itea

información técnica económica agraria

REVISTA DE LA ASOCIACIÓN INTERPROFESIONAL PARA EL DESARROLLO AGRARIO



Volumen 118
Número 3
Septiembre 2022

aida-itea.org

itea

Información Técnica Económica Agraria
Revista de la Asociación Interprofesional para el Desarrollo Agrario
www.aida-itea.org

2022- AÑO LIII Vol. 118 N.º 3 http://dx.doi.org/10.12706/itea	**DIRECCIÓN Y REDACCIÓN** Avda. Montañana, 930 50059 ZARAGOZA (ESPAÑA) Tel.: 34-976 716305 Fax.: 34-976 716335 E-mail: direccion@aida-itea.org	Depósito legal: Z-577-82 ISSN: 2386-3765 INO Reproducciones, S.A. Pol. Malpica, calle E, 32-39 (INBISA II, nave 35) 50016 Zaragoza

DIRECCIÓN: Albina Sanz, CITA de Aragón. España

EDICIÓN CIENTÍFICA: José Manuel Alonso, CITA de Aragón. España
Javier Álvarez, Universidad de Lleida. España
Paula Gaspar, Universidad de Extremadura. España
Gabriel Pardo, CITA de Aragón. España
Ana Pina Sobrino, CITA de Aragón. España
Helena Resano, IA2-Universidad de Zaragoza. España
Guillermo Ripoll, CITA de Aragón. España
Ana Isabel Sanjuán, CITA de Aragón. España

EDICIÓN TÉCNICA: María Salillas, Asociación Interprofesional para el Desarrollo Agrario. España

COMITÉ DE REDACCIÓN: Alfonso Abecia, Universidad de Zaragoza. España
Jorge Álvaro, EEAD Zaragoza. España
Arancha Arbeloa, EEAD Zaragoza. España
Carlos Calvete, CITA de Aragón. España
Fernando Escriu, CITA de Aragon. 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 Mª Elena Daorden, INTA, Argentina • Mª José Díez, Universidad Politécnica de Valencia, España • Miguel Gómez, Cornell University EEUU • Margarita López, Centro de Investigación Agraria "Finca La Orden-Valdesequera", España • Ana Meikle, Universidad de la República, Uruguay • Camilla Moonen, Scuola Superiore Sant'Anna di Pisa, Italia • Mª Teresa Muiño, Universidad de Zaragoza, España • César Revoredo-Giha, SAC, Reino Unido • Ricardo Revilla, España • José Antonio Rubio, ITACYL, España Pierre Sans, École Nationale Vétérinaire de Toulouse, Francia • Guillermo Studdert, Universidad del Mar del Plata, Argentina • Alfredo Teixeira, Escola Superior Agrária de Bragança, Portugal • Luis Varona, Universidad de Zaragoza, España

ITEA-Información Técnica Económica Agraria aparece indexada en SCI Expanded, Journal Citation Reports/Science Editions, ICYT,CABI, SCOPUS y EBSCO.

Prohibida toda reproducción total o parcial sin autorización expresa de la Asociación Interprofesional para el Desarrollo Agrario, Editor titular del copyright. ITEA no se responsabiliza necesariamente de las opiniones vertidas en los artículos firmados que publica, cuya responsabilidad corresponde a sus autores.

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



Foto y Texto de portada: Cristina Mallor

La Comarca del Bajo Aragón, en la provincia de Teruel, destaca por su paisaje de olivos, muchos de ellos centenarios. La variedad predominante se denomina Empeltre, cuyos frutos se utilizan para la elaboración de aceite y en menor medida para aceituna negra de mesa. El aceite virgen extra se encuentra amparado por la Denominación de Origen Protegida Aceite del Bajo Aragón, y se caracteriza por su color amarillo brillante y su sabor suave y dulce. La imagen ilustra una de las labores que tradicionalmente se han venido realizando en los olivos, y que consiste en preparar los suelos en torno a los árboles, cuando empiezan a madurar sus frutos. Esta tarea es importante porque evita que la hierba compita en nutrientes con los árboles, pero sobre todo, porque facilita la recogida de la oliva que comienza a finales del mes de noviembre.

Sumario

Producción Vegetal

Aislamiento de rizobacterias asociadas a tomate (*Solanum lycopersicum* L.) y su potencial para promover crecimiento vegetal.
*Isolation of rhizobacteria associated with tomato (*Solanum lycopersicum *L.) and its potential to promote plant growth.*
Yuridia M. Daza-Martínez, Juan J. Almaraz-Suarez, María N. Rodríguez-Mendoza, Azarel Angulo-Castro e Hilda V. Silva-Rojas 345

Producción Animal

Variabilidad morfoestructural, zoométrica y faneróptica de machos cabríos locales del norte de México.
Morphostructural, zoometric and phaneroptic variability of local bucks from northern Mexico.
Franko Moyao-Ariza, Jorge Alonso Maldonado-Jáquez, Lorenzo Danilo Granados-Rivera, Rubén Darío Martínez-Rojero, Glafiro Torres-Hernández, Pablo Alfredo Domínguez-Martínez, Yuridia Bautista-Martínez y Ricardo Alonso Sánchez-Gutiérrez 361

Modelos de predicción del valor nutricional de henos de hierba.
Models for prediction of nutritive value of grass hay.
Sonia Pereira-Crespo, Adrián Botana, Marcos Veiga, Laura González, César Resch, Valentín García-Souto, Roberto Lorenzana, María del Pilar Martínez-Diz y Gonzalo Flores-Calvete 377

Valoración holística de la sostenibilidad en los sistemas lecheros de la España húmeda.
A holistic assessment of sustainability in dairy systems in the humid climate of Nort Spain.
Gregorio Salcedo y Daniel Salcedo-Rodríguez 396

La administración a cerdas de cloprostenol 24 horas después del parto reduce el intervalo destete-cubrición y mejora la tasa de partos en el ciclo siguiente.
Administration of cloprostenol to sows 24 hours after farrowing improves the subsequent weaning to service interval and farrowing rate.
Sara Crespo y Joaquín Gadea 427

Costo y efecto del Virus de la Diarrea Epidémica Porcina en el desempeño (re)productivo de una granja de ciclo completo en México.
Cost and effect of Porcine Epidemic Diarrhea Virus on the (re)productive performance of a farm in Mexico.
Nathaniel A. Rogers-Montoya, Francisco E. Martínez-Castañeda y María E. Trujillo-Ortega 441

Economía Agraria

La responsabilidad social empresarial y el desempeño financiero en el sector agroalimentario: efecto mediador de la imagen y reputación.
Corporate social responsibility and financial performance in the agri-food sector: mediating effect of image and reputation.
Antonio Martos-Pedrero, David Jiménez-Castillo y Francisco Joaquín Cortés-García 453

Transferencia, Innovación y Agricultura: El caso de la difusión del cultivo del almendro en el sur de España.
Transfer, Innovation and Agriculture: The case of the diffusion of almond cultivation in southern Spain.
Francisco Cárdenas-Polonio, Javier Martínez-Dalmau y Julio Berbel-Vecino 476

Explorando lo "alternativo" en los Mercados Alternativos del centro de México.
Exploring the "alternative" in the Alternative Markets of central Mexico.
Sttefanie Yenitza Escobar-López, Angélica Espinoza-Ortega, Sergio Moctezuma-Pérez y Cristina Chávez-Mejía 493

Aislamiento de rizobacterias asociadas a tomate (*Solanum lycopersicum* L.) y su potencial para promover crecimiento vegetal

Yuridia M. Daza-Martínez[1], Juan J. Almaraz-Suarez[1,*], María N. Rodríguez-Mendoza[1], Azarel Angulo-Castro[2] e Hilda V. Silva-Rojas[1]

[1] Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Carretera México-Texcoco, Km 36,5. C.P. 56230, Montecillo, Estado de México

[2] Facultad de Agronomía de la universidad Autónoma de Sinaloa. Carretera Culiacán-El Dorado, Km 17,5. C.P. 80000, Culiacán, Sinaloa, México

Resumen

Una alternativa para reducir las dosis elevadas de fertilizantes inorgánicos en cultivos como el tomate es el uso de rizobacterias promotoras de crecimiento vegetal (RPCV). El objetivo de esta investigación fue aislar y caracterizar cepas de rizobacterias así como evaluar su potencial para promover el crecimiento vegetal en plántulas de tomate. Se recolectaron muestras del suelo de la rizosfera de tomate en la comunidad La Bajada, Municipio de Coyuca de Catalán, en el Estado de Guerrero (México). Se aislaron un total de 70 cepas de rizobacterias de las cuales se seleccionaron 12 en función de su capacidad para producir índoles, solubilizar fosfatos y producir sideróforos. Las cepas se identificaron a nivel molecular y se encontró que pertenecieron a siete especies: *Arthrobacter pokkalii, Pseudomonas aeruginosa*, *A. enclensis*, *Bacillus licheniformis*, *B. drentensis*, *Staphylococcus equorum* y *Pseudarthrobacter* spp. Los resultados obtenidos en el experimento de semillero, mostraron que la cepa JLB4 fue la mejor ya que incrementó significativamente ($P \leq 0,05$) las variables altura, volumen radical, peso fresco de parte área, peso fresco de tallo y peso seco total, así como contenido de N, P y K, con respecto al testigo y la cepa de referencia P61. La cepa JN24 mostró mayor diámetro y altura de plántulas y JLB2 fue la mejor en área foliar y la cepa JP4 en el área foliar especifica. La cepa *A. pokkalii* JLB4, que tuvo los mayores efectos en plántulas con un 78 % de incremento en biomasa, tiene un gran potencial y podría usarse en la producción de tomate bajo condiciones de invernadero.

Palabras clave: Bacterias, comunidades microbianas, crecimiento de plántulas, hortalizas.

Isolation of rhizobacteria associated with tomato (*Solanum lycopersicum* L.) and its potential to promote plant growth

Abstract

An alternative to reduce the high doses of inorganic fertilizers in crops such as tomatoes is the use of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR). The objective of this research was to isolate and characterize

* Autor para correspondencia: jalmaraz@colpos.mx

Cita del artículo: Daza-Martínez YM, Almaraz-Suarez JJ, Rodríguez-Mendoza MN, Angulo-Castro A, Silva-Rojas HV (2022). Aislamiento de rizobacterias asociadas a tomate (*Solanum lycopersicum* L.) y su potencial para promover crecimiento vegetal. ITEA-Información Técnica Económica Agraria 118(3): 345-360. https://doi.org/10.12706/itea.2021.036

strains of rhizobacteria as well as to evaluate their potential to promote plant growth in tomato seedlings. Soil samples were collected from the tomato rhizosphere in La Bajada community, Municipality of Coyuca de Catalán, in the State of Guerrero. A total of 70 strains of rhizobacteria were isolated, of which 12 were selected based on their ability to produce indoles, solubilize phosphates, and produce siderophores. The strains were identified at the molecular level and it was found that they belong to seven species: *Arthrobacter pokkalii*, *Pseudomonas aeruginosa*, *A. enclensis*, *Bacillus licheniformis*, *B. drentensis*, *Staphylococcus equorum*, and *Pseudarthrobacter* spp. The results obtained in the seedbed experiment showed that the JLB4 strain was the best since it significantly increased ($P \leq 0.05$) the variables height, root volume, fresh weight of part area, fresh weight of stem and total dry weight, as well as content of N, P and K, with respect to the control and the reference strain P61. The JN24 strain showed greater diameter and height of the seedlings and JLB2 was the best in the foliar area and the JP4 strain in the specific foliar area. The *A. pokkalii* JLB4 strain, which had the greatest effects on seedlings with a 78 % increase in biomass, has great potential and could be used in tomato production under greenhouse conditions.

