la Figura 1 (Daza et al., 2007a). En este sentido, se obtuvieron valores bajos de C16:0 y C18:0 por debajo del 22,5 % y 11 %, respectivamente, y altos de C18:1, por encima del 53 %, similares a los estudiados (Ninola et al., 2007; Daza et al., 2007b) en cerdo ibérico (100 %) de "montañera" y diferentes de los observados por Serrano et al. (2008) en su estudio realizado en cerdo ibérico (50 % Duroc) "Cebo". En este caso, eran cerdos alimentados con piensos con una composición diferente para el creci-

miento: (19 a 80 kg PV), concentración energética de 9,15 MJ/kg, lisina total del 0,72 % y grasa mezcla animal del 0,8 %; el cebo (80 a 110 kg PV): concentración energética de 9,74 MJ/kg, lisina total del 0,64 %, jabón cálcico en base a oleínas del 1,00 % y grasa mezcla animal del 2,10 %; y el acabado (110 a 145 kg PV): concentración energética de 10,38 MJ/kg, lisina total del 0,51 %, jabón cálcico en base a oleínas del 3,00 % y grasa mezcla animal del 3,00 %. Sin embargo, los valores de C 18:2 obtenidos en el presente experimento alcanzan el mismo nivel que en las investigaciones de Ninoles et al. (2007) y Serrano et al. (2008), y menores que los obtenidos por Daza et al. (2007b); este suceso se explica por la diferencia de consumo de este AG en cada caso, ya que la concentración de C18:2 en la grasa del cerdo es directamente proporcional a la cantidad consumida (Wood et al., 2008; Isabel et al., 2014). Este AG juega un papel esencial en la consistencia de la grasa y su menor acumulación en cerdo ibérico está relacionada tanto por su consumo como por su capacidad de utilizarlo a través de la beta-oxidación (Isabel et al., 2014). Por otro lado, por el factor de los antioxidantes no se encontraron diferencias significativas en el pienso sobre el contenido de los AG de síntesis endógena y de resultado de la desaturación, AGS y AGMI, respectivamente (Óvilo et al., 2014), y sí sobre el contenido de AGPI absorbidos por la dieta. Los animales VEQM con respecto a los VE obtuvieron un contenido significativamente mayor de todos los AGPI analizados AG C 18:2, C 18:3 y una relación omega-6:omega-3 significativamente menor por el destacable efecto antioxidante sobre estos AG especialmente sensibles a la oxidación (Cholewski et al. 2018), destacando el contenido de omega-3 de un 0,74 % en VEQM respecto al 0,57 % en los VE, por lo que la suplementación en la dieta con antioxidantes adicionales son necesarios para su

mayor absorción (Heras-Molina et al., 2020). En este sentido, la estrategia de la administración de polifenoles de la uva junto a la vitamina E pudo mejorar la disponibilidad de estos AG de la dieta, del mismo modo que el hidroxitirosol disminuye la peroxidación de los lípidos e incrementa la disponibilidad fetal de AG omega-3 y omega-6 poliinsaturados (García-Contreras et al., 2019). Por lo tanto, la estrategia de alimentación seguida en este estudio fue de especial interés, encontrando rutas para manipular la composición de AG de la carne en virtud de producir alimentos funcionales (Coates et al., 2009). Dietas ricas en ácido oleico y una baja proporción omega-6:omega-3 muestran propiedades antiinflamatorias (Fernández et al., 2018), reducen los niveles de colesterol y se asocian con una menor incidencia en enfermedades cardiovasculares (Mattson y Grundy, 1985). En general, bajar la relación omega-6:omega-3 en la dieta a 5:1 puede ser beneficioso para los perfiles lipídicos en la sangre, mejorando el valor nutricional de la carne de cerdo, sin efecto adverso sobre el rendimiento del crecimiento y los parámetros de calidad de la carne (Liu y Kim, 2018).

Conclusiones

El presente estudio sugirió que el tipo genético obtenido aplicando selección genética mejoró la cantidad y calidad de la grasa. Además, que la utilización de una combinación de antioxidantes en el pienso pareció efectiva para incrementar el valor nutricional de la carne y protegerla frente a la oxidación. Estos hallazgos sirven para aumentar el valor añadido a la carne de cerdo ibérico en su faceta "Cebo de Campo", otorgándole propiedades nutricionales y sensoriales de gran interés para el consumidor.

Agradecimientos

Los autores agradecen al equipo humano de la empresa Campojerez, S.L. el apoyo técnico y la disponibilidad de sus instalaciones 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

- AOAC (2006). Official Methods of Analysis of the Association Official Analytical Chemist, 18th ed. Scientific Research. Atlanta, GA, USA.
- Barbero A., Astiz S., López-Bote C.J., Pérez-Solana M.L., Ayuso M., Garcia-Real I., González-Bulnes A. (2013). Maternal malnutrition and offspring sex determine juvenile obesity and metabolic disorders in a swine model of leptin resistance. *PLoS One* 8(10): e78424. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0078424>.
- Bonnette E.D., Kornegay E.T., Lindemann M.D., Hammerberg C. (1990). Humoral and cell-mediated immune response and performance of weaned pigs fed four supplemental vitamin E levels and housed at two nursery temperatures. *Journal of Animal Science* 68: 1337-1345. <https://doi.org/10.2527/1990.6851337x>.
- 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.
- Botsoglou N.A., Fletouris D.J., Papageorgiou G.E., Vassilopoulos V.N., Mantis A.J., Trakatellis AG (1994). Rapid, sensitive and specific thiobarbituric acid method for measuring lipid peroxidation in animal tissue, food and feedstuff samples. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 42: 1931-1937. <https://doi.org/10.1021/JF00045A019>.
- Campbell R.G., Dunkin A.C. (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>.
- Cholewski M., Tomczykowa M., Tomczyk M. (2018). A comprehensive review of chemistry, sources and bioavailability of omega-3 fatty acids. *Nutrients* 10: 1662. <https://doi.org/10.3390/nu10111662>.
- Coates A.M., Sioutis S., Buckley J.D., Howe P.R. (2009). Regular consumption of n-3 fatty acid-enriched pork modifies cardiovascular risk factors. *British Journal of Nutrition* 101: 592-597. <https://doi.org/10.1017/s0007114508025063>.
- Corino C., Oriani G., Pantaleo L., Pastorelli G., Salvatori G. (1999). Influence of dietary vitamin E supplementation on "heavy" pig carcass characteristics, meat quality, and vitamin E status. *Journal of Animal Science* 77: 1755-1761. <https://doi.org/10.2527/1999.7771755x>.
- Daza A., Rey A.I., Menoyo D., Bautista J.M., Olivares A., López-Bote C.J. (2007a). Effect of level of feed restriction during growth and/or fattening on fatty acid composition and lipogenic enzyme activity in heavy pigs. *Animal Feed Science and Technology* 138(1): 61-74. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2006.11.013>.
- Daza A., López-Bote C.J., Olivares A., Menoyo D., Ruiz J. (2007b). Age at the beginning of the fattening period of Iberian pigs under free-range conditions affects growth, carcass characteristics and the fatty acid profile of lipids. *Animal Feed Science and Technology* 139: 81-91. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2007.01.003>.

- Daza A., López-Bote C.J., 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.
- 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. 33-79.
- Duthie G.G. (1999). Determination of activity of antioxidants in human subjects. *Proceedings of the Nutrition Society* 58(4): 1015-1024. <https://doi.org/10.1017/s0029665199001330>.
- Egea M., Linares M.B., Garrido M.D., Madrid J., Hernández F. (2016). Feeding IberianxDuroc cross pigs with crude glycerine: Effects of diet and gender on carcass and meat quality. *Meat Science* 111: 78-84. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2015.08.008>.
- Essén-Gustavsson B., Karlsson A., Lundström K., Enfält A.C. (1994). Intramuscular fat and muscle fibre lipid contents in halothane-gene-free pigs fed high or low protein diets and its relation to meat quality. *Meat Science* 38(2): 269-277. [https://doi.org/10.1016/0309-1740\(94\)90116-3](https://doi.org/10.1016/0309-1740(94)90116-3).
- Estévez M., Morcuende D., Cava R. (2003). Oxidative and colour changes in meat from three lines of free-range reared Iberian pigs slaughtered at 90 kg live weight and from industrial pig during refrigerated storage. *Meat Science* 65(3): 1139-1146. [https://doi.org/10.1016/s0309-1740\(02\)00343-1](https://doi.org/10.1016/s0309-1740(02)00343-1).
- Estévez M., Morcuende D., Cava R. (2006). Extensively reared Iberian pigs versus intensively reared white pigs for the manufacture of frankfurters. *Meat Science* 72(2): 356-364. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2005.08.003>.
- FEDNA (2013). Necesidades nutricionales para ganado porcino; Normas FEDNA. Fundación Española Desarrollo Nutrición Animal. Madrid, España. 110 pp.
- Fernández J. (2018). Modulación de procesos inflamatorios y neoplásicos en colon mediante alimentos funcionales en modelos animales murinos. Tesis doctoral. Universidad de Oviedo (España). Disponible en: https://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/handle/10651/49019/TD_JavierFernandezFernandez.pdf;jsessionid=67BC0095EAAEE2ABC68124A2C0FE6BD9?sequence=1 (Consultado: 25 febrero de 2021).
- García-Contreras C., Vázquez-Gómez M., Pardo Z., Heras-Molina A., Pesantez J.L., Encinas T., Torres-Rovira L., Astiz S., Nieto R., Ovilo C., González-Bulnes A., Isabel B. (2019). Polyphenols and IUGR pregnancies: effects of maternal hydroxytyrosol supplementation on hepatic fat accretion and energy and fatty acids profile of fetal tissues. *Nutrients* 11(7): 1534. <https://doi.org/10.3390/nu11071534>.
- Heras-Molina A., Pesantez-Pacheco J.L., Astiz S., García-Contreras C., Vázquez-Gómez M., Encinas T., Óvilo C., Isabel B., González-Bulnes A. (2020). Maternal supplementation with polyphenols and omega-3 fatty acids during pregnancy: effects on growth, metabolism, and body composition of the offspring. *Animals* 10: 1946. <https://doi.org/10.3390/ani10111946>.
- Isabel B., López-Bote C.J., Rey A.I., Sanz-Arias R. (1999a). Influence of dietary alpha-tocopherol acetate supplementation of pigs on oxidative deterioration and weight loss in sliced dry-cured ham. *Meat Science* 51(3): 227-232. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(98\)00115-6](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(98)00115-6).
- Isabel B., Timón M., Cava R., García C., Ruiz J., Carmona J.M., Soares M., López Bote C.J. (1999b). Dietary α -tocopherol acetate supplementation modifies volatile aldehyde and sensory properties of dry-cured hams. *Irish Journal of Agricultural and Food Research* 38: 137-142.
- Isabel B., Cordero G., Olivares A., Daza A., López-Bote C.J. (2014). Differential response of Iberian and lean pig crossbreeds to dietary linoleic acid administration. *Spanish Journal of Agricultural Research* 12(2): 419-426. <https://doi.org/10.5424/sjar/2014122-4361>.
- ISO 1442:1997. Meat and meat products. Determination of moisture content. International Organization for Standardization Publications.
- Liu W.C., Kim I.H. (2018). Effects of different dietary n-6:n-3 PUFA ratios on growth performance, blood lipid profiles, fatty acid composition of pork, carcass traits and meat quality in finis-