Keywords: Bacteria, microbial communities, seedling growth, vegetables.

Introducción

El tomate es una de las hortalizas de mayor consumo a nivel nacional e internacional debido a su alto contenido de vitaminas y minerales (Larín *et al*., 2018). Sin embargo, en su producción, se utiliza una elevada cantidad de agroquímicos y biocidas para abastecer de nutrimentos y controlar plagas, enfermedades y malezas. En consecuencia, se puede originar contaminación del suelo y el agua, afectando la salud de los seres vivos, además del alto costo de producción (Riah *et al*., 2014; Shen *et al*., 2016).

Una alternativa para reducir el uso de agroquímicos es la aplicación de RPCV en los sistemas agrícolas debido a que, dichas bacterias pueden optimizar la absorción de nutrientes y el crecimiento, lo que puede conducir a incrementar los rendimientos con dosis más bajas de fertilizantes y mejorar la calidad ambiental (Zahid *et al*., 2015).

Esto es posible gracias a sus efectos directos como la solubilización de fosfato, fijación de nitrógeno y fitoestimulación (producción de fitohormonas). También contribuyen de manera indirecta principalmente como agentes de biocontrol (Camelo *et al*., 2011; Mustafa *et al*., 2019).

A pesar de la poca información con respecto al estudio de rizobacterias en este cultivo, se ha encontrado que los géneros *Pseudomonas*, *Azospirillum, Azotobacter*, *Bacillus* y *Streptomyces*, forman parte de la comunidad microbiana de la rizosfera del tomate (Alfonso *et al*., 2005).

El uso de RPCV en la agricultura es una alternativa para reducir las dosis de agroquímicos y la contaminación del medio ambiente, lo cual asegura a la población productos sanos y de buena calidad (Osorio Soto, 2008).

Tomando en cuenta la problemática que representa la contaminación con agroquímicos y la perturbación en los suelos, esta investigación tuvo como objetivo aislar y caracterizar rizobacterias asociadas a tomate y evaluar su potencial como promotor del crecimiento vegetal en plántulas de tomate.

Material y métodos

Colecta de muestras

Se recolectaron muestras de suelo rizosférico en un área de cultivo de tomate en la localidad La Bajada del Municipio de Coyuca de Catalán, Región de Tierra Caliente, Guerrero

cuyas coordenadas geográficas 100° 40′ 22″ longitud oeste y 18° 18′ 56″ latitud norte, a una altitud entre 220 m y 240 m sobre el nivel del mar (m s.n.m.) (Figura 1). Se recolectaron dos muestras compuestas de suelo de la rizosfera de tomate conformado por seis submuestras, estas se conservaron en una hielera a una temperatura aproximada de 4 °C para su traslado al laboratorio de Microbiología del Colegio de Postgraduados Campus Montecillo. El suelo recolectado presentó las siguientes características: pH 7,2 (suelo, agua 1:2); nitrógeno total (NT) 0,109 %; fósforo (P) 25,9 ppm y potasio (K) 0,77 meq 100 g^{-1}. La textura del suelo fue clasificada como franco limoso.

Aislamiento de cepas bacterianas

Para el aislamiento de las cepas bacterianas se usó la técnica de dilución y cuenta viable en placa, para ello se tomó una submuestra de 10 g del suelo recolectado y se utilizaron los siguientes medios específicos: Luria bertani (LB) (10 g de triptona, 5 g de extracto de levadura, 5 g de NaCl, 1 g de triptófano, 20 g de agar, 1000 mL de agua destilada estéril) para bacterias productoras de índoles (BPI); Pikovskaya (10 g de glucosa; 5 g de $Ca_3(PO_4)_2$; 0,5 g de $(NH_4)_2SO_4$; 0,2 g de KCl; 0,1 g de $MgSO_4 \cdot 7H_2O$; 0,0002 g de $MnSO_4$; 0,0002 g $FeSO_4$; 0,5 g de levadura; 15 g de agar; 1000 mL de agua destilada estéril) para bac-

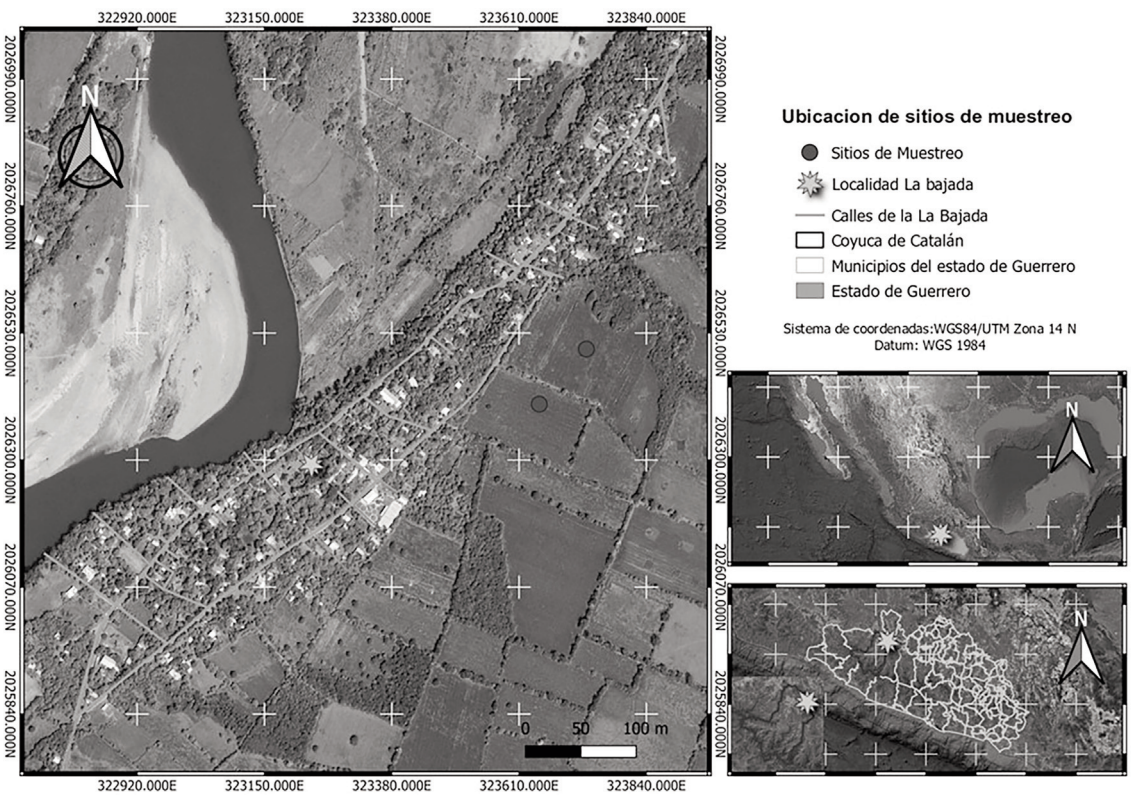


Figura 1. Sitio de muestreo, La Bajada, Municipio de Coyuca de Catalán, Guerrero.
Figure 1. Sampling site, La Bajada, Municipality of Coyuca de Catalán, Guerrero.

terias solubilizadoras de fosfato (BSP); Rennie (Rennie, 1981) y medio libre de nitrógeno (NFB) (0,5 g de K_2HPO_4; 0,01 g de $FeSO_4 \cdot 7H_20$; 0,002 g de $Na_2MoO_4 \cdot 2H_20$; 0,002 g de $MnSO_4 \cdot H_2O$; 0,2 g de $MgSO_4 \cdot 7H_2O$; 0,1 g de $NaCl \cdot 2H_2O$; 2 mL de Azul de Bromotimol al 0,5 % –en solución alcohólica–; 2 g de ácido málico y 2,33 g de Agar bacteriológico (Canto-Martín *et al*., 2004; Mantilla-Paredes *et al*., 2009) para bacterias fijadoras de nitrógeno (BFN).

Pruebas cualitativas de las rizobacterias

Para el caso de las BPI, éstas se sembraron en microplacas (microplates Costar 3591, Corning, NY) de 96 orificios que contenían 150 µL de medio liquido LB, las microplacas se incubaron durante 48 h y posteriormente se agregaron 150 µL de reactivo Salkowski (2 %; 0,5 M $FeCl_3$ en 35 % de ácido perclórico) a cada orificio y se incubó bajo condiciones de obscuridad durante 30 min, para el cambio de color, el cual fue indicativo de la producción de índoles.

Para las bacterias solubilizadoras de fosfato las cepas bacterianas se sembraron en caldo Luria-Bertani y se incubaron a 28 °C en un agitador rotatorio (Thermo scientific® modelo MAXQ 400) a 180 rpm durante 48 h. Posteriormente, en cajas con medio Pikovskaya se colocó un 1 µL de inóculo por cepa con tres repeticiones y se incubaron durante 24 h y 48 h finalmente se aislaron con base en las colonias que presentaron un halo transparente alrededor de ellas.

Para la producción de sideróforos las cepas se sembraron en tubos con 1 mL de medio de caldo nutritivo y se incubaron a 28 °C a 180 rpm durante 24 horas. Posteriormente, en cajas con medio cromo azurol-S (CAS) se agregó un 1 µL de inóculo y se incubaron durante 24 h y 48 h, finalmente se seleccionaron todas las cepas que presentaron colonias con un halo color amarillo alrededor de ellas, ya que el cambio a color amarillo es indicativo de producción de sideróforos (Louden *et al*., 2011).

Caracterización de las rizobacterias

Las 12 cepas de RPCV aisladas se cultivaron en medio líquido Pikovskaya (Pikovskaya, 1948) y se incubaron en una agitadora horizontal marca Thermo scientific® modelo MAXQ 400 rpm a 180 rpm durante siete días a 28 °C. Se incluyó una cepa de referencia identificada y caracterizada en un estudio previo como promotora de crecimiento vegetal (Pineda-Mendoza *et al*., 2019), detalles de esta cepa se describen más adelante. Transcurrido el tiempo de incubación se midió el pH de cada uno de los cultivos bacterianos con un medidor de pH (OAKTON® Instruments). La cuantificación de fosfatos en el medio se llevó a cabo por el método descrito por Almaraz-Suarez *et al*. (2020). El cultivo bacteriano se centrifugó a 7000 rpm durante 10 min. El sobrenadante se filtró con una membrana (Millex 0,22 µm Durapore®), y con una micropipeta se cogieron muestras de 150 µL de cada filtrado y se depositaron en microplacas de 96 pozos por triplicado, a cada pozo se le adicionaron 50 µL de vanadato (NH_4VO_3 0,25 % en 35 % HNO_3) y 50 µL de molibdato [$(NH_4)_6$ MO_7O_{24} al 5 %]. Se dejó reaccionar durante 5 min. Se midió la absorbancia de cada muestra en un espectrofotómetro (Synergy 2 microplate reader, Biotek Instruments, Inc.) a 420 nm. El fosfato soluble se cuantificó a través de una curva estándar con diferentes concentraciones de fosfato (0 µg mL^{-1}, 50 µg mL^{-1}, 100 µg mL^{-1}, 150 µg mL^{-1}, 200 µg mL^{-1}, 250 µg mL^{-1}, 300 µg mL^{-1}).