- hing pigs. *Annals of Animal Science* 18: 143-154. <https://doi.org/10.1515/aoas-2017-0026>.
- López-Bote C.J., Isabel B., Ruiz J., Daza A. (2003). Effect of Vitamin E supplementation and partial substitution of poly- with mono-unsaturated fatty acids in pig diets on muscle, and microsome extract α -tocopherol concentration and lipid oxidation. *Archives of animal nutrition* 57(1): 11-25. <https://doi.org/10.1080/0003942031000086653>
- McCann M.E.E., Magowan E. (2004). The evaluation of ultrasonic instruments used to measure the depth of back fat at P2 in live pigs. UFU and PPDC Committees, AFBINI. Disponible en: www.afbini.gov.uk (Consultado: 25 febrero de 2017).
- Mattson F.H., Grundy S.M. (1985). Comparison of effects of dietary saturated, monounsaturated, and polyunsaturated fatty acids on plasma lipids and lipoproteins in man. *Journal of Lipid Research* 26(2): 194-202. [https://doi.org/10.1016/S0022-2275\(20\)34389-3](https://doi.org/10.1016/S0022-2275(20)34389-3).
- Morel P.C.H., McIntosh J.C., Janz J.A.M. (2006). Alteration of the fatty acid profile of pork by dietary manipulation. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 19: 431-437. <https://doi.org/10.5713/ajas.2006.431>.
- Niñoles L., Clemente G., Ventanas S., Benedito J. (2007). Quality assessment of Iberian pigs through backfat ultrasound characterization and fatty acid composition. *Meat Science* 76(1): 102-111. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2006.10.018>.
- NRC (2012). *Nutrient Requirements of Swine*. 11th Ed. The National Academies Press, Washington, DC.
- Óvilo C., Benítez R., Fernández A., Núñez Y., Ayuso M., Fernández A.I., Rodríguez C., Isabel B., Rey A.I., López-Bote C.J., Silió L. (2014). Longissimus dorsi transcriptome analysis of purebred and crossbred Iberian pigs differing in muscle characteristics. *BMC Genomics* 15: 413. <https://doi.org/10.1186/1471-2164-15-413>.
- Rey A., López-Bote C., Soares M., Isabel B. (1996). Determination of α -tocopherol in pork with high intramuscular fat content. *Grasas y Aceites* 47: 331-334. <https://doi.org/10.3989/gya.1996.v47.i5.877>.
- Serrano M.P., Valencia D.G., Nieto M., Lázaro R., Mateos G.G. (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(4): 420-428. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2007.07.006>.
- Thomas A.G., Miller V., Shenkin A., Fell G.S., Taylor F. (1994). Selenium and glutathione peroxidase status in paediatric health and gastrointestinal disease. *Journal of Pediatric Gastroenterology And Nutrition* 19: 213-219. <https://doi.org/10.1097/00005176-199408000-00012>.
- 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.
- Vázquez-Gómez M., García-Contreras C., Astiz S., Torres-Rovira L., Fernández-Moya E., Olivares A., Daza A., Óvilo C., González-Bulnes A., Isabel B. (2020). Piglet birthweight and sex affect growth performance and fatty acid composition in fatty pigs. *Animal Production Science* 60(4): 573-583. <https://doi.org/10.1071/AN18254>.
- Wood J.D., Enser M., Fisher A.V., Nute G.R., Sheard P.R., Richardson R.I., Hughes S.I., Whittington F.M. (2008). Fat deposition, fatty acid composition and meat quality: A review. *Meat Science* 78(4):343-358. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2007.07.019>.

(Aceptado para publicación el 29 de agosto de 2023)

Compromiso de los ciudadanos españoles con la sostenibilidad en el consumo de alimentos: diferencias entre dos regiones españolas con diferente especialización productiva

Olda Lami¹, Francisco J. Mesías^{1,2,*}, Handan Giray³ y Federico Martínez-Carrasco⁴

¹ Departamento de Economía, Universidad de Extremadura, Avda. Adolfo Suárez, s/n, 06007 Badajoz, España.

² Instituto Universitario de Investigación de Recursos Agrarios (INURA), Universidad de Extremadura, Avda. Adolfo Suárez, s/n, 06007 Badajoz, España.

³ Departamento de Economía Agraria. Facultad de Agricultura. Eski ehir Osmangazi University. Turquía.

⁴ Departamento de Economía Aplicada. Facultad de Economía y Empresa, Universidad de Murcia. Campus de Espinardo, Edificio nº 2, 30100 Murcia, España.

Resumen

Esta investigación analiza el nivel de compromiso con la sostenibilidad de los consumidores españoles, y su percepción y preferencias hacia alimentos, sistemas de producción y prácticas de consumo más sostenibles. A partir del análisis de una encuesta realizada a 324 consumidores de las regiones de Extremadura y Murcia, se analiza la percepción de los ciudadanos sobre la sostenibilidad de su consumo y de los diferentes sistemas de producción, prestando especial atención a sus opiniones hacia prácticas de producción vegetal y cárnica más sostenibles, sistemas más característicos de las regiones estudiadas. Los resultados muestran que los consumidores son en general muy conocedores y conscientes del impacto de su consumo de alimentos sobre el medio ambiente. Aunque esta percepción no se refleja en la compra de alimentos sostenibles para un segmento importante de la población, sí se traduce en sus esfuerzos por participar en el reciclaje, la reducción de residuos o en cambios en sus hábitos de consumo relacionados con la salud. Los análisis bivariantes y de conglomerados realizados han identificado la existencia de un importante segmento de ciudadanos con altos niveles de sensibilidad medioambiental, en el que sí se identifican prácticas de consumo sostenible y una preferencia por la compra de alimentos sostenibles, concediendo una alta importancia en la compra a su impacto sobre el medio ambiente. Además, están en gran medida dispuestos a pagar más por ellos, reflejo de una creciente preocupación y sensibilidad de los consumidores españoles por el impacto de sus actos de compra de alimentos.

Palabras clave: Consumo sostenible, diferencias regionales, alimentos, consumidor, Región de Murcia, Extremadura.

* Autor para correspondencia: fjmesias@unex.es

Cita del artículo: Lami O., Mesías F.J., Giray H., Martínez-Carrasco F. (2023). Compromiso de los ciudadanos españoles con la sostenibilidad en el consumo de alimentos: diferencias entre dos regiones españolas con diferente especialización productiva. ITEA-Información Técnica Económica Agraria 119(4): 387-406. <https://doi.org/10.12706/itea.2023.010>



Copyright: © 2023 de los autores. Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la licencia de uso y distribución Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY NC SA 4.0)

Commitment of Spanish citizens with sustainability in food consumption: differences between Spanish regions according to their productive specialisation

Abstract

This research analyses the level of commitment towards sustainability of Spanish consumers, and their perceptions and preferences towards more sustainable food, production systems and consumption practices. Based on the analysis of a survey of 324 consumers in the regions of Extremadura and Murcia, it analyses citizens' perception of the sustainability of their consumption and of different production systems, paying special attention to their opinions towards more sustainable vegetable and meat production practices, the most characteristic systems in the regions studied. The results show that consumers are generally very knowledgeable and aware of the impact of their food consumption on the environment. Although this perception is not reflected in the purchase of sustainable food for a significant segment of the population, it does translate into their efforts to participate in recycling, waste reduction or changes in their health-related consumption habits. Bivariate and cluster analyses have identified the existence of an important segment of citizens with high levels of environmental sensitivity, in which sustainable consumption practices and a preference for the purchase of sustainable food are identified, with a high level of importance attached to environmental impact when purchasing. In addition, they are largely willing to pay more for them, reflecting a growing concern and sensitivity of Spanish consumers to the impact of their food purchasing actions.

Keywords: Sustainable consumption, regional differences, food, consumer, Murcia, Extremadura.

Introducción

La sostenibilidad es un concepto complejo, aunque cada vez más presente en nuestra sociedad, donde se utiliza de manera generalizada, y casi podría decirse que indiscriminada, lo que supone una complicación para los consumidores cuando tienen que interpretar a qué se refiere ese término aplicado a productos de naturaleza muy variada (Johnston *et al.*, 2007).

A la hora de definir la sostenibilidad una de las referencias obligadas es el "Informe Brundtland", que fue el primer intento de conjugar desarrollo y sostenibilidad, y que define el desarrollo sostenible como "aquel que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de generaciones futuras de satisfacer sus propias necesidades" (WCED, 1987). De éste derivan otras definiciones que pueden ser más comprensivas, como por ejemplo la "satisfacción de las necesidades actuales de la sociedad sin comprometer la capacidad de las generaciones fu-

turas de satisfacer las suyas, garantizando el equilibrio entre crecimiento económico, cuidado del medio ambiente y bienestar social". Aparecen así las tres vertientes básicas de la sostenibilidad: por un lado, la sostenibilidad ambiental (evitar la degradación ambiental), por otro lado, la económica (crecimiento económico) y finalmente la social (necesidad de ese crecimiento para aliviar la pobreza).

El consumo de alimentos es una de las áreas que más influye en el desarrollo sostenible –especialmente ambiental– aunque muchos consumidores no son completamente conscientes de la asociación entre su consumo y el impacto ambiental de la producción de alimentos (Eldesouky *et al.*, 2020). Por otro lado, la creciente preocupación social por los impactos ambientales causados por la necesidad de producir alimentos para satisfacer la demanda mundial (Florindo *et al.*, 2017) ha hecho que el interés de los consumidores por la forma en que se producen sus alimentos y los métodos de producción utilizados sea cada vez mayor (Briggeman y Lusk, 2011).

El consumo sostenible de alimentos se referiría así a las pautas de consumo que son compatibles desde el punto de vista económico, social y ambiental en todas las esferas del sistema alimentario, desde la producción, el procesamiento y la distribución de alimentos, hasta la compra de alimentos por parte de los consumidores y la eliminación de desechos (Pack, 2007). Por todo ello, hay una creciente necesidad de que el consumo de los hogares y los ciudadanos españoles y de otros países desarrollados tienda a ser más sostenible, lo que además de deber considerar aspectos como su movilidad o el uso de energía, ha de tener también presente el impacto medioambiental o social asociado al consumo de alimentos.

En este contexto y entre otros motivos, la creciente conciencia de los ciudadanos sobre la importancia de que los alimentos que consumen sean más respetuosos con el medio ambiente está motivando cambios en los modelos de consumo y producción del sector agroalimentario, que deben tender hacia sistemas productivos más eficientes en el uso de los recursos naturales y con menos impactos, lo que debe reflejarse en un cambio en los estilos de vida. Cabe recordar que, por ejemplo, en España un ciudadano ingirió en 2021 en promedio 731,89 kg o L de alimentos y bebidas, siendo en su mayor parte (86,7 %) consumidos en el hogar (MAPA, 2022a). Se estima una reducción del desperdicio alimentario en los hogares entre los años 2021 y 2022, que ha pasado de los 670,67 millones de kg o L de alimentos y bebidas tirados a la basura, a 588,44 millones de kg o L en 2022 (MAPA, 2022b).

Como señalan Martínez-Álvarez *et al.* (2021), la sostenibilidad y la alimentación saludable son los ejes en torno a los cuales girará el consumo de alimentos en las próximas décadas. Para ello, el sector productor y toda la cadena de valor deberán impulsar una producción en la que se utilicen menos recursos y se desarrollen procesos de menor impacto medioambiental, recordando la necesidad de

aprovechar los desechos, desarrollar sistemas de envasado más sostenibles o desarrollar productos saludables. Estas tendencias sin duda serán impulsadas con el desarrollo de la estrategia comunitaria “De la granja a la mesa”, dirigida a alcanzar sistemas alimentarios más sostenibles, que contribuyan a revertir el cambio climático o la pérdida de biodiversidad, sin olvidar la importancia de garantizarse la seguridad alimentaria y sistemas de producción de alimentos más sostenibles en el ámbito europeo (Unión Europea, 2020).

Todo esto ha llevado al crecimiento de una serie de planes de etiquetado de sostenibilidad en la industria alimentaria, con los que se pretende comunicar a los consumidores información relacionada con la sostenibilidad de los alimentos (Caputo *et al.*, 2013). Entre los instrumentos más populares de certificación sostenible se encuentran numerosos logotipos y certificaciones, siendo los más conocidos el de productos ecológicos, el de Comercio Justo, el de Rainforest Alliance y otros relacionados con el bienestar animal o la huella de carbono (Grunert *et al.*, 2014; El-desouky *et al.*, 2020). Sin embargo, la falta de familiaridad de los consumidores con el concepto de sostenibilidad dificulta la evaluación y comparación de los diferentes productos que se ofrecen (Kemp *et al.*, 2010). Esto hace que las empresas alimentarias estén interesadas en analizar la influencia que tiene en los consumidores el concepto de sostenibilidad, incidiendo no solo en su conocimiento, sino también en el reflejo del mismo en su comportamiento de compra y consumo.

Por otro lado, los cambios demográficos y de estilos de vida, están propiciando una creciente demanda de productos frescos y saludables, o de conveniencia. Además, se están generando nuevas tendencias en el consumo de alimentos, apareciendo segmentos de población cada vez más concienciados con el impacto de su consumo, la relación entre los alimentos y la salud, o la generación de resi-

duos, contribuyendo al impulso de sistemas alimentarias más sostenibles. Los cambios descritos han hecho que ya en 2019 la OCU (2019) estimara que un 73 % de los españoles tenían en cuenta aspectos éticos-medioambientales en su consumo, con porcentajes también elevados de consumidores que evitan generar desperdicios alimentarios (78 %), intentan no comprar productos sobreenvasados (71 %), o manifiestan procurar hacer compras de proximidad (61 %), retos hacia los que se debe dirigir la industria agroalimentaria española (FIAB y AINIA, 2014).

Por todo ello, el objetivo de este estudio es analizar el nivel de compromiso con la sostenibilidad de los consumidores en dos regiones españolas, y su percepción y preferencias hacia alimentos, sistemas de producción y prácticas de consumo más sostenibles, haciendo un análisis de las diferencias regionales en función de la especialización productiva

de dos Comunidades Autónomas españolas. La comparativa planteada para los consumidores de las dos CCAA estudiadas se basa en su particular orientación productiva, una en el ámbito de los productos cárnicos (Extremadura) y otra en frutas y hortalizas (Región de Murcia), lo que pudiera permitir identificar diferentes sensibilidades de los consumidores, como en el caso de otros estudios como el de Nacef et al. (2019). Hay que destacar el protagonismo que la primera tiene en la producción extensiva ganadera, de cerdo ibérico, vacuno, caprino y ovino, que la lleva a acaparar el 18,01 % de la superficie de pastos existentes en España, según datos del Anuario de Estadística 2021 del MAPA (2022), cuando el total de su superficie es el 8,23 % del territorio nacional, frente a la Región de Murcia que, siendo apenas un 2,3 % del territorio nacional, acapara un 16,51 % del regadío nacional o el 5,52 % de la superficie de culti-

Tabla 1. Características sociodemográficas de la muestra.
Table 1. Socio-demographic characteristics of the sample.

	Variable	%
Sexo	Mujer	58,0
	Hombre	42,0
Edad del encuestado	18-35 años	43,8
	36-50 años	25,6
	>50 años	30,6
Tamaño de la familia	1-2	26,2
	3-4	58,3
	5 y más	15,5
Nivel de estudios	Estudios primarios	12,0
	Secundaria	27,8
	Universidad	60,2
Nivel de renta	<1,500 €/mes	22,5
	1.500-2.500 €/mes	31,8
	2.501-3.500 €/mes	27,8
	>3.500 €/mes	17,9

vos protegidos, que determinan su protagonismo, respectivamente, en la producción de frutas de hueso y en la producción intensiva de hortalizas. Además de tenerse presente en el análisis cruzado la comunidad de origen, junto a otras variables sociodemográficas, con el fin de identificar los tipos de consumidores se ha realizado una segmentación en función de su percepción y comportamiento respecto a la sostenibilidad, identificándose a los consumidores con mayor potencial de compra de este tipo de productos.

Este estudio puede ayudar a llenar el vacío de conocimiento entre los agricultores, la industria alimentaria, los establecimientos detallistas y los consumidores sobre cuestiones clave para el sector agroalimentario como es el nivel de conocimiento y consumo de alimentos sostenibles o la identificación de los segmentos de ciudadanos encuestados más predisuestos a su consumo.

En la siguiente sección se comienza con una descripción del procedimiento de recogida de datos y la metodología que se ha seguido para llevar a cabo esta investigación. Posteriormente, se presentan los resultados del estudio, con una discusión en base a investigaciones previas del tema. Por último, se exponen las principales conclusiones del trabajo, proponiéndose futuras líneas de investigación.

Material y métodos

Recogida de datos

Los datos analizados en este artículo se obtuvieron a partir de una encuesta realizada a 324 consumidores responsables de la compra alimentos de dos Comunidades Autónomas (CCAA) españolas, Extremadura (162) y la Región de Murcia (162). Así y para un intervalo de confianza del 95 % y una población objetivo-infinita a efectos de muestreo, se obtienen unos errores en proporciones medias

del 5,55 %; 7,85 % y 7,85 %, para España, Región de Murcia y Extremadura respectivamente. Estos tamaños muestrales son en ambas zonas similares a los empleados a nivel regional en el Panel del Consumo Alimentario del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA, 2021) correspondientes a datos del año 2020, lo que permite no sólo un análisis comparado de diferencias regionales de gran interés, sino que también posibilitaría el contrastar los resultados de ambos análisis.