Para la cuantificación de producción de índoles se utilizó la técnica descrita por Almaraz-Suarez *et al*. (2020). Las cepas aisladas y la cepa de referencia se sembraron en tubos Eppendorf de rosca con 1 mL de medio de cultivo Luria-Bertani y se incubaron a 28 °C a 150 rpm durante 48 h. Trascurrido este tiempo los cultivos se centrifugaron a 7000 rpm durante 15 min. En microplacas de 96 pozos se depositaron 150 µL del sobrenadante de cada

muestra por triplicado, adicionando 150 µL de solución Salkowski. Las placas se incubaron durante 30 min en oscuridad, para posteriormente leerse en un espectrofotómetro lector de microplacas a 530 nm. La concentración de índoles se estimó a partir de una curva estándar de diferentes concentraciones de ácido indol acético (0 µg mL^{-1}, 10 µg mL^{-1}, 20 µg mL^{-1}, 30 µg mL^{-1}, 40 µg mL^{-1}, 50 µg mL^{-1}, 60 µg mL^{-1},70 µg mL^{-1}, 80 µg mL^{-1}, 90 µg mL^{-1}).

Identificación molecular

El material genético de biomasa de las 12 cepas, usado para la identificación molecular fue obtenido de cultivos jóvenes de menos de 24 h. Para ello se siguió el protocolo de extracción de DNA para bacterias del método CTAB al 2 % (Tris-HCl 100 mM; pH 8,0; EDTA $2H_2O$ mM; CTAB 2 %; NaCl 1,4 M) del Laboratorio de Biotecnología de Semillas del Colegio de Postgraduados y la amplificación se realizó de un fragmento ribosomal 16S ADNr. La mezcla de reacción consistió en: buffer 5X; dNTP's 2,5 mM; los primers 8F (5'-AGAGTTTGATCCTGGCTCAG-3') y 1492R (5'-GGTTACCTTGTTACGACTT-3'); Taq ADN polimerasa (5U); ADN 100 ng. La PCR se llevó a cabo en un termociclador C100 Touch (Bio-Rad, USA) con las siguientes condiciones de amplificación: 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 finalmente una extensión de un ciclo a 72 °C durante 10 min. El fragmento amplificado se verificó en un gel de agarosa al 1,5 % teñido con colorante verde de ADN (Green-DNA dye, Bio Basic Inc., Canada). Las amplificaciones se enviaron al servidor de secuenciación de Macrogen (Estados Unidos). La secuenciación se realizó en ambas direcciones con el Genetic Analyzer modelo 3130 (Applied Biosystem, EE.UU). Las secuencias correspondientes a la región 16S ADNr, se ensamblaron y editaron con la opción *Contig Assembly Program* (CAP) del Software BioEdit v7.0.9.1, para la creación de las secuencias de cada uno de los aislamientos. Con base en que Herramienta Básica de Búsqueda de Alineación Local (BLAST) del Centro Nacional de Biotecnología Información (NCBI) encuentra regiones de similitud local entre secuencias con alineamientos significantes, las secuencias consensuadas de cada aislamiento obtenido para la región 16S ADNr se compararon con la opción BLAST_ nucleotide 2.2.19. Las secuencias de las bacterias se depositaron en la base de datos de *GenBank* NCBI.

Efectividad de las rizobacterias en la promoción del crecimiento en plántulas de tomate

Se incluyeron 12 cepas de bacterias para evaluar sus efectos en la promoción de crecimiento las cuales fueron seleccionadas por su capacidad para producir índoles, producir auxinas, sideróforos y fijar nitrógeno, además se agregó la cepa P61 *P. tolaasii* como referencia, la cual fue aislada de la rizosfera de papa en el Valle de Toluca, Estado de México. Esta cepa tiene la capacidad de solubilizar fosfatos, producir auxinas y sideróforos, además tiene la capacidad de inhibir *Rhizoctonia solani* (Pineda-Mendoza *et al*., 2019).

Las cepas bacterianas se cultivaron en caldo nutritivo en agitación constante a 180 rpm durante 48 h a 28 °C. Posteriormente fueron centrifugadas a 7000 rpm durante 15 min para separar el concentrado microbiano del medio de cultivo. Este concentrado se resuspendió en agua destilada estéril y centrifugó en dos ocasiones con el propósito de eliminar los nutrientes residuales. La densidad de células bacterianas fue de 1 x 10^8 UFC mL^{-1}.

Se usaron semillas de tomate "hybrid OptimMax". La siembra de las semillas se realizó

en charolas de poliestireno de 12 cavidades. Se sembraron tres semillas por cavidad en un sustrato conformado por turba y perlita (2:1), previamente esterilizado en una autoclave (3 días no consecutivos durante 3 h, a 18 lb b de presión). La inoculación de la cepa bacteriana se llevó a cabo a los 10 días después de la siembra, aplicando 2 mL de inóculo directamente a la zona de la raíz. Las plántulas fueron fertilizadas con solución nutritiva de Steiner (265,5 de $Ca(NO_3)_2 \bullet 4H_2O$; 78 de KNO_3; 67,5 de K_2SO_4; 123 de $MgSO_4 \bullet 7H_2O$ y 34 de KH_2PO_4, mg/L, con el pH ajustado a 6,5) al 10 % y 20 %. La frecuencia y duración de los riegos estuvo en función de las necesidades de la planta, manteniendo siempre una humedad constante. Al término del experimento, 35 días después de la emergencia, en cada planta se midió altura, diámetro, volumen radical, área foliar, área foliar específica, peso fresco, seco, y contenido de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K).

Diseño experimental

Los ensayos para evaluar la producción de auxinas y solubilización de fosfatos de las 12 cepas estudiadas y la cepa de referencia se establecieron en un diseño experimental completamente al azar con tres repeticiones.

El experimento con plántulas también utilizó un diseño experimental completamente al azar, pero en este caso fue con 14 tratamientos. Los cuales consistieron en 12 cepas de bacterias aisladas de la rizosfera de tomate, una cepa de referencia y un testigo sin inocular, todos con cuatro repeticiones. Los datos fueron analizados mediante el paquete estadístico Statistical Analysis System (SAS) 9.0 para Windows realizando un análisis de varianza y prueba de comparación de medias (Tukey, $\alpha = 0,05$).

Resultados y discusión

Características relacionadas con la promoción de crecimiento vegetal

De las 70 cepas evaluadas solo las cepas JP4, JP13 y JP8 formaron halos muy marcados en el medio sólido Pikovskaya, lo cual indicó una alta capacidad de solubilizar fosfato. También hubo cepas que presentaron halos tenues en este medio. Bashan *et al*. (2013) mencionan que la formación de halos en medio sólido no debe considerarse como la única prueba para la solubilización de fosfato ya que, las colonias pueden perder su halo después de varias resiembras, para ello se debe realizar un ensayo confirmatorio de la capacidad de solubilizar fosfato en medio líquido para determinar la cantidad de fosfato soluble. Por esta razón se realizó dicho ensayo no solo con las tres cepas que formaron halos marcados, sino que también se les realizó a otras nueve cepas y a la cepa de referencia (P61).

En el ensayo de la solubilización de fosfato se observó que las 13 cepas evaluadas tienen la capacidad de solubilizar dicho elemento en un rango que varió de 22 µg mL^{-1} a 300 µg mL^{-1}, los valores más altos se presentaron en las cepas JP13, JC3, JP8, JPS5, JLB6 y JP6 con valores superiores a 118 µg mL^{-1} (Figura 2). En otras investigaciones se ha encontrado que la solubilización de fosfato por diferentes cepas de rizobacterias varía de 10 µg mL^{-1} hasta más de 800 µg mL^{-1}, dependiendo del tiempo de incubación (Misra *et al*., 2012; Zahid *et al.*, 2015; González Mancilla *et al.*, 2017). Las bacterias solubilizadoras de fosfatos desempeñan un importante papel en el suplemento de fósforo para las plantas, los géneros bacterianos con mayores potencialidades de uso son *Pseudomonas* y *Bacillus* (Restrepo-Franco *et al*., 2015). Para el caso del pH, todas las cepas crecidas en el medio Pikovskaya lo acidificaron, ya que el pH inicial fue de 7,3 y siete días después éste bajó a valores entre 6,12 y 4,24, siendo la cepa de referencia P61 la que

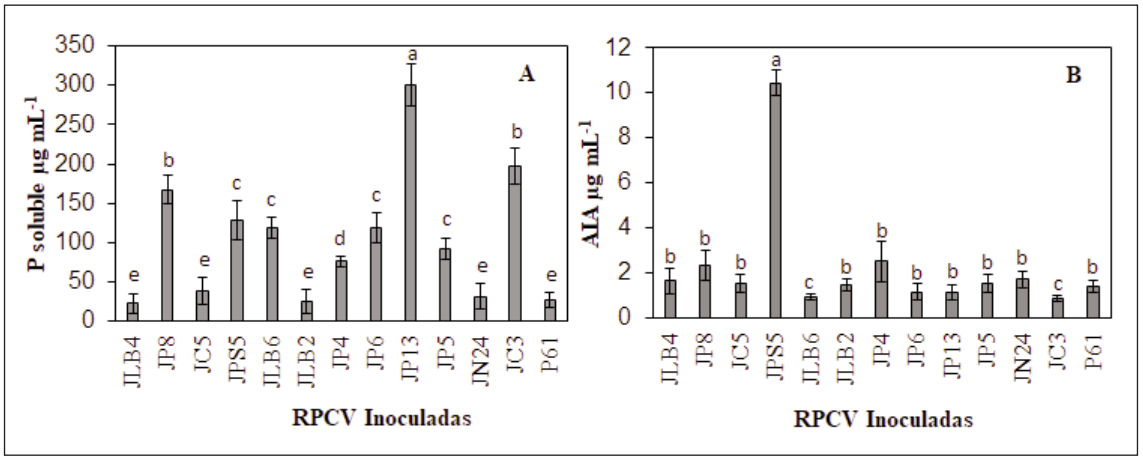


Figura 2. Fosfato soluble (A) y ácido indol acético (AIA) (B) en cultivos de cepas de rizobacterias promotoras de crecimiento vegetal (RPCV). ± Error estandar.
Figure 2. Soluble phosphate (A) and IAA (B) in cultures of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) strains. ± Standard error.

más acidificó el medio. Corrales Ramírez *et al*. (2014) mencionan que la capacidad de solubilizar fosfato de las bacterias está asociada a la liberación de ácidos orgánicos como el ácido oxálico, glucónico, cítrico, láctico y isobutírico lo que permite la acidificación del medio. Los ácidos orgánicos producidos por las bacterias reaccionan con los compuestos del fósforo liberando fosfato soluble, el cual depende del tipo y fuerza de estos ácidos (Gamalero y Glick, 2011).