Ambas regiones cuentan con un reducido tamaño poblacional en el contexto nacional (algo más de un millón de habitantes en el caso de Extremadura y 1,5 millones en la Región de Murcia), siendo además ambas importantes zonas de producción agroalimentaria en España, sabiendo que Murcia es una de las zonas más destacadas de producción vegetal mientras que Extremadura es un referente en la producción animal. Dado que los limitados recursos disponibles para la investigación impidieron el desarrollo del estudio en el conjunto de España, los resultados no pueden ser generalizados para el conjunto del mercado español sin las correspondientes reservas.

La recogida de datos se realizó por medio de un cuestionario diseñado en Google Forms que se distribuyó entre octubre de 2020 y abril de 2021. A pesar de las limitaciones de los estudios online (sesgo, falta de control sobre la representatividad de la muestra...), éstos presentan ventajas como su flexibilidad, bajo coste y rapidez en la recogida de datos que los hacen muy adecuados para los estudios de mercado (Viana *et al.*, 2016; Elghanam *et al.*, 2018). Los participantes fueron contactados por email utilizando bases de datos creadas por el equipo investigador en trabajos anteriores, en los que los entrevistados facilitaron sus datos de contacto para futuras investigaciones, lo que implica la utilización de un muestreo de conveniencia.

El cuestionario diseñado incluía una parte inicial en la que los consumidores tenían que autovalorar su concienciación acerca de la sostenibilidad (*¿Es Ud. consciente de que la producción y distribución de los alimentos que consume tiene un impacto medioambiental?*), su conocimiento de la producción sostenible de alimentos (*¿Conoce y ha consumido alguna vez alimentos producidos de forma sostenible? En caso afirmativo, indique cuáles*), su consumo habitual de estos alimentos (*¿Consume habitualmente alimentos producidos de forma sostenible?*) y finalmente su disposición a cambiar sus hábitos de consumo hacia pautas más sostenibles (*¿Cree que es posible que cambie qué y cómo compra para que sus hábitos sean más sostenibles?*). En la respuesta a esta pregunta se diferenció entre los que entendían que su comportamiento individual era importante y aquellos que consideraban que correspondía a otros actores (empresas, administración, etc.) o sectores (energía, etc.) modificar sus impactos.

Como se suponía que algunos participantes podrían no estar familiarizados con el concepto de sostenibilidad, antes de pasar a otras secciones del cuestionario se incluyó la siguiente definición:

"La sostenibilidad se refiere a la satisfacción de las necesidades actuales de la sociedad sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer las suyas, garantizando un equilibrio entre el crecimiento económico, la protección del medio ambiente y el bienestar social. Existen varios conceptos relacionados, como la sostenibilidad medioambiental (que hace hincapié en preservar la biodiversidad sin tener que renunciar al progreso económico y social), la sostenibilidad económica (que busca la rentabilidad de las actividades de forma sostenible) y la sostenibilidad social (que busca la cohesión y la estabilidad de la población)".

Posteriormente se plantearon preguntas de autovaloración acerca de su nivel de acuerdo (escala likert de 1 a 5) para once afirmaciones relacionadas con la sostenibilidad en el consumo de alimentos, y que se centraban en las percepciones y hábitos de compra y consumo sostenibles de los encuestados, atendiendo al impacto de la compra/consumo en las distintas fases de la cadena alimentaria (producción, distribución, consumo y generación de desechos, etc.). El cuestionario se puede encontrar en el material complementario.

Segmentación

En este trabajo se ha utilizado el análisis de conglomerados para realizar la segmentación, identificando subgrupos homogéneos de consumidores que podrían mostrar diferentes percepciones y niveles de compromiso hacia la sostenibilidad.

Los cálculos se llevaron a cabo con el módulo Clúster del paquete estadístico IBM SPSS 21 y mediante un procedimiento k-means, ya que es el más habitualmente utilizado (Jain y Dubes, 1988) y presenta varias ventajas, al ser uno de los algoritmos de aprendizaje supervisados más rápido y sencillo, sin necesidad de establecer suposiciones o tener un conocimiento previo de los datos, aportando al investigador flexibilidad en la determinación e interpretabilidad de los grupos, y siendo útil en el caso de combinar datos numéricos, categóricos y mixtos. Se utilizaron como datos de entrada las once variables mencionadas en el apartado anterior (percepciones y hábitos de compra y consumo sostenibles). Tras valorar distintas soluciones, se optó finalmente por una solución de tres grupos, debido a su mayor significación estadística, el tamaño relativo de los segmentos y la interpretación de los mismos realizada por el equipo de investigación.

Resultados y discusión

Nivel de concienciación medioambiental, conocimiento y consumo de alimentos sostenibles

Como ya se ha comentado en la sección anterior, el estudio comenzaba evaluando la concienciación y el conocimiento de la sostenibilidad y la producción sostenible de alimentos, así como el consumo de lo que se ha denominado en este estudio alimentos sostenibles (AS) (aquellos producidos de forma sostenible) y la disposición de los encuestados para cambiar sus hábitos de consumo hacia modelos más sostenibles (Tabla 2).

Los resultados que aparecen en la Tabla 2 muestran el alto % de ciudadanos que afirman ser conscientes del impacto que la producción y consumo de sus alimentos tiene sobre el medio ambiente. Así, la práctica totalidad de los ciudadanos (97,5 %) dice ser consciente de la importancia que su consumo de alimentos tiene sobre el medio ambiente. No obstante, sólo el 63,9 % dice conocer los alimentos cuya producción es sostenible, habiéndolos consumido ocasionalmente, siendo aún menor el porcentaje de los que indican consumir estos AS con alguna frecuencia (48,8 %).

Estos resultados no coinciden con los encontrados por Hartmann et al. (2021), quienes in-

Tabla 2. Concienciación, conocimiento y disposición al consumo de alimentos sostenibles.
Table 2. Awareness, knowledge and willingness to consume Sustainable Food.

Conciencia ^a	%	Conocimiento ^b	%	Dispuesto a cambiar hábitos de compra ^c	%	Consumo de alimentos sostenibles ^d	%
No	2,5	No	36,1	No	4,3	No	51,2
Si	97,5	Si	63,9	Si ^{impacto bajo}	29,0	Si	48,8
				Si ^{dispuesto a cambiar}	66,7		
Total	100	Total	100	Total	100	Total	100

^a¿Es consciente de que la producción y distribución de los alimentos que consume tiene un impacto medioambiental? ^b¿Conoce y ha consumido alguna vez alimentos producidos de forma sostenible? ^c¿Cree que es posible que cambie qué y cómo compra para que sus hábitos sean más sostenibles? Respuestas: No; Sí, pero considero que tiene un bajo impacto ya que hay otros sectores que tienen un impacto ambiental mucho mayor (industria, transporte, etc.); Sí. ^d¿Consume regularmente alimentos producidos de forma sostenible?

dican que los niveles de conocimiento del impacto ambiental de los alimentos suelen ser bajos entre los consumidores, siendo esta la primera barrera para facilitar el cambio hacia comportamientos de consumo más respetuosos con el medio ambiente. No obstante, García-González et al. (2020) encontraron unos niveles de conocimiento en general elevados

sobre el impacto ambiental de la producción de alimentos y la sostenibilidad.

Aunque en dicho estudio se encontró también que las actitudes positivas hacia la protección del medio ambiente estaban positivamente correlacionadas con mayores niveles de conocimiento, otros trabajos (Moser, 2015; Bryła, 2016) indican que el conocimiento por sí solo

no equivale al comportamiento. Así, y aunque las personas pueden tener una comprensión básica del impacto ambiental de los alimentos, diversas barreras prácticas y motivacionales, como el precio, las expectativas negativas sobre el sabor o la escasa disponibilidad, pueden impedir que los consumidores compren la opción más respetuosa con el medio ambiente. Esto es lo que podría explicar también en nuestros resultados la bajada en respuestas positivas entre el primer ítem (concienciación) y el segundo (consumo de AS).

Finalmente, y con respecto a la disposición a cambiar los hábitos de compra y consumo, es de destacar que prácticamente la totalidad de la muestra (95,7 %) considera que es posible introducir cambios en sus hábitos de compra y consumo para hacerlos más sostenibles. En este porcentaje tan elevado se incluiría el 29 % de encuestados que consideran que un cambio en sus hábitos de consumo tendría poco impacto sobre el medio ambiente, y que responsabilizan de ello a otros actores –como el transporte, la industria o la energía–. A es-

tos se les puede considerar como consumidores escasamente motivados para cambiar hacia patrones de consumo sostenible.

Se debe tener también en cuenta que, incluso los consumidores más motivados, pueden encontrar trabas para cambiar sus hábitos alimentarios, ya que las alternativas alimentarias con menos impacto en el medio ambiente (alimentos menos procesados o frescos o de producción local, por ejemplo) pueden requerir un esfuerzo extra por parte de los consumidores (procesos de compra más complejos, búsqueda de información para cocinar y tiempo para la elaboración) que los haga considerarlos menos convenientes (Hoek et al., 2017).

La Tabla 3 muestra los resultados de concienciación, conocimiento y disposición a consumir AS para cada una de las dos regiones estudiadas. Como se aprecia en dicha tabla, los resultados alcanzados son similares en las submuestras de población de Extremadura y de la Región de Murcia, no identificándose diferencias significativas entre ambas.

Tabla 3. Concienciación, conocimiento y disposición al consumo de alimentos sostenibles (AS) para cada una de las dos regiones estudiadas.

Table 3. Awareness, knowledge and willingness to consume sustainable food in each of the studied regions.

	Conciencia ^a n.s.		Conocimiento ^b n.s.		Dispuesto a cambiar hábitos de compra ^c n.s.			Consumo de AS ^d n.s.	
	No	Sí	No	Sí	No	Sí Impacto Bajo	Sí dispuesto a cambiar	No	Sí
Extremadura	1,9	98,1	35,4	64,6	3,7	27,2	69,1	35	65
Murcia	3,1	96,9	37,7	62,3	4,9	30,9	64,2	37,3	62,7

^a¿Es consciente de que la producción y distribución de los alimentos que consume tiene un impacto medioambiental? ^b¿Conoce y ha consumido alguna vez alimentos producidos de forma sostenible? ^c¿Cree que es posible que cambie qué y cómo compra para que sus hábitos sean más sostenibles? Respuestas: No; Sí, pero considero que tiene un bajo impacto ya que hay otros sectores que tienen un impacto ambiental mucho mayor (industria, transporte, etc.); Sí. ^d¿Consumo regularmente alimentos producidos de forma sostenible?. n.s.: no hay diferencias significativas entre las dos regiones.

A aquellos encuestados que habían indicado que conocían y habían consumido AS, se les preguntó que indicaran cuales, mostrándose esta información en la Figura 1, una representación visual de la frecuencia de palabras en un texto compuesto, denominada "nube

de palabras", realizada con *Atlas.ti*; según este, cuanto más a menudo se mencione una palabra entre la lista de los alimentos sostenibles mencionados por los consumidores encuestados, mayor será su tamaño en la imagen generada (Atenstaedt, 2012).

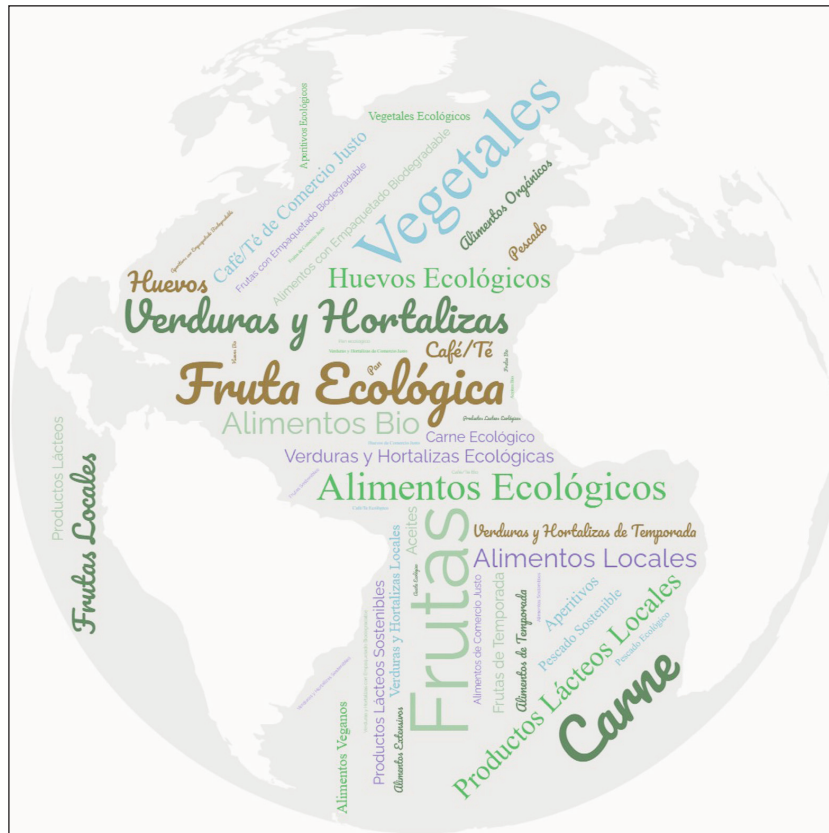


Figura 1. Alimentos sostenibles mencionados por los encuestados.
 Figure 1. Sustainable foods mentioned by the survey respondents.

Como puede observarse, los alimentos más frecuentemente enumerados se corresponden con alimentos frescos de origen vegetal, especialmente frutas, verduras y hortalizas. Aparecen también algunos conceptos interesantes desde el punto de vista de la sostenibilidad, aunque con menores frecuencias

de mención, como son los alimentos ecológicos (frutas, verduras, huevos o carnes), los de proximidad o los de temporada. Los alimentos de origen animal que aparecen asociados a atributos de producción sostenible son las carnes extensivas o los huevos ecológicos.

La Figura 1 vendría a corroborar los resultados anteriormente presentados sobre el conocimiento de los consumidores de los AS, ya que los alimentos de origen vegetal como los cereales o las verduras tienen un impacto ambiental significativamente menor que las carnes (Poore y Nemecek, 2018). También es de destacar que algunos de los conceptos mencionados han sido identificados en investigaciones previas, como los alimentos locales/de proximidad (De Canio y Martinelli, 2021), o los de consumo responsable (Sama et al., 2018).

Puede considerarse que esta buena identificación de los AS por parte de los encuestados se podría deber en parte al lugar de realización del estudio (España) donde la dieta mediterránea tiene una gran importancia y que pueden identificar con una dieta sostenible. En este sentido, estudios como los de Berry (2019) y Capone et al. (2021) señalan a la dieta mediterránea como un modelo de dieta sostenible y saludable, que adicionalmente aporta beneficios económicos y socioculturales, mientras que Annunziata et al. (2019) encontraron una mayor probabilidad de comprar AS (ecológicos y locales) en los consumidores que seguían en mayor medida la dieta mediterránea.

Comportamientos sostenibles en el consumo de alimentos

Con objeto de evaluar el comportamiento de consumo sostenible de los encuestados, se les pidió que indicaran su nivel de acuerdo o desacuerdo con una serie de afirmaciones (Tabla 4), donde los resultados se han diferenciado en función de si los participantes habían indicado que consumían AS de manera habitual.

La Tabla 4 muestra que, aunque el conocimiento de estos aspectos por parte de los ciudadanos es en general elevado, su autoevaluación es significativamente mayor, como cabría esperar, entre quienes indican que consumen AS.

La Tabla 4 muestra un alto nivel de compromiso de los encuestados con la protección del medio ambiente (reducir el desperdicio de alimentos, reciclar o comprar alimentos a granel), la economía local (comprar alimentos de mayor proximidad) y la salud (seguir una dieta equilibrada), lo que refleja el carácter multifacético de la sostenibilidad y como el consumidor así lo percibe (Mesías et al., 2023).

También hay que destacar que, además del mayor nivel de compromiso con la sostenibilidad que muestran los consumidores de AS, también presentan una menor preocupación por el precio de los alimentos. Es decir, los consumidores de AS, al dar prioridad en su elección de alimentos a determinados aspectos –salud, medio ambiente, economía local– son más conscientes de los costes de producción de este tipo de alimentos y, por tanto, asumen que tendrán que pagar un precio más elevado que el de los alimentos convencionales, en consonancia con lo descrito en otros estudios (De-Magistris y Gracia, 2016; Sama et al., 2018; De Canio y Martinelli, 2021). El único caso en el que un ítem ha tenido una puntuación más alta por parte de los No consumidores de AS es en la número 5, que indicaría cómo ese grupo da una mayor importancia al precio. Esta diferencia significativa, como se menciona en otros estudios, estaría indicando cómo el precio es considerada como una barrera para el aumento del consumo de productos ambientalmente responsables (Moser, 2015; Bryła, 2016).

Uno de los aspectos con mayor puntuación es el mantenimiento de una dieta equilibrada, porque les preocupa el efecto de los alimentos en su salud, observándose una mayor puntuación para los que consumen AS. Esto está en línea con estudios que han encontrado una relación positiva entre dietas saludables y sostenibles (Ditlevsen et al., 2020; de Boer y Aiking, 2022).

Tabla 4. Autovaloración de las percepciones y hábitos de compra y consumo sostenibles (1 = totalmente en desacuerdo; 5 = totalmente de acuerdo) en función del consumo de alimentos sostenibles (AS).
Table 4. Self-assessment of perceptions and habits of sustainable purchasing and consumption (1 = strongly disagree; 5 = strongly agree) as a function of sustainable food consumption.

Procura en su compra ^a	Consume AS		
	No	Sí	Total
1. Procuero consumir alimentos sin envasar o a granel***	3,87	4,16	4,01
2. Trato de comprar productos locales y nacionales por el impacto del transporte***	3,60	4,20	3,89
3. Trato de comprar productos locales y nacionales por el empleo/riqueza que generan***	3,83	4,34	4,08
4. Trato de comprar carne producida de manera tradicional y que contribuya a la conservación del medio ambiente***	3,42	3,80	3,60
5. La producción intensiva de alimentos garantiza precios asequibles, que es mi principal preocupación*	2,89	2,64	2,77
6. Procuero que mi compra de alimentos se ajuste a lo que necesito y reutilizo alimentos**	4,37	4,64	4,50
7. Procuero reciclar de manera activa en mi hogar**	4,01	4,30	4,15
8. Sigo una dieta equilibrada, porque me preocupa el efecto de la alimentación en mi salud**	4,15	4,38	4,26
9. La producción moderna de vegetales tiene un gran impacto ambiental***	2,89	3,78	3,34
10. El consumo de carne influye negativamente en la sostenibilidad***	3,08	3,47	3,27
11. Procuero comprar vegetales producidos de manera más natural, ecológicos...*	3,01	3,72	3,36

^aSignificación: * $p < 0,1$. ** $p < 0,05$. *** $p < 0,01$; n.s.: no significativo.