Para el caso de la producción de ácido indolacético, se evaluaron 64 cepas y se observó si había cambio de color a rosa cuando al cultivo bacteriano se le adicionó el reactivo de Salkowski, lo cual indicó la presencia de índoles. Esto permitió preseleccionar 12 cepas que presentaron color rosa intenso. En una segunda fase a esas 12 cepas se les cuantificó la producción de índoles en medio líquido. Se observó que la cepa JPS5 presentó la mayor concentración de índoles (10,4 µg mL^{-1}). Por otra parte, las cepas JP8, JP4, JLB2, JLB4 y JN24 presentaron concentraciones mayores a 1,52 µg mL^{-1}. Sin embargo, las cepas JC5, JP6, JP13, JP5, JC3, JLB6 y P61 produjeron muy bajas concentraciones de índoles de 0,85-1,52 µg mL^{-1} (Figura 2). González Mancilla *et al*. (2017) caracterizaron un total de 215 cepas aisladas de la rizosfera de la región de la Sierra Nevada, Puebla, México y encontraron 71 cepas que producían ácido indol acético (AIA) en concentraciones desde 20 mg L^{-1} hasta 27 mg L^{-1}; en el caso de la presente investigación las cepas no produjeron niveles de AIA tan altos.

La capacidad de las bacterias para fijar nitrógeno fue registrada en una de las doce cepas estudiadas (JN24). Esta actividad se ha estudiado ampliamente en el género *Bacillus*. Por ejemplo, Kifle y Laing (2011) encontraron que la inoculación de cepas de *Bacillus* en lechuga incrementó el contenido de nitrógeno en las plantas, lo cual se debió a la capacidad de fijar nitrógeno de las cepas estudiadas y a la densidad de inóculo aplicado, siendo mejor la dosis de 10^8 unidades formadoras de colonias.

Las cepas JP4, JP5, JP6, JP8 y P61 produjeron sideroforos, las cuales presentaron colonias con halos de color amarillo de diámetros de 0,40-0,46 mm en el medio CAS, lo que indica que estas cepas son capaces de producir sideróforos removiendo el hierro del medio (García *et al*., 2012). Aguado-Santacruz *et al*. (2012) mencionan que los sideróforos bacterianos han generado un gran interés en los últimos años debido al potencial que tienen para el control biológico de hongos y bacterias fitopatógenas, inhibiendo el crecimiento de micelio a través de la captación de hierro, haciéndolo menos disponible para los patógenos.

Identificación molecular de las cepas bacterianas

El análisis de las secuencias de ADNr 16S amplificadas mostró una alta similitud de las secuencias de los aislados JP4, JP5, JP6 Y JP8 con las secuencias de ADNr 16s de *P. aeruginosa* (100 %). Mientras que JLB2 y JLB6 tienen una alta similitud con *S. equorum* (100 %); la cepa JC3 presentó un alto porcentaje de similitud con especies de *Pseudarthrobacter* spp. (99,65 %) y dos cepas (JC5 y JN24) con *A. enclensis* (100 %); la cepa JP13 tuvo similitud con *B. licheniformis* (100 %), para el caso de la cepa JPS5 se encontró una alta similitud con *B. drentensis* (99,93 %) y por último la cepa JLB4 mostró una alta similitud con *A. pokkalii* (100 %) (Tabla 1). Misra *et al*. (2012) mencionan que las cepas de *P. aeruginosa* son capaces de solubilizar más de 450 mg mL^{-1} de fósforo en suelos con altas concentraciones de metales pesados y en condiciones de alta humedad y temperatura, además ha resultado ser un microorganismo de gran aplicación, porque no solo solubiliza fosfato, sino también tiene la capacidad de producir sideróforos para la quelación del hierro (Kumar

Tabla 1. Identificación molecular de las 12 cepas de rizobacterias promotoras crecimiento vegetal aisladas de la rizosfera de tomate.
Table 1. Molecular identification of 12 strains of plant growth promoting rhizobacteria isolated from the tomato rhizosphere.

Nombre de la cepa	Identidad	Identidad (%)	Número de acceso al GenBank
JLB4	*Arthobacter pokkalii*	100	MW629814
JP8	*Pseudomonas aeruginosa*	100	MW629806
JP4	*Pseudomonas aeruginosa*	99,93	MW629803
JP5	*Pseudomonas aeruginosa*	100	MW629804
JP6	*Pseudomonas aeruginosa*	100	MW629805
JC5	*Arthrobacter enclensis*	100	MW629811
JN24	*Arthrobacter enclensis*	100	MW629812
JP13	*Bacillus licheniformis*	100	MW629807
JPS5	*Bacillus drentensis*	99,93	MW629808
JLB2	*Staphylococcus Equorum*	100	MW629809
JLB6	*Staphylococcus Equorum*	100	MW629810
JC3	*Pseudarthrobacter* sp.	99,65	MW629813

et al., 2005; Restrepo-Correa *et al*., 2017). Mientras que *S. equorum* es una bacteria patógena, sin embargo, se ha utilizado en investigaciones para determinar la actividad biológica de extractos de plantas (Carvajal-Tesorero *et al*., 2013). Algunas cepas de *Pseudarthrobacter* sp. son consideradas como productora de auxinas y contienen genes resistentes a metales pesados. Además, se ha encontrado que contienen genes relacionados con la desnitrificación de nitritos y nitratos (Park *et al*., 2020). En investigaciones recientes se encontró que cepas de la especie *A. enclensis* pueden producir más de 130 mg L^{-1} de AIA a las 12 h de la incubación en caldo nutritivo cuando se adicionó triptófano al 0,2 % (Zeng *et al*., 2016; Moon y Yoon, 2019). En el presente trabajo las cepas *A. enclesis* JC5 y JN24 produjeron menos de 2 mg L^{-1} de AIA en medio LB con 1 g de triptófano L^{-1}, muy por debajo de lo reportado en la literatura, lo cual sugiere que la capacidad de producir auxinas en la especie *A. encliensis* puede variar en un rango muy amplio.

Cepas pertenecientes a las especies *B. licheniformis* y *B. drentensis* se han reportado en estudios recientes como fijadoras de nitrógeno, productoras de auxinas y solubilizadoras de fosfato (Mahmood *et al.,* 2016; Acurio Vásconez *et al*., 2020). Algunas de estas características se constataron en esta investigación, ya que las cepas JP13 y JPS5 correspondientes a las especies mencionadas produjeron niveles significativos de auxinas y fosfato soluble en los medios específicos utilizados.

Para el caso de *A. pokkalii*, Krishnan *et al*. (2016) mencionan que dicha bacteria posee características beneficiosas para el crecimiento de las plantas, dado que puede producir AIA y sideróforos. Este no fue el caso de la cepa JLB4, perteneciente a esa especie, ya que produjo baja cantidad de auxinas y no produjo sideróforos.

Efectividad de las rizobacterias en la promoción del crecimiento en plántulas de tomate

La cepa JN24 presentó el mayor efecto en altura y diámetro de tallo de planta ($P \leq 0,05$), ya que estas variables se incrementaron en 24 % y 22 %, respectivamente, en relación al testigo. Las plantas inoculadas con la cepa JLB4 tuvieron el mayor volumen radical superando al testigo en 40 % y a la cepa de referencia P61 en 68 % (Figura 3). Noh Medina *et al*. (2014) inocularon cepas de *Paenibacillus polymyxa* y *B. megaterium* en semillas de tomate, lo que les condujo a obtener plántulas con mayor altura que las plántulas sin inoculación de rizobacterias superando al testigo en más de 36 %. Efectos similares también los obtuvo González Mancilla *et al*. (2017) en chile poblano quienes encontraron incrementos en altura mayores al 22 % en relación al testigo. Amaresan *et al*. (2012) cuando inocularon plántulas de tomate y chile con cepas de RPCV obtuvieron aumentos significativos de la longitud de raíces y brotes.

Con respecto a el área foliar se observaron diferencias significativas ($P \leq 0,05$) entre tratamientos. Casi todas las cepas fueron significativamente superiores en área foliar en relación al testigo y la más sobresaliente fue JLB2 con 19,95 cm^2 (Tabla 2). En el caso del área foliar específica, se observó que las plantas de tomate inoculadas con la cepa JP4 mostraron significativamente ($P \leq 0,05$) el mayor valor con 289,6 $cm^2\ g^{-1}$ en comparación con los demás tratamientos (Tabla 2).

El análisis de varianza de la variable peso fresco de hojas y tallo en plántulas de tomate inoculadas con RPCV mostró diferencias altamente significativas en las dos variables ($P \leq 0,05$). Los tratamientos inoculados con las cepas JLB4 (*A. pokkalii*) y JN24 (*A. enclensis*) fueron estadísticamente superiores al resto

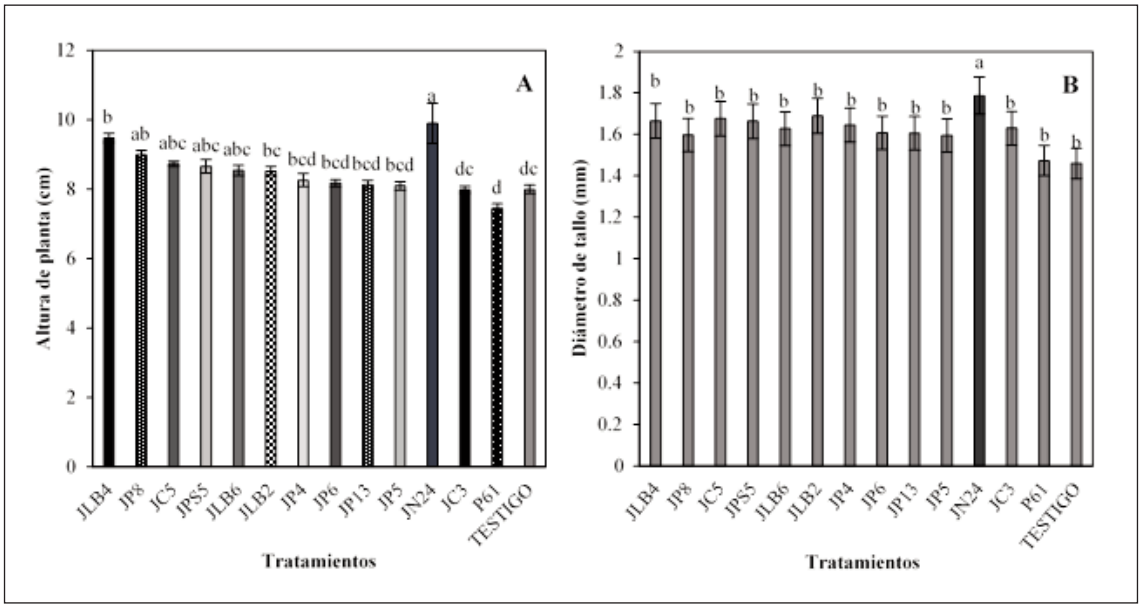


Figura 3. Altura (A) y diámetro de tallo (B) de plántulas de tomate inoculadas con diferentes cepas de rizobacterias promotoras de crecimiento vegetal (RPCV). ± error estandar.
Figure 3. Height (A) and stem diameter (B) of tomato seedlings inoculated with different strains of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR). ± standard error.

de los tratamientos, tanto en el peso fresco de hojas como de tallo. La inoculación de las cepas JN24 y JLB4 incrementó la biomasa total en 26 % y 78 %, respectivamente, en relación al testigo (Tabla 2). En la investigación de Luna Martínez *et al*. (2013), se observó que la inoculación de plántulas de tomate y pimiento con la cepa MA12 del género *Bacillus* incrementó la biomasa en 20 % y 37 %, respectivamente. Esto indica que el efecto positivo con la cepa JLB4 de la especie *A.pokkalii* fue superior a lo que reportaron esos autores cuya cepa sobresaliente perteneció al género *Bacillus*.