Diferencias regionales en los comportamientos sostenibles en relación con el consumo de alimentos vegetales y carne

La diferenciación de los consumidores según la localización de las dos submuestras (Extremadura y Región de Murcia), nos permitió comprobar cómo en 5 de los aspectos evaluados sobre sus hábitos y percepciones de consumo alimentario, no existen diferencias según la región en la que resida el consumidor. En cambio, sí se observaron diferencias significativas entre los consumidores de am-

bas regiones españolas en otros ítems, tal y como se describe en la Tabla 5, mostrando una mayor sensibilidad de los consumidores extremeños en tres aspectos: una mayor autovaloración del esfuerzo realizado en reciclaje y separación selectiva de residuos en el hogar; una mayor intención de compra de productos locales y nacionales para evitar el impacto que el transporte tiene sobre el medio ambiente; un mayor desacuerdo en el precio siendo su principal preocupación, y por último, una compra más ajustada a las necesidades del hogar, reutilizando en la medida de lo posible los alimentos que adquie-

Tabla 5. Diferencias en percepciones y hábitos de compra y consumo sostenibles a nivel regional (Región de Extremadura y Murcia) (1 = nada de acuerdo; 5 = totalmente de acuerdo).

Table 5. Differences in perceptions and habits of sustainable purchasing and consumption at regional level (Region of Extremadura and Murcia) (1 = not at all agree; 5 = totally agree).

	Extremadura	Murcia	Total
1. Trato de consumir alimentos sin envasar o a granel ^{n.s.}	4,04	4,01	4,01
2. Trato de comprar productos locales y nacionales por el impacto del transporte*	3,99	3,78	3,89
3. Trato de comprar productos locales y nacionales por el empleo/riqueza generada ^{n.s.}	4,14	4,02	4,08
4. Procuero comprar carne producida de forma tradicional y que contribuya a la conservación del medio ambiente ^{n.s.}	3,74	3,47	3,60
5. La producción intensiva de alimentos asegura precios asequibles, que es mi principal preocupación***	2,58	2,95	2,77
6. Hago coincidir mis compras de alimentos con lo que necesito y reutilizo los alimentos*	4,53	4,49	4,50
7. Reciclo activamente en casa***	4,38	3,93	4,15
8. Sigo una dieta equilibrada, porque me preocupa el efecto de los alimentos en mi salud ^{n.s.}	4,36	4,19	4,26
9. La producción moderna de hortalizas tiene un gran impacto ambiental**	3,49	3,23	3,36
10. El consumo de carne impacta negativamente en la sustentabilidad***	3,08	3,47	3,27
11. Trato de comprar verduras producidas de forma más natural, orgánica ^{n.s.}	3,38	3,30	3,34

Significación: * $p < 0,1$. ** $p < 0,05$. *** $p < 0,01$; n.s.: no significativo.

ren. No obstante, se observa que los consumidores de cada región consideran que la producción de los alimentos más típicos de la misma (hortalizas en el caso de la Región de Murcia, carne en el caso de Extremadura) tiene un menor impacto ambiental que los producidos fuera de la región. Estos resultados, que podrían estar apuntando a diferencias entre los ciudadanos españoles en función de la especialización productiva de los distintos territorios, abren la puerta a futuras investigaciones que aborden la relación entre los sistemas de producción existentes en cada re-

gión y la visión que los ciudadanos tienen sobre la sostenibilidad de estos sistemas.

Cabe destacar en este análisis de diferencias regionales que no existen diferencias significativas en las autovaloraciones dadas a las variables relacionadas con la intención de compra de productos vegetales (o cárnicos) procedentes de sistemas de producción agrícola (ganadera) más tradicionales (extensivos), aunque en ambos casos la puntuación dada por los consumidores extremeños es ligeramente superior a la de la Región de Murcia.

Segmentación de consumidores en función de la sostenibilidad

El análisis de conglomerados realizado llevó a la delimitación de tres grandes grupos de consumidores, según la valoración que hacen de sus hábitos de compra y consumo sostenibles (Tabla 6).

Como puede observarse, se identificó un primer grupo de encuestados (Clúster 1), con un 13,6 % de la población, en el que se incluyen individuos poco preocupados por la sostenibilidad en la compra y consumo de alimentos, y con una baja percepción del impacto negativo que los sistemas de producción intensivos tienen sobre el medio ambiente. Se

Tabla 6. Descripción de los clústeres según sus percepciones y hábitos de compra y consumo sostenibles (1 = muy en desacuerdo; 5 = muy de acuerdo).

Table 6. Description of the clusters according to their perceptions and habits of sustainable purchasing and consumption (1 = strongly disagree; 5 = strongly agree).

	Clúster 1 (n = 44) (13,6%)	Clúster 2 (n = 146) (45,1%)	Clúster 3 (n=134) (41,3%)	Total (n=324) (100%)
1. Intento consumir alimentos sin envasar o a granel*	3,18 ^c	3,86 ^b	4,46 ^a	4,01
2. Intento comprar productos locales y nacionales por el impacto del transporte*	2,00 ^c	3,95 ^b	4,44 ^a	3,89
3. Intento comprar productos locales y nacionales por el empleo/riqueza que generan*	2,39 ^c	4,07 ^b	4,64 ^a	4,08
4. Intento comprar carne producida de forma tradicional y que contribuya a la conservación del medio ambiente*	1,98 ^c	3,48 ^b	4,27 ^a	3,60
5. La producción intensiva de alimentos garantiza precios asequibles, que es mi principal preocupación*	3,07 ^a	3,05 ^a	2,35 ^b	2,77
6. Adecúo mis compras de alimentos a lo que necesito y reutilizo los alimentos*	4,02 ^c	4,47 ^b	4,69 ^a	4,50
7. Reciclo activamente en casa**	3,16 ^c	4,10 ^b	4,54 ^a	4,15
8. Sigo una dieta equilibrada porque me preocupan los efectos de los alimentos en mi salud*	3,52 ^c	4,23 ^b	4,54 ^a	4,26
9. La producción moderna de hortalizas tiene un gran impacto medioambiental*	1,91 ^c	2,96 ^b	4,22 ^a	3,34
10. El consumo de carne afecta negativamente a la sostenibilidad*	2,66 ^b	2,86 ^b	3,93 ^a	3,27
11. Intento comprar verduras producidas de forma más natural, ecológica...*	2,11 ^c	2,95 ^b	4,21 ^a	3,36

Significación: * $p < 0,1$. ** $p < 0,05$. *** $p < 0,01$; n.s.: no significativo. Los valores con las mismas letras (a.b.c) en la misma fila indican subconjuntos homogéneos para $P = 0,05$ según la prueba de Bonferroni.

trata del grupo de ciudadanos en el que el consumo de productos no envasados alcanza una valoración neutra o indiferente, valorándose como poco activos en el reciclaje, discrepando de que sea relevante en sus hábitos de compra que estén directamente relacionados con la protección del medio ambiente en cuanto a buscar la compra de productos locales o nacionales por su impacto en el transporte o en el empleo y la riqueza; comprar carne producida de forma tradicional o no considerar que los sistemas de producción intensiva de vegetales tengan un grave impacto en el medio ambiente.

Este grupo de población, por tanto, responde a consumidores que, en sus hábitos de compra de alimentos, no son conscientes ni se preocupan por el impacto que su consumo tiene sobre el medio ambiente, no prestando atención a las cuestiones medioambientales en sus compras de alimentos por diversas razones. Este es también el clúster que da más relevancia al precio, aunque casi al mismo nivel que el Clúster 2. Por tanto, este segmento podría denominarse *"consumidores poco preocupados por el impacto medioambiental de su consumo y sensibles al precio"*. Este tipo de consumidor, sensible al precio y despreocupado por los aspectos ambientales relacionados con su alimentación, ha sido identificado en otros estudios relacionados con los alimentos producidos de forma sostenible (Arnot et al., 2006; Mesías et al., 2011; Sama et al., 2018) donde también aparecían como un segmento minoritario de la población. Sin embargo, diferentes estudios han identificado el precio como el factor más importante a la hora de comprar AS (Lee y Yun, 2015; Escobar-López et al., 2017), aunque hay que indicar que ambos artículos se centran en alimentos ecológicos. Dada la difusión de este tipo de alimentos frente a otros de producción sostenible, cabe suponer que estas conclusiones son ampliamente extrapolables. No obstante, la relevancia del precio en la de-

cisión de compra es una constante que confirma la teoría económica en la mayoría de los bienes y alimentos de primera necesidad.

Un segundo grupo, en el que se encuentra el 45,1 % de la población, presenta una mayor sensibilidad hacia el impacto sobre el medio ambiente de su consumo, aumentando en este grupo la valoración otorgada a la mayoría de los ítems planteados hasta situarse en torno a un valor de 4 en una escala de 1 a 5, equivalente a un alto nivel de acuerdo o compromiso con estos criterios en su decisión de compra y hábitos de consumo. Así, en este Clúster 2 aumenta hasta una valoración de "alto" –equivalente o cercana a 4– su intención de adquirir productos que eviten envases (3,86) o de proximidad por el impacto del transporte (3,95), o que fomenten el empleo local (4,07); o reciclar activamente en casa (4,10). Sin embargo, siguen mostrándose indiferentes –valoración cercana a 3– a la hora de considerar cierta la afirmación de que los modernos sistemas de producción de hortalizas tienen un gran impacto medioambiental (2,96), siendo junto al Clúster 1 los que otorgan mayor relevancia al hecho de que los actuales sistemas de producción garanticen alimentos a precios asequibles. Por todo ello, a este grupo se le ha denominado *"consumidores concienciados y preocupados por el medio ambiente"*.

Finalmente, el clúster 3, formado por el 41,3 % restante, incluye a los ciudadanos con mayores niveles de percepción de la importancia que el consumo de alimentos tiene sobre el medio ambiente, presentando valores superiores a 4 en prácticamente todos los ítems planteados. Es el grupo en el que la intención de compra de productos sin envase es más elevada, en el que se busca comprar productos locales para evitar el transporte o fomentar la riqueza local o nacional, con una actitud más activa hacia el reciclaje y el más preocupado por el efecto de los alimentos sobre su salud.