El tratamiento con la cepa JLB4 obtuvo el mayor peso seco en hojas, tallos, raíz y biomasa seca total con valores de 113,5 mg, 58,9 mg, 87,17 mg y 259,6 mg, respectivamente (Tabla 2). La inoculación con esta cepa incremento la biomasa seca en 79 % con respecto al testigo. En un estudio Amaresan *et al*. (2012) encontraron que la inoculación de cepas de *Bacillus* spp., *Serratia* spp., *Arthrobacter* spp. y *S. marcescens* incrementaron significativamente la longitud radical, la altura y la producción de biomasa seca en plántulas de tomate y chile. El mejor tratamiento que ellos mencionan fue el inoculado con la cepa de *Bacillus* sp. BETS11, que incrementó la biomasa seca en 200 % en tomate y 400 % en chile.

La cepa JLB4 presentó efectos sobresalientes en el crecimiento de las plántulas de tomate a pesar de que produjeron bajos valores en la solubilización de fosfato, producción de AIA y no produjeron sideróforos. El mayor volumen radical encontrado en el tratamiento con la cepa JLB4 sugiere que hay un efecto positivo en el crecimiento de la raíz, lo cual posiblemente sea por producción de hormonas vegetales. En la literatura consultada se

Tabla 2. Efecto de la inoculación de cepas de rizobacterias promotoras de crecimiento vegetal (RPCV) en plántulas de tomate en invernadero.
Table 2. Effect of the inoculation of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) strains in tomato seedlings in greenhouse.

Cepas	Volumen radical (cm^3)	Área foliar (cm^2)	Área foliar especifica ($cm^2\ g^{-1}$)	Peso seco hojas (mg)	Peso seco tallo (mg)	Peso seco raíz (mg)	Peso seco total (mg)
JLB4	1,65 a	18,90 ab	168,3 e	113,53 c	58,90 a	87,17 a	259,6 a
JP8	1,21 bcd	18,35 abc	275,2 ab	69,40 cde	37,82 bc	42,26 cd	149 de
JC5	1,16 cd	19,32 ab	277,2 ab	72,10 cde	35,74 c	56,62 b	164 bcde
JPS5	1,35 bc	18,18 abc	229,9 bcd	81,98 bc	39,83 bc	57,58 b	179 bc
JLB6	1,35 bc	17,00 bcd	236,3 abcd	73,68 cde	37,19 bc	44,55 bcd	155 cde
JLB2	1,42 ab	19,95 a	263,5 abc	77,85 bcde	37,58 bc	47,44 bc	162 bcde
JP4	1,18 bcd	16,23 cde	289,6 a	65,85 e	35,93 c	46,93 bc	149 de
JP6	1,23 bc	17,26 bc	268,6 abc	66,62 e	33,67 c	40,86 cd	141 e
JP13	1,12 cd	14,68 def	223,7bcde	67,69 de	36,04 c	46,84 bc	150 de
JP5	1,33 bc	18,73 ab	245,1 abcd	80,51 bcd	39,95 bc	50,03 bc	170 bcd
JN24	1,30 bc	18,47 abc	217,9 cde	87,04 b	43,19 b	56,27 b	186 b
JC3	1,15 cd	14,50 ef	202,0 de	75,44 bcde	37,40 bc	37,40 cd	150 de
P61	0,98 d	12,61 f	255,5 abcd	50,65 f	25,83 d	32,43 d	108 f
TESTIGO	1,16 cd	13,69 f	213,8 cde	65,51 e	34,023 c	46,45 bc	145 de

Diferentes letras en la misma columna indican diferencias significativas (Tukey, $\alpha = 0,05$).

encontró que la especie identificada como *A. pokkalii* posee características beneficiosas para el crecimiento de las plantas, dado que puede producir ácido indol acético (AIA), además forman biopelículas y utilizan varios componentes de los exudados de las raíces de las plantas (azúcares, aminoácidos y ácidos orgánicos) (Krishnan *et al*., 2016).

Contenido nutrimental

El N es considerado como el nutriente más importante para el crecimiento de las plantas y el menos disponible en los suelos agrícolas. En esta investigación los resultados muestran que en los diferentes tratamientos inoculados con cepas de RPCV el contenido de nitrógeno se encuentra entre 1,84 mg planta^{-1} a 0,85 mg planta^{-1}, sobresaliendo el tratamiento inoculado con la cepa JLB4 (*A. pokkalii*), mientras que el valor más bajo se obtuvo en el testigo (Tabla 3). El potasio es un nutriente esencial para las plantas, es absorbido en grandes cantidades y tiene funciones en procesos de osmorregulación, movimiento estomático, elongación celular y participan en el equilibrio iónico (Njira y Nabwami, 2015; Gómez-Merino *et al*., 2016). La inoculación de las diferentes cepas tuvo efectos altamente significativos ($P \leq 0,05$) en el contenido de potasio, siendo JLB4 la cepa que obtuvo el mayor aumento en la absorción de

Tabla 3. Efecto de la inoculación de cepas de rizobacterias promotoras de crecimiento vegetal (RPCV) en el contenido nutrimental de plántulas de tomate.
Table 3. Effect of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) inoculation on the nutrient content of tomato seedlings.

Cepas	N (mg planta^{-1})	P (mg planta^{-1})	K (mg planta^{-1})
JLB4	1,84 a	0,22 a	3,85 a
JP8	1,34 ab	0,09 f	2,33 cde
JC5	1,43 ab	0,17 b	2,52 bcde
JPS5	1,57 ab	0,17 b	2,80 abc
JLB6	1,40 ab	0,14 bcd	2,51 bcde
JLB2	1,41 ab	0,13 bcd	2,65 bcde
JP4	1,12 abc	0,12 de	2,25 de
JP6	1,40 ab	0,16 bc	2,27 de
JP13	1,13 abc	0,12 de	2,28 de
JP5	1,38 ab	0,12 de	2,69 bc
JN24	1,51 ab	0,16 bc	3,02 b
JC3	1,42 ab	0,12 de	2,55 bcde
P61	1,08 abc	0,10 e	1,80 f
TESTIGO	0,8 d	0,11de	2,07 df

Diferentes letras en la misma columna indican diferencias significativas (Tukey, $\alpha = 0,05$).

potasio con 3,85 mg planta^{-1}, en comparación con el resto de los tratamientos; la cepa de referencia (P61) presentó el valor más bajo en el contenido de potasio (Tabla 3). El aumento significativo en el crecimiento y el nivel de N y P en la planta tras la aplicación de los aislamientos es un indicativo de que la inoculación con microorganismos puede proporcionar un mejor flujo de nutrientes y dar como resultado una mayor biomasa (Abbasi *et al*., 2011; Raklami *et al*., 2019).

El fósforo es un macro elemento esencial para el crecimiento de las plantas, dado que participa en los procesos metabólicos, tales como la fotosíntesis, la transferencia de energía, transferencia genética, la síntesis y degradación de los carbohidratos (Njira y Nabwami, 2015). Las diferentes cepas de RPCV presentaron efectos altamente significativos ($P \leq 0,05$) en el contenido de fósforo, siendo JLB4 la cepa que obtuvo el mayor aumento en la absorción de P con 3,85 mg planta^{-1}, en comparación con el resto de los tratamientos (Tabla 3). Todas las cepas seleccionadas incluyendo la de referencia solubilizaron fosfato en medio de cultivo, aunque la cepa JLB4 fue de las que solubilizaron bajas cantidades, en un rango de 22,5 µg mL^{-1} a 38,7 µg mL^{-1}. Probablemente el mayor contenido de P en las plantas inoculadas con esa cepa se debió a varios mecanismos que afectaron positivamente la raíz, lo que condujo a un incremento en el volumen radical y por lo tanto un aumento en la asimilación de nutrientes (Amaresan *et al*., 2012; Sánchez-López *et al*., 2012). En otras investigaciones se ha observado que inoculantes con una cepa o inoculantes que contienen mezclas de cepas que poseen diferentes atributos de promoción de crecimiento afectan positivamente el crecimiento al favorecer una mayor disponibilidad de nutrientes como N, P y K (Coutinho *et al*., 2012; Shen *et al*., 2016). En el presente trabajo las cepas que condujeron a mayor contenido de esos tres macroelementos fueron JLB4, JPS5 y JN24.

Conclusiones

Las 12 cepas de RPCV seleccionadas pertenecieron a siete especies: *A. pokkalii*, *P. aeruginosa*, *A. enclensis*, *B. licheniformis, B. drentensis*, *S. equorum* y *Pseudarthrobacter* spp. Solo un número reducido de las cepas aisladas presentaron atributos de promoción de crecimiento a nivel laboratorio lo que equivale al 17 % de los aislados. De estas solo 3 tuvieron efectos significativos en el crecimiento y nutrición de plántulas de tomate. Las cuales correspondieron a las cepas JLB4, JN24 y JLB2. Particularmente la cepa bacteriana *A. pokkalii* JLB4 tiene un potencial como biofertilizante para incrementar el crecimiento de las plantas de tomate.

Agradecimientos

La primera autora agradece la beca otorgada por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México (CONACYT) y al financiamiento del Colegio de Postgraduados para llevar a cabo la investigación.

Referencias bibliográficas

Abbasi MK, Sharif S, Kazmi M, Sultan T, Aslam M (2011). Isolation of plant growth promoting rhizobacteria from wheat rhizosphere and their effect on improving growth, yield and nutrient uptake of plants. Plant Biosystems 145: 159-168. https://doi.org/10.1080/11263504.2010.542318.

Acurio Vásconez RD, Mamarandi Mossot JE, Ojeda Shagñay AG, Tenorio EM, Chiluisa Utreras VP, Vaca Suquillo ID (2020). Evaluación de *Bacillus* spp. como rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (RPCV) en brócoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) y lechuga (*Lactuca sativa*). Ciencia y Tecnología Agropecuaria 21(3): 1-16. https://doi.org/10.21930/rcta.vol21_num3_art:1465.