El Clúster 3 es el menos preocupado por el precio de los alimentos, siendo también el grupo de consumidores que intenta comprar más verduras y carne producidas de forma más natural o ecológica, el que más reconoce el impacto medioambiental de los modernos sistemas de producción de verduras y el que más valora que el consumo de carne tiene un gran impacto medioambiental. Este grupo, por tanto, estaría formado por consumidores no sólo más concienciados, sino sobre todo más activos medioambientalmente, por lo que se les ha denominado “consumidores conscientes y activos en sus decisiones de compra para proteger el medio ambiente y la salud”.

Los consumidores comprometidos con la sostenibilidad en su consumo/compra de alimentos también aparecen repetidamente en los estudios sobre actitudes hacia la alimentación sostenible (Mesías et al., 2011; Grymshi et al., 2022) identificados como aquellos que compran más alimentos ecológicos, locales y con valores sociales y ambientales, aspectos todos ellos que también se identifican en este trabajo.

Para complementar estos resultados, se realizó un análisis de segunda etapa en el que se contrastó la existencia de relaciones significativas entre los tres segmentos descritos y las características sociodemográficas de los encuestados (Tabla 7).

Tabla 7. Relación entre clústeres y variables sociodemográficas (%).

Table 7. Relationship between clusters and socio-demographic variables (%).

Análisis de la segunda etapa [†]		C1 (n = 44)	C2 (n = 146)	C3 (n = 134)	Total (n = 324)
Sexo**	Hombre	41,80 ^a	35,80 ^{a,b}	61,40 ^b	42,00
	Mujer	58,20 ^a	64,20 ^{a,b}	38,60 ^b	58,00
Edad ^{n.s.}	<35 años	47,70 ^a	47,90 ^a	38,10 ^a	43,80
	35 a 50 años	31,80 ^a	28,80 ^a	32,10 ^a	30,60
	>50 años	20,50 ^a	23,30 ^a	29,90 ^a	25,60
Tamaño de la familia ^{n.s.}	1-2	18,18 ^a	26,21 ^a	28,88 ^a	26,24
	3-4	61,36 ^a	60,00 ^a	55,56 ^a	58,31
	5 y más	20,46 ^a	13,79 ^a	15,56 ^a	15,45
Estudios**	Estudios primarios	27,30 ^a	9,60 ^b	9,70 ^b	12,00
	Bachillerato/Formación Profesional	34,10 ^a	28,10 ^a	25,40 ^a	27,80
	Titulación universitaria	38,60 ^a	62,30 ^b	64,90 ^b	60,20
Ingresos familiares**	<1.500 € netos/mes	34,10 ^a	17,80 ^b	23,90 ^b	22,50
	1.500-2.500 € netos/mes	18,20 ^a	39,70 ^b	27,60 ^{a,b}	31,80
	>2.500 € netos/mes	47,70 ^a	42,50 ^a	48,50 ^a	45,70
Zona ^{n.s.}	Extremadura	45,50 ^a	47,90 ^a	53,70 ^a	50,00
	Región de Murcia	54,50 ^a	52,10 ^a	46,30 ^a	50,00

[†]Significación: * $p < 0,1$. ** $p < 0,05$. *** $p < 0,01$; n.s.: no significativo. Los valores con las mismas letras (a,b,c) en la misma fila indican subconjuntos homogéneos para $P = 0,05$ según la prueba Z.

Este análisis permitió identificar una relación significativa y positiva entre la valoración de la sostenibilidad en el consumo de alimentos y el nivel educativo de los encuestados, la renta o el género, con mayores niveles de sostenibilidad en el consumo entre los hombres, entre las personas con estudios universitarios y con mayor nivel de renta. Por otro lado, no se identificó una relación significativa con respecto al tamaño de la familia o la región de residencia.

Los resultados mostrados en la Tabla 7 concuerdan en general con la literatura, donde el perfil típico del consumidor de productos sostenibles es mayoritariamente con un nivel educativo alto y de mediana edad, coincidiendo con otras investigaciones previas (Wu et al., 2014; Escobar-López et al., 2019).

La relación encontrada en este trabajo entre menor nivel educativo y rechazo/indiferencia hacia aspectos ambientales o éticos en el consumo de alimentos se ha encontrado en otros

estudios como el de Mesias et al. (2012) sobre tomate ecológico o el de Sama et al. (2018) sobre miel producida de forma socio-ambientalmente responsable. En línea con lo anterior, varios autores también han encontrado que un aumento del nivel educativo conlleva una mayor probabilidad de incluir productos alimenticios ecológicos en la dieta diaria (Kriwy y Mecking, 2012; Escobar-López et al., 2019).

Por último, se realizó un nuevo análisis para comprobar si existían diferencias con respecto a la concienciación, el conocimiento y la disposición a consumir AS (Tabla 8).

Como era de esperar a partir de la descripción de los clústeres, se identificó una mayor presencia de consumidores de AS en el Clúster 3, donde también es mayor el porcentaje de consumidores dispuestos a cambiar sus hábitos de consumo. No obstante, cabe señalar que la conciencia sobre el impacto ambiental de la producción de alimentos es muy elevada en todos los clústeres (superior al

Tabla 8. Relación entre los clústeres y la concienciación, el conocimiento y la disposición a consumir alimentos sostenibles (%).

Table 8. Relationship between clusters and awareness, knowledge and willingness to consume sustainable food (%).

Análisis de la segunda etapa [†]		C1 (n = 44)	C2 (n = 146)	C3 (n = 134)	Total (n = 324)
Conciencia (del impacto de su consumo en el medio ambiente) ^{n.s.}	No	4,5 ^a	2,1 ^a	2,2 ^a	2,5
	Si	95,5 ^a	97,9 ^a	97,8 ^a	97,5
Conocimiento de alimentos sostenibles ^{**}	No	59,1 ^a	37,7 ^b	26,9 ^b	36,1
	Si	40,9 ^a	62,3 ^b	73,1 ^b	63,9
Dispuestos a cambiar (Hábitos y compras) ^{***}	No	13,7 ^a	1,4 ^b	4,5 ^{a,b}	4,3
	Si Impacto bajo	47,7 ^a	28,1 ^b	23,9 ^b	29,0
	Si Dispuestos a cambiar	38,6 ^a	70,5 ^b	71,6 ^b	66,7
Consumo de alimentos sostenibles ^{***}	No	88,6 ^a	55,5 ^b	34,3 ^c	51,2
	Si	11,4 ^a	44,5 ^b	65,7 ^c	48,8

[†]Significación: * $p < 0,1$. ** $p < 0,05$. *** $p < 0,01$; n.s.: no significativo. Los valores con las mismas letras (a,b,c) en la misma fila indican subconjuntos homogéneos para $P = 0,05$ según la prueba Z.

95 %), por lo que la traducción de esta en hábitos de consumo sostenibles puede depender probablemente de otras variables, como la disponibilidad de información, que junto con un etiquetado adecuado, se han identificado como variables cruciales para promover actitudes proambientales y la compra de productos “verdes” (Grymshi et al., 2022).

Conclusiones

Los resultados alcanzados permiten comprobar el alto nivel de conciencia que tiene la práctica totalidad de los consumidores encuestados acerca de los impactos que su consumo de alimentos tiene en el medio ambiente, así como la importancia que dan a determinadas prácticas o productos que harían que su consumo fuera más sostenible (reciclaje, evitar el desperdicio, atención al origen al comprar alimentos...).

Por otro lado, la segmentación de consumidores realizada permite identificar dos grupos de ciudadanos con un alto nivel de sensibilización ambiental en su compra y consumo de alimentos, junto a un tercer grupo poco sensible a la sostenibilidad y que, casi en su totalidad, no se corresponden con compradores habituales de AS. Sin embargo, existe un alto nivel de coherencia y correspondencia en las percepciones de la importancia que tiene para ellos un consumo más sostenible –en sus diferentes facetas– y en el hecho de que finalmente decidan comprar AS, especialmente entre los consumidores “conscientes y activos”.

Al estudiar las diferencias regionales no se han encontrado diferencias significativas en las autovaloraciones de las variables relacionadas con la intención de adquirir productos vegetales o carne procedentes de sistemas de producción más tradicionales o extensivos, aunque en ambos casos la puntuación otorgada por los consumidores extremeños es ligeramente superior a la de la Región de Murcia.

No obstante, sí que se aprecia que los consumidores de cada región consideran que la producción de los alimentos más típicos de la misma (vegetales en el caso de la Región de Murcia, carnes en el caso de Extremadura) tiene menos impacto ambiental que la de aquellos que se producen fuera. Estos resultados, que pudieran estar apuntando a diferencias entre los ciudadanos españoles según la especialización productiva de los distintos territorios (impacto de la actividad en el empleo, tradición, etc.), abren la puerta a futuras investigaciones que aborden la relación entre los sistemas productivos existentes en cada región y la visión que los ciudadanos tienen acerca de la sostenibilidad de los mismos.

Material complementario

El material complementario de este artículo se puede consultar en la URL <https://doi.org/10.12706/itea.2023.010>

Referencias bibliográficas

- Annunziata A., Agovino M., Mariani A. (2019). Sustainability of Italian families food practices: Mediterranean diet adherence combined with organic and local food consumption. *Journal of Cleaner Production* 206: 86-6. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.09.155>.
- Arnot C., Boxall P.C., Cash S.B. (2006). Do ethical consumers care about price? A revealed preference analysis of fair trade coffee purchases. *Canadian Journal of Agricultural Economics* 54(4): 555-565. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7976.2006.00066.x>.
- Atenstaedt R. (2012). Word cloud analysis of the BJGP. *British Journal of General Practice* 62(596): 148. <https://doi.org/10.3399/bjgp12X630142>.
- Berry E.M. (2019). Sustainable food systems and the Mediterranean diet. *Nutrients* 11(9): 2229. <https://doi.org/10.3390/nu11092229>.