Aguado-Santacruz GA, Moreno-Gómez B, Jiménez-Francisco B, García-Moya E, Preciado-Ortiz RE (2012). Impacto de los sideróforos microbianos y fitosidéforos en la asimilación de hierro por las plantas: una síntesis. Revista Fitotecnia Mexicana 35(1): 9-21.

Alfonso ET, Leyva A, Hernández A (2005). Microorganismos benéficos como biofertilizantes eficientes para el cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum*, Mill). Revista Colombiana de Biotecnología 7(2): 47-54.

Almaraz-Suarez JJ, Pineda-Mendoza DY, 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 CR, Delgadillo MJ, Alarcón A, Alvarado LJ, Pérez MJ, Almaraz SJJ), pp. 227-240. Primera edición. Editorial del Colegio de Postgraduados.

Amaresan N, Jayakumar V, Kumar K, Thajuddin N (2012). Isolation and characterization of plant growth promoting endophytic bacteria and their effect on tomato (*Lycopersicon esculentum*) and chilli (*Capsicum annuum*) seedling growth. Annals of Microbiology 62(2): 805-810. https://doi.org/10.1007/s13213-011-0321-7.

Bashan Y, Kamnev AA, de-Bashan LE (2013). Tricalcium phosphate is inappropriate as a universal selection factor for isolating and testing phosphate-solubilizing bacteria that enhance plant growth: a proposal for an alternative procedure. Biology and Fertility of Soils 49(4): 465-479. https://doi.org/10.1007/s00374-012-0737-7.

Camelo M, Vera SP, Bonilla RR (2011). Mecanismos de acción de las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal. Ciencia y Tecnología Agropecuaria 12(2): 159-166. https://doi.org/10.21930/rcta.vol12_num2_art:227.

Canto-Martín JC, Medina-Peralta S, Morales Avelino D (2004). Efecto de la inoculación con *Azospirillum* sp. en plantas de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacquin). Tropical and Subtropical Agroecosystems 4(1): 21-27.

Carvajal-Tesorero Z, Ramírez Zambrano L, Ducurú M, Gómez V, Cabrera G, Méndez J, Rodríguez Ortega M (2013). Actividad biológica de extractos de tres plantas sobre bacterias patógenas para el humano. Revista de la Sociedad Venezolana de Microbiología 33(1): 35-39.

Corrales Ramírez LC, Sánchez Leal LC, Arévalo Galvez ZY, Moreno Burbano VE (2014). *Bacillus*: género bacteriano que demuestra ser un importante solubilizador de fosfato. Nova 12(22): 165-177. https://doi.org/10.22490/24629448.1041.

Coutinho FP, Felix WP, Yano-Melo AM (2012). Solubilization of phosphates *in vitro* by *Aspergillus* spp. and *Penicillium* spp. Ecological Engineering 42: 85-89. https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2012.02.002.

Gamalero E, Glick BR (2011). Mechanisms used by plant growth promoting bacteria. En: Bacteria in agrobiology: Plant nutrient management (Ed. Maheshwari D.K), pp. 17-46. Springer-Verlag. Heidelberg, Germany. https://doi.org/10.1007/978-3-642-21061-7_2.

García C, Passerini De Rossi B, Alcaraz E, Vay C, Franco M (2012). Siderophores of *Stenotrophomonas maltophilia*: detection and determination of their chemical nature. Revista Argentina de Microbiología 44(3): 150-154.

Gómez-Merino FC, Trejo-Téllez LI, Alcántar-González GL (2016). Nutrición molecular de N, P y K en plantas. En: Nutrición de cultivos (Ed. G. Alcántar-Gozález, L.I. Trejo-Téllez y F.C. Gómez-Merino), pp. 394-419. Segunda edición. México.

González Mancilla A, Almaraz Suarez JJ, Ferrera Cerrato R, Rodríguez Guzmán MP, Taboada Gaytán OR, Trinidad Santos A, Alarcón A, Arteaga Garibay RI (2017). Caracterización y selección de rizobacterias promotoras de crecimiento en plántulas de chile poblano (*Capsicum annuum* L.). Revista Internacional de Contaminación Ambiental 33(3): 463-474. https://doi.org/10.20937/rica.2017.33.03.09.

Kifle MH, Laing MD (2011). Determination of optimum dose and frequency of application of free-living diazotrophs (FLD) on lettuce. African Journal of Agricultural Research 6(3): 671-675.

Krishnan R, Menon RR, Tanaka N, Busse HJ, Krishnamurthi S, Rameshkumar N (2016). *Arthrobacter pokkalii* sp nov, a novel plant associated actinobacterium with plant beneficial proper-

ties, isolated from saline tolerant pokkali rice, Kerala, India. PLoS One 11(3): e0150322. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0150322.

Kumar RS, Ayyadurai N, Pandiaraja P, Reddy AV, Venkateswarlu Y, Prakash O, Sakthivel N (2005). Characterization of antifungal metabolite produced by a new strain *Pseudomonas aeruginosa* PUPa3 that exhibits broad spectrum antifungal activity and biofertilizing traits. Journal of Applied Microbiology 98(1): 145-154. https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2004.02435.x.

Larín MA, Díaz LA, Serrano RF (2018). Cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum*). Centro Nacional De Tecnología Agropecuaria y Forestal "Enrique Álvarez Córdova". Disponible en: http://centa.gob.sv/docs/guias/hortalizas/Guia%20Centa_Tomate%202019.pdf (Consultado el 24 de febrero de 2020).

Louden BC, Haarmann D, Lynne AM (2011). Use of blue agar CAS assay for siderophore detection. Journal of Microbiology and Biology Education 12(1): 51-53. https://doi.org/10.1128/jmbe.v12i1.249.

Luna Martínez L, Martínez Peniche RA, Hernández Iturriaga M, Arvizu Medrano SM, Pacheco Aguilar JR (2013). Caracterización de rizobacterias aisladas de tomate y su efecto en el crecimiento de tomate y pimiento. Revista Fitotecnia Mexicana 36(1): 63-69.

Mahmood S, Daur I, Al-Solaimani SG, Ahmad S, Madkour MH, Yasir M, Hirt H, Ali S, Ali Z (2016). Plant growth promoting rhizobac and silicon synergistically enhance salinity tolerance of mung bean. Frontiers in Plant Science 7: 1-14. https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00876.

Mantilla-Paredes AJ, Cardona GI, Peña-Venegas CP, Murcia U, Rodríguez M, Zambrano MM (2009). Distribución de bacterias potencialmente fijadoras de nitrógeno y su relación con parámetros fisicoquímicos en suelos con tres coberturas vegetales en el sur de la Amazonia colombiana. Revista de Biología Tropical 57(4): 915-927.

Misra N, Gupta G, Jha PN (2012). Assessment of mineral phosphate solubilizing properties and molecular characterization of zinc tolerant bacteria. Journal of Basic Microbiology 52(5): 549-558. https://doi.org/10.1002/jobm.201100257.

Moon SJ, Yoon MH Y (2019). Plant growth promotion effect of *Arthrobacter enclensis* Yangsong-1 isolated from a button mushroom bed. Journal Mushroom 17(1): 12-18. https://doi.org/10.14480/JM.2019.17.1.12.

Mustafa S, Kabir S, Shabbir U, Batool R (2019). Plant growth promoting rhizobacteria in sustainable agriculture: from theoretical to pragmatic approach. Symbiosis 78(2): 115-123. https://doi.org/10.1007/s13199-019-00602-w.

Njira KO, Nabwami J (2015). A review of effects of nutrient elements on crop quality. African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development 15(1): 9777-9793.

Noh Medina J, Yam Chimal C, Borges Gómez L, Zúñiga Aguilar JJ, Godoy Hernández G (2014). Aislados bacterianos con potencial biofertilizante para plántulas de tomate. Terra Latinoamericana 32(4): 273-281.

Osorio Soto G (2008). Agricultura sustentable. Una alternativa de alto rendimiento. Ciencia UANL 11(1): 78-81.

Park MK, Park YJ, Kim M, Kim MC, Ibal JC, Kang GU, Lee GD, Tagele SB, Kwon HJ, Kang MS, Kim MH, Kim SY, Shin JH (2020). Complete genome sequence of a plant growth-promoting bacterium *Pseudarthrobacter* sp. NIBR-BAC000502772, isolated from shooting range soil in the Republic of Korea. The Microbiological Society of Korea 56(4): 390-393. https://doi.org/10.7845/kjm.2020.0066.

Pikovskaya RI (1948). Mobilization of phosphorus in soil in connection with the vital activity of some microbial species. Mikrobiologiya 17: 362-370.

Pineda-Mendoza DY, Almaraz JJ, Lara-Hernández M, Arteaga-Garibay R, Silva-Rojas HV (2019). Cepas de bacterias aisladas de esporomas de hongos ectomicorrízicos promueven el crecimiento vegetal. ITEA-Información Técnica Económica Agraria 115(1): 4-17. https://doi.org/10.12706/itea.2018.027.

Raklami A, Bechtaoui N, Tahiri AI, Anli M, Meddich A, Oufdou K (2019). Use of rhizobacteria and mycorrhizae consortium in the open field as a strategy for improving crop nutrition, productivity and soil fertility. Frontiers in Microbiology 10: 1106. https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.01106.

Rennie RJ (1981). A single medium for the isolation of acetylene reducing (dinitrogen-fixing) bacteria from soils. Canadian Journal of Microbiology 27(1): 8-14. https://doi.org/10.1139/m81-002.

Restrepo-Correa SP, Pineda-Meneses EC, Ríos-Osorio LA (2017). Mecanismos de acción de hongos y bacterias empleados como biofertilizantes en suelos agrícolas: una revisión sistemática. Ciencia y Tecnología Agropecuaria 18(2): 335-351. http://dx.doi.org/10.21930/rcta.vol18_num2_art:635.

Restrepo-Franco GM, Marulanda-Moreno S, de la Fe-Pérez Y, Díaz-de la Osa A, Lucia-Baldani V, Hernández-Rodríguez A (2015). Bacterias solubilizadoras de fosfato y sus potencialidades de uso en la promoción del crecimiento de cultivos de importancia económica. Revista CENIC Ciencias Biológicas 46(1): 63-76.

Riah W, Laval K, Laroche-Ajzenberg E, Mougin C, Latour X, Trinsoutrot-Gattin I (2014). Effects of pesticides on soil enzymes: a review. Environmental Chemistry Letters 12(2): 257-273. https://doi.org/10.1007/s10311-014-0458-2.

Sánchez-López DB, Gómez-Vargas RM, Garrido Rubiano MF, Bonilla-Buitrago RR (2012). Inoculación con bacterias promotoras de crecimiento vegetal en tomate bajo condiciones de invernadero. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 3(7): 1401-1415.

Shen H, He X, Liu Y, Chen Y, Tan J, Guo T (2016). A complex inoculant of N_2-fixing, P- and K-solubilizing bacteria from a purple soil improves the growth of kiwi fruit (*Actinidia chinensis*) plantlets. Frontiers in Microbiology 7: 841. https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.00841.

Zahid M, Abbasi MK, Hameed S, Rahim N (2015). Isolation and identification of indigenous plant growth promoting rhizobacteria from Himalayan region of Kashmir and their effect on improving growth and nutrient contents of maize (*Zea mays* L.). Frontiers in Microbiology 6: 207. https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.00207.

Zeng YH, Guo YW, Chen HT (2016). Study on the feather-degrading efforts of actinobacterium *Arthrobacter enclensis*, TCC-2 and its stimulating growth performance on organic lettuce. Research report of Taichung District Agricultural Improvement Center (131): 57-68.

(Aceptado para publicación el 4 de noviembre de 2021)

Variabilidad morfoestructural, zoométrica y faneróptica de machos cabríos locales del norte de México

Franko Moyao-Ariza[1], Jorge Alonso Maldonado-Jáquez[2,4,*], Lorenzo Danilo Granados-Rivera[3], Rubén Darío Martínez-Rojero[1], Glafiro Torres-Hernández[4], Pablo Alfredo Domínguez-Martínez[5], Yuridia Bautista-Martínez[6] y Ricardo Alonso Sánchez-Gutiérrez[7]

[1] Colegio Superior Agropecuario del Estado de Guerrero. Iguala, Guerrero, México. C.P. 40000
[2] Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental La Laguna. Matamoros, Coahuila, México. C.P. 27440
[3] Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental General Terán. General Terán, Nuevo León, México. C.P. 67400
[4] Colegio de Postgraduados-Campus Montecillo, Programa de Ganadería. Montecillo, Estado de México, México. C.P. 56230
[5] Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Valle del Guadiana. Durango, Durango, México. C.P. 34170
[6] Universidad Autónoma de Tamaulipas. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Ciudad Victoria, Tamaulipas, México. C.P. 87000
[7] Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Zacatecas. Calera, Zacatecas, México. C.P. 98500

Resumen

El objetivo fue caracterizar la variabilidad morfoestructural, zoométrica y faneróptica de machos cabríos locales del norte de México. Se utilizaron 46 machos que se manejan como sementales que cubren aproximadamente a 1670 hembras en 4 municipios de Coahuila, México. Se asignaron a tres grupos [(1) Jóvenes (n = 9); (2) Adultos jóvenes (n = 20) y (3) Adultos maduros (n = 17)]. Se registraron 15 variables cualitativas con 50 variantes y 20 variables cuantitativas. Se encontró un fenotipo heterogéneo, con animales de perfil cefálico convexo, sin mamelas, con barba, cuernos curvados hacia atrás, cola colgante, pelo corto y liso, además tienen pigmentación en escroto, piel, pezuñas y mucosas. El patrón de capa no está definido. No se encontraron diferencias en edad, peso vivo y condición corporal entre municipios ($P > 0,05$). Se observaron diferencias ($P < 0,05$) entre municipios para longitud de cuernos, diámetro de hocico, diámetro bicostal y altura al esternón. Por grupo de edad se encontraron diferencias ($P < 0,05$) en ancho de cara, largo de oreja, ancho de cuello, diámetro de hocico, diámetro biscostal, longitud corporal, altura a la cruz, altura al esternón, altura de escápula, profundidad de pecho, altura sacro-lumbar, longitud de cadera, longitud de pierna y perímetro de caña. Tres componentes principales

* Autor para correspondencia: maldonado.jorge@inifap.gob.mx

Cita del artículo: Moyao-Ariza F, Maldonado-Jáquez JA, Granados-Rivera LD, Martínez-Rojero RD, Torres-Hernández G, Domínguez-Martínez PA, Bautista-Martínez Y, Sánchez-Gutiérrez RA (2022). Variabilidad morfoestructural, zoométrica y faneróptica de machos cabríos locales del norte de México. ITEA-Información Técnica Económica Agraria 118(3): 361-376. https://doi.org/10.12706/itea.2021.030

explicaron 100 % de la variabilidad entre municipios. Se concluye que los machos cabríos locales de la Comarca Lagunera en México, forman parte de una población morfológica, zoométrica y fanerópticamente heterogénea con alta variabilidad intrapoblacional.

Palabras clave: Conservación, adaptación, cabras, zonas áridas, mejoramiento genético.

Morphostructural, zoometric and phaneroptic variability of local bucks from northern Mexico

Abstract

The aim was to characterize the morphostructural, zoometric and phaneroptic variability of local bucks from northern Mexico. Forty-six males that are managed to mate with approximately 1670 does were used and assigned to three groups [(1) Young (n = 9); (2) Young adults (n = 20) and (3) Mature adults (n = 17)]. Fifteen qualitative variables with fifty variants and twenty quantitative variables were recorded. A heterogeneous phenotype was found, with animals predominantly with a convex head profile, without mamelas, with beards, back curved horns, hanging tail and short and smooth hair. They have black pigmented scrotum, skin, hooves and mucous membranes. The pattern of undefined layer with variants between black, brown, white, moor, rosillo and reddish or chamoisse. No differences were found in age, live weight and body condition between municipalities ($P > 0.05$). Differences ($P < 0.05$) were observed between municipalities for length of horns, muzzle diameter, bicostal diameter, sternum height. By age group, differences were found ($P < 0.05$) in face width, ear length, neck width, muzzle diameter, biscostal diameter, body length, withers height, sternum height, scapula height, chest depth, sacro-lumbar height, hip length, leg length, and cannon bone perimeter. It is concluded that the local bucks of the Comarca Lagunera, in northern Mexico, are part of a morphological, zoometric and phaneroptically heterogeneous population with high intrapopulation variability.

Keywords: Conservation, adaptation, goats, arid zones, genetic improvement.

Introducción

El ganado caprino es una de las especies domésticas menos estudiadas, a pesar de su importancia en países en desarrollo, donde tiene un invaluable papel en el nivel de vida de la población pobre de áreas rurales (Acharya, 1992; Jembere *et al*., 2020). En México, es mínima la información relativa a la variabilidad genética y fenotípica de las poblaciones caprinas locales (Dorantes-Coronado *et al*., 2015). Este tipo de estudios proporciona una representación sólida de la variabilidad entre razas y brinda información útil sobre la aptitud productiva de los animales y su relación genética con las medidas corporales que han sido influidas por el ambiente en que se desarrollan, por lo que el desconocimiento de estas características deriva en modelos animales incompatibles con la producción (Bravo y Sepúlveda, 2010; Adenaike *et al.,* 2020). Cabe señalar que la variabilidad genética en todas las especies es sumamente valiosa para asegurar que los animales puedan hacer frente a las condiciones ambientales (Ojo *et al*., 2015). Además, la caracterización fenotípica ayuda a identificar diferencias entre poblaciones y razas, denominados ecotipos o tipos raciales, por lo que describir sus medidas corporales y características productivas es un paso esencial para el diseño de planes, estrategias y establecimiento de programas de mejoramiento genético y conservación de estos genotipos locales (Eltahir *et al*., 2018).

En este sentido, muchas especies domésticas pueden presentar diferencias fenotípicas y genotípicas debidas a la adaptación a condiciones ambientales locales y selección artificial (Cao *et al*., 2019). Estas diferencias se pueden observar

en el tamaño, color, forma y dimensión de los cuernos, y sus correlaciones; por ejemplo, el tamaño se relaciona con la estructura corporal, armonía y el balance de los animales, las que junto con diversas variables fisiológicas, productivas o reproductivas, actúan directamente sobre los mecanismos de adaptación al ambiente (Peters, 1983; Qanbari y Simianer, 2014). Sin embargo, para el ganado caprino del norte de México no se han llevado a cabo estudios que consideren estas variables, por lo que el objetivo del presente estudio fue caracterizar la variación faneróptica, morfoestructural y zoométrica de machos cabríos locales de la Comarca Lagunera en el norte de México, como una primera aproximación a la caracterización de las poblaciones locales que se desarrollan en esta región y que la posicionan como la principal cuenca lechera caprina bajo pastoreo en México.

Material y métodos

Todos los métodos utilizados, así como el manejo de los machos cabríos que integraron este estudio estuvieron estrictamente apegados a los lineamientos aceptados para el uso ético, cuidado y bienestar de los animales utilizados en Investigación Internacional, de acuerdo a la Federación de Sociedades de Ciencias Animales (FASS, por sus siglas en inglés: Federation of Animal Science Societies) (FASS, 2010), Academia Nacional de Medicina (NAM, por sus siglas en inglés: National Academy of Medicine) (NAM, 2011) e institucional mexicano, por parte del Instituto Nacional de Investigaciones, Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) y el fondo destinado a promover el desarrollo de la ciencia y tecnología en el estado de Coahuila (FONCYT) del Consejo Estatal de Ciencia y Tecnología del Estado de Coahuila (COECYT), con la aprobación y seguimiento del proyecto "Tipificación de productores caprinos y diferenciación de ecotipos en el ganado caprino local de la Comarca Lagunera de Coahuila".

El estudio se realizó en el estado de Coahuila, México, en la región conocida como Comarca Lagunera, ubicada entre las coordenadas 24° 22′ Latitud Norte, y 102° 22′ de Longitud Oeste, con una altura media de 1139 m.s.n.m. El clima según la clasificación de Köppen, corresponde a BWhw, que se caracteriza por ser muy seco o desértico, semicálido con invierno fresco, la precipitación media anual es de 240 mm y la temperatura media anual a la sombra es de 25 °C, con rangos de –1 °C en invierno a 44 °C en verano (García, 2004).

Se utilizaron 46 machos cabríos locales que son manejados como sementales para aparearse con un aproximado de 1670 hembras, considerando que el tamaño promedio de los rebaños se encuentra en el orden de 38 animales por explotación. El muestreo se realizó por medio de muestreo no probabilístico, en particular, muestreo intencional o por conveniencia y muestreo de bola de nieve. Los machos se ubicaban en los municipios de San Pedro de las Colonias, Francisco I. Madero, Torreón y Viesca, Coahuila, con una edad promedio de 26 meses (rango: 7 a 72); para el estudio se consideraron machos a partir de 7 meses de edad, que es cuando los productores comienzan a utilizarlos como reproductores. Estos fueron asignados a tres grupos de acuerdo con su edad: [(1) Jóvenes, (n = 9; 10,2 ± 1,8 meses); (2) Adultos Jóvenes, (n = 20; 22,2 ± 2,7 meses) y (3) Adultos Maduros, (n = 17; 40,5 ± 4,6 meses)], para evaluar el efecto de la edad sobre la morfometría y determinar a qué edad esta no se modifica. Se registraron variables cualitativas morfo-estructurales y fanerópticas como: presencia o ausencia de mamelas, barba, cuernos, perfil cefálico (recto, cóncavo, convexo), tipo de cuernos (erectos, curvados), orientación de cuernos (hacia arriba, hacia atrás, espiral). Además, color de capa (15 variantes), patrón de capa (plano, parchado, moteado, cincho), color de piel (negro, rosa-

do, blanco), color de pezuña (negro, rosado), color de las mucosas (negro, rosado), tamaño de pelo (corto, largo), tipo de pelo (liso, rizado), pigmentación del escroto (presente o ausente). Las variables zoométricas cuantitativas que se registraron fueron: peso vivo (PV), condición corporal (CC), ancho de cara (ACa), longitud de cráneo (LCr), longitud de oreja (LOr), ancho de cuello (ACue), longitud de cuernos (LCur), diámetro de hocico (DHo), diámetro biscostal (DBi), longitud corporal (LCor), altura a la cruz (ACruz), altura al esternón (AEst), ancho de escápula (AEsc), profundidad de pecho (PPe), altura sacro-lumbar (ASL), longitud de cadera (LCd), longitud de pierna (LPr), longitud de cola (LCola), perímetro de caña (PCñ) y diámetro testicular (DT) (Bedotti *et al*., 2004; Dorantes-Coronado *et al*., 2015; El Moutchou *et al*., 2017). La condición corporal (CC) se definió de acuerdo con la escala de 1 a 4 descrita por Rivas-Muñoz *et al*. (2010). El peso vivo (PV) fue tomado en ayunas con una báscula electrónica colgante modelo BAC-300, con capacidad de 300 kg ± 100 gr (Rhino, México). El resto de los datos fueron registrados utilizando un bastón zoométrico y cinta métrica flexible suave (Selanusa, México).