- de Boer J., Aiking H. (2022). Do EU consumers think about meat reduction when considering to eat a healthy, sustainable diet and to have a role in food system change?. *Appetite* 170: 105880. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2021.105880>.
- Briggeman B.C., Lusk J.L. (2011). Preferences for fairness and equity in the food system. *European Review of Agricultural Economics* 38(1): 1-29. <https://doi.org/10.1093/erae/jbq033>.
- Bryła P. (2016). Organic food consumption in Poland: Motives and barriers. *Appetite* 105: 737-746. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2016.07.012>.
- De Canio F., Martinelli E. (2021). EU quality label vs. organic food products: A multigroup structural equation modeling to assess consumers' intention to buy in light of sustainable motives. *Food Research International* 139: 109846. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109846>.
- Capone R., Fersino V., Stamataki E., Cerezo M., Kessari M., Dernini S., El Bilali H. (2021). Sustainability of food systems in the mediterranean region. *New Medit* 20(3): 131-143. <https://doi.org/10.30682/nmsi21i>.
- Caputo V., Nayga R.M., Scarpa R. (2013). Food miles or carbon emissions? Exploring labelling preference for food transport footprint with a stated choice study. *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics* 57(4): 465-482. <https://doi.org/10.1111/1467-8489.12014>.
- De-Magistris T., Gracia A. (2016). Consumers' willingness-to-pay for sustainable food products: The case of organically and locally grown almonds in Spain. *Journal of Cleaner Production* 118: 97-104. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.01.050>.
- Ditlevsen K., Ditlevsen K., Denver S., Christensen T., Lassen J. (2020). A taste for locally produced food - Values, opinions and sociodemographic differences among "organic" and "conventional" consumers. *Appetite* 147: 104544. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2019.104544>.
- Eldesouky A., Mesias F.J., Escribano M. (2020). Perception of Spanish consumers towards environmentally friendly labelling in food. *International Journal of Consumer Studies* 44(1): 64-76. <https://doi.org/10.1111/ijcs.12546>.
- Elghannam A., Arroyo J., Eldesouky A., Mesias F.J. (2018). A cross-cultural consumers' perspective on social media-based short food supply chains. *British Food Journal* 120(10): 2210-2221. <https://doi.org/10.1108/BFJ-11-2017-0633>.
- Escobar-López S.Y., Espinoza-Ortega A., Vizcarra-Bordi I., Thomé-Ortiz H. (2017). The consumer of food products in organic markets of central Mexico. *British Food Journal* 119(3): 558-574. <https://doi.org/10.1108/BFJ-07-2016-0321>.
- Escobar-López S.Y., Espinoza-Ortega A., Lozano-Cabedo C., Aguilar-Criado E., Amaya-Corchuelo S. (2019). Motivations to consume ecological foods in alternative food networks (AFNs) in Southern Spain. *British Food Journal* 121(11): 2565-2577. <https://doi.org/10.1108/bfj-01-2019-0051>.
- FIAB e AINIA (2014). Retos medioambientales de la Industria Alimentaria a 2020.
- Florindo T.J., de Medeiros Florindo G.I.B., Talamini E., da Costa J.S., Ruviano C.F. (2017). Carbon footprint and Life Cycle Costing of beef cattle in the Brazilian midwest. *Journal of Cleaner Production* 147: 119-129. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.01.021>.
- García-González Á., Achón M., Carretero Krug A., Varela-Moreiras G., Alonso-Aperte E. (2020). Food Sustainability Knowledge and Attitudes in the Spanish Adult Population: A Cross-Sectional Study. *Nutrients* 12(10): 3154. <https://doi.org/10.3390/nu12103154>.
- Grunert K.G., Hieke S., Wills J. (2014). Sustainability labels on food products: Consumer motivation, understanding and use. *Food Policy* 44: 177-189. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2013.12.001>.
- Grymshi D., Crespo-Cebada E., Elghannam A., Mesías F.J., Díaz-Caro C. (2022). Understanding consumer attitudes towards ecolabeled food products: A latent class analysis regarding their purchasing motivations. *Agribusiness* 38(1): 93-107. <https://doi.org/10.1002/agr.21714>.
- Hartmann C., Lazzarini G., Funk A., Siegrist M. (2021). Measuring consumers knowledge of the environmental impact of foods. *Appetite* 167: 105622. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2021.105622>.

- Hoek A.C., Pearson D., James S.W., Lawrence M.A., Friel S. (2017). Shrinking the food-print: A qualitative study into consumer perceptions, experiences and attitudes towards healthy and environmentally friendly food behaviours. *Appetite* 108: 117-131. <https://doi.org/10.1016/j.APPET.2016.09.030>.
- Jain A.K., Dubes R.C. (1988). *Algorithms For Clustering Data*. Prentice Hall, New Jersey.
- Johnston P., Everard M., Santillo D., Robèrt K.H. (2007). Reclaiming the definition of sustainability. *Environmental Science and Pollution Research International* 14(1): 60-66. <https://doi.org/10.1065/ESPR2007.01.375>.
- Kemp K., Insch A., Holdsworth D.K., Knight J.G. (2010). Food miles: Do UK consumers actually care?. *Food Policy* 35(6): 504-513. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2010.05.011>.
- Kriwy P., Mecking R.A. (2012). Health and environmental consciousness, costs of behaviour and the purchase of organic food. *International Journal of Consumer Studies* 36(1): 30-37. <https://doi.org/10.1111/j.1470-6431.2011.01004.x>.
- Lee H.J., Yun Z.S. (2015). Consumers' perceptions of organic food attributes and cognitive and affective attitudes as determinants of their purchase intentions toward organic food. *Food Quality and Preference* 39(2015): 259-267. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2014.06.002>.
- MAPA (2021). Informe del consumo de alimentación en España 2020. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid, España.
- MAPA (2022a). Análisis de desperdicio alimentario dentro del hogar oleada primavera verano 2021. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid, España.
- MAPA (2022b). Informe del consumo alimentario en España 2021. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid, España.
- Martínez-Álvarez O., Iriando-DeHond A., Gómez-Estaca J., del Castillo M.D. (2021). Nuevas tendencias en la producción y consumo alimentario. *Distribución y consumo* 1: 51-62.
- Mesías F.J., Martínez-Carrasco F., Martínez J.M., Gaspar P. (2011). Functional and organic eggs as an alternative to conventional production: A conjoint analysis of consumers' preferences. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 91(3): 532-538. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4217>.
- Mesías F.J., Martínez-Carrasco F., Martínez J.M., Gaspar P. (2012). Consumer knowledge, consumption, and willingness to pay for organic tomatoes. *British Food Journal* 114(3): 318-334. <https://doi.org/10.1108/00070701211213447>.
- Mesías F.J., Fernández J.A., Horrillo A., Escibano A.J. (2023). An approach to the perceptions of Spanish consumers on food sustainability through the use of projective techniques. *New Medit* 22(1): 35-52. <https://doi.org/10.30682/nm2301c>.
- Moser A.K. (2015). Thinking green, buying green? Drivers of pro-environmental purchasing behavior. *Journal of Consumer Marketing* 32(3) 167-175. <https://doi.org/10.1108/JCM-10-2014-1179>.
- Nacef M., Lelièvre-Desmas M., Symoneaux R., Jombart L., Flahaut C., Chollet S. (2019). Consumers' expectation and liking for cheese: Can familiarity effects resulting from regional differences be highlighted within a country?. *Food Quality and Preference* 72: 188-197. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2018.10.004>.
- Organización de Consumidores y Usuarios (OCU) (2019). Otro consumo para un futuro mejor. Disponible en: <https://www.ocu.org/consumo-familia/consumo-colaborativo/informe/moda-sostenible#> (Consultado: 6 de octubre 2022).
- Pack A. (2007). Scientific Report 17: The Environmental sustainability of household food consumption in Austria: A socio-economic analysis. Wegener Center for Climate and Global Change. University of Graz. Austria.
- 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>.
- Sama C., Crespo-Cebada E., Díaz-Caro C., Escibano M., Mesías F.J. (2018). Consumer preferences for foodstuffs produced in a socio-environmentally responsible manner: a threat to fair trade producers? *Ecological Economics* 150: 290-296. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2018.04.031>.

- Unión Europea (2020). Estrategia "De la granja a la Mesa" Por un sistema alimentario justo, saludable y ecológico. Disponible en: https://www.aesan.gob.es/AECOSAN/docs/documentos/noticias/2020/Presentacion_Estrategia_de_la_Granja_a_la_mesa.pdf (Consultado: 6 de octubre 2022).
- Viana M.M., Silva V.L.S., Deliza R., Trindade M.A. (2016). The use of an online completion test to reveal important attributes in consumer choice: An empirical study on frozen burgers. *Food Quality and Preference* 52: 255-261. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2015.11.016>.
- World Commission on Environment and Development (WCED) (1987) *Our Common Future*. Oxford: Oxford University Press.
- Wu L., Yin S., Xu Y., Zhu D. (2014). Effectiveness of China's organic food certification policy: consumer preferences for infant milk formula with different organic certification labels. *Canadian Journal of Agricultural Economics/Revue canadienne d'agroeconomie*, 62(4), pp. 545-568. <https://doi.org/10.1111/cjag.12050>.

(Aceptado para publicación el 28 de agosto 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 4

Diciembre 2023

itea

información técnica económica agraria
www.aida-itea.org

REVISTA DE LA ASOCIACIÓN INTERPROFESIONAL PARA EL DESARROLLO AGRARIO