Las variables cualitativas fueron codificadas (Tabla 1), procesadas y analizadas de acuerdo con las recomendaciones de Jordana *et al*.

Tabla 1. Código numérico para las variables cualitativas en machos cabríos locales de la Comarca Lagunera, México.
Table 1. Numerical code for the qualitative traits in local bucks of the Comarca Lagunera, Mexico.

Carácter	Código			
	1	2	3	4
Capa y piel				
Patrón de capa	Plano	Parchado	Moteado	Otro
Color de piel	Negro	Rosado	Blanco	
Tamaño de pelo	Corto	Largo		
Tipo de pelo	Liso	Rizado		
Pigmentación				
Escroto	Presente	Ausente		
Mucosas	Presente	Ausente		
Pezuña	Presente	Ausente		
Caracteres morfoestructrales				
Mamelas	Presente	Ausente		
Barba	Presente	Ausente		
Cuernos	Presente	Ausente		
Tipo de cuernos	Erectos	Curvados		
Orientación de cuernos	Hacia atrás	Hacia arriba	Espiral	
Perfil cefálico	Recto	Cóncavo	Convexo	
Tipo de cola	Colgante	Curveada		

(1993). Se realizó un análisis de varianza para las variables zoométricas, con la finalidad de evaluar diferencias en el crecimiento de los machos cabríos entre grupos de edad y municipios. Se verificaron supuestos, y cuando no se cumplieron, se utilizaron modelos mixtos con una matriz de errores diagonal heterogénea. Las diferencias entre medias se efectuaron a través de la prueba de Tukey (varianzas homogéneas) o Tukey-Kramer (varianzas heterogéneas). Para conocer la relación entre variables se realizó un análisis de correlación de Pearson. Se empleó la técnica multivariada de Análisis de Componentes Principales (ACP), con la finalidad de confirmar los resultados del análisis de efectos principales y disminuir la dimensionalidad de las variables consideradas. Los resultados del ACP se graficaron en un biplot que permite la representación en dos dimensiones (primera y segunda componente principal) de los municipios y las variables medidas en simultáneo. Los análisis fueron realizados utilizando el paquete estadístico INFOSTAT (Di Rienzo *et al*., 2008).

Resultados

Los resultados muestran que el fenotipo de los machos cabríos de la Comarca Lagunera es heterogéneo (Tablas 2 y 3), observándose diferencias marcadas y elevados coeficientes de variación entre las características estudiadas. El fenotipo predominante corresponde a animales con morfo estructura de perfil cefálico convexo, sin mamelas, con barba, cuernos curvados hacia atrás, cola colgante y pelo corto y liso. Respecto a los caracteres fanerópticos, presentan pigmentación en escroto, piel, pezuñas y mucosas. El patrón de capa no está definido, poseen color plano (un color) o parchado (dos o más colores) con variantes entre patrones de coloración. Respecto al color de capa, se encontró una amplia variedad de colores, siendo los más comunes: negro (15,2 %), negro con parche (13,0 %), blanco (19,6 %) y blanco con parche (15,2 %).

En la tabla 3 se muestra el promedio de las medidas zoométricas de los machos cabríos. Las medidas que presentaron los mayores coeficientes de variación (>20 %) fueron PV, LO, LCur, DHo, AEsc, DBi y ACue. Las variables que tuvieron la menor variación (<10 %) fueron ACruz y ASL.

En la tabla 4 se muestran los resultados para edad, PV y CC entre municipios y entre grupos. No se encontraron diferencias en edad, PV y CC entre municipios ($P > 0,05$), pero si para PV y CC entre grupos de edad ($P < 0,05$).

Se observaron diferencias ($P < 0,05$) entre municipios para LCur, DHo, DBi, y AEst, con una gran variabilidad entre individuos (tabla 5) y no se encontraron diferencias ($P > 0,05$) entre municipios para el resto de las variables.

En la tabla 6 se muestran los resultados por grupo de edad. Se encontraron diferencias ($P < 0,05$) en ACa, LOr, ACue, DHo, DBi, LCor, ACruz, AEst, AEsc, PPe, ASL, LCd, LPr, PCñ. En contraste, no se detectaron diferencias entre grupos de edad ($P > 0,05$) para las variables LCra, LCur, LCola, DT. Se observó que variables como ACue, DBi, ACruz, ASL, LCD y PCñ no difieren entre los grupos de edad 2 (jóvenes-adultos) y 3 (adultos maduros), por lo que una vez que los animales llegan a una edad promedio de 22 meses, se puede considerar que han alcanzado la madurez fisiológica.

En la tabla 7 se muestra la matriz de correlación y significancia estadística de dichas relaciones. Al respecto, se observa que las variables PV, ACa, LCor, DBi, ACruz, AEst, ASL, LCd, LPr y PCñ, son las que correlacionaron en mayor magnitud y positivamente con la mayoría de las variables ($P < 0,001$ y $P < 0,0001$). En contraste, LCur únicamente se correlacionó con Edad y ACue, de la misma manera que LCola con PV y LOr ($P < 0,05$). La única variable que no se correlacionó significativamente con ninguna de las variables consideradas fue DHo, quien a su vez mostró una correlación negativa con CC, LOr y ACue ($P > 0,05$). Se observaron correlaciones negativas entre LPR con LOr, LCur con PPe y AEst con edad.

Tabla 2. Frecuencias absolutas (FA) y relativas (FR) para variables cualitativas en machos cabríos locales de la Comarca Lagunera, México.
Table 2. Absolute (FA) and relative frequencies (FR) for qualitative traits in local bucks of the Comarca Lagunera, México.

Carácter	FA(n)	FR(%)	Carácter	FA(n)	FR(%)	Carácter	FA(n)	FR(%)
Patrón de capa			Tamaño de pelo			Presencia de mamelas		
Plano	23	50,0	Corto	35	76,1	Presente	9	19,6
Parchado	20	43,5	Largo	11	23,9	Ausente	37	80,4
Moteado	2	4,3	Tipo de pelo			Presencia de barba		
Otro	1	2,2	Liso	45	97,8	Presente	45	97,8
Color de piel			Rizado	1	2,2	Ausente	1	2,2
Negro	26	56,5	Pigmentación escroto			Perfil cefálico		
Rosado	17	37,0	Presente	17	37,0	Recto	2	4,3
Blanco	3	6,5	Ausente	29	63,0	Cóncavo	8	17,4
Pigmentación de mucosas			Pigmentación de pezuña			Convexo	36	78,3
Presente	28	60,9	Presente	26	56,5	Orientación de cuernos		
Ausente	16	34,8	Ausente	20	43,5	Atrás	20	43,5
Presencia de cuernos			Tipo de cola			Arriba	4	8,7
Presente	30	65,2	Colgante	30	65,2	Espiral	6	13,0
Ausente	16	34,8	Curveada	16	34,8	Tipo de cuernos		
						Erectos	16	34,8
						Curvados	24	52,2

El ACP de municipios y variables explicó el 100 % de la variabilidad total en los primeros 3 componentes (Tabla 8). El primer componente explicó el 44,4 % y está asociado a Edad, PV, CC, ACa, LOr, LCor, ACruz, AEst, AEsc, PPe, ASL, LCd, LPr, LCo y PCñ. El biplot de municipios y variables (Figura 1) confirma el argumento inicial, el cual propone que los machos de la Comarca Lagunera en el norte de México pertenecen a una población faneróptica y morfológicamente heterogénea, ya que no se observa un patrón o tendencia de distribución definido entre las variables, ni entre municipios.

Tabla 3. Peso vivo y medidas corporales de machos cabríos locales en la Comarca Lagunera, México.
Table 3. Live weight and body measurements of local bucks in the Comarca Lagunera, México.

Variables (cm)	N	Media	E.E.	C.V.	Min	Max
Peso vivo (kg)	46	53,1	1,9	25,4	25,0	85,0
Condición corporal	46	2,1	0,0	14,3	1,5	2,7
Ancho de cara	46	9,4	0,2	14,3	7,0	13,0
Longitud de cráneo	46	12,1	0,3	19,1	7,0	16,5
Longitud de oreja	46	15,7	0,6	26,4	8,0	26,0
Ancho de cuello	46	43,6	1,2	19,6	20,0	64,0
Longitud de cuernos	31	33,7	2,6	42,7	9,0	60,0
Diámetro de hocico	46	24,2	1,2	33,4	17,0	72,0
Diámetro bicostal	46	24,7	0,7	19,0	15,5	39,0
Longitud corporal	46	51,6	0,8	11,1	39,5	69,0
Altura a la cruz	46	71,8	1,0	9,4	57,5	85,5
Altura al esternón	46	40,1	0,6	10,9	26,5	47,0
Ancho de escápula	46	15,3	0,5	22,9	10,0	25,0
Profundidad de pecho	46	59,5	0,9	10,8	43,5	74,5
Altura sacrolumbar	46	72,2	0,8	8,1	58,5	82,5
Longitud de cadera	46	15,3	0,3	14,5	11,0	20,0
Longitud de pierna	46	32,9	0,5	10,5	24,0	39,0
Longitud de cola	46	15,6	0,3	15,1	11,0	20,0
Perímetro de caña	46	10,6	0,2	12,9	7,5	14,0
Diámetro testicular	46	26,2	0,5	13,9	16,0	34,0

N = Número de ejemplares; E.E. = Error estándar de la media; C.V. = Coeficiente de variación; Min = Valor mínimo observado; Max = Valor máximo observado.

Tabla 4. Edad, peso vivo (PV) y puntuación de condición corporal (CC) (media ± error estándar) de machos cabríos locales por municipio y grupo de edad en la Comarca Lagunera, México.
Table 4. Age, live weight (PV) and body condition score (CC) (mean ± standard error) in local bucks by municipality and age group in the Comarca Lagunera, México.

Variables	N	Edad (meses)	PV (kg)	CC (1-4)
Municipio				
Torreón	7	21,5 ± 4,3^{a}	48,8 ± 5,0^{a}	2,0 ± 0,1^{a}
Viesca	20	22,0 ± 2,5^{a}	49,2 ± 2,3^{a}	2,0 ± 0,1^{a}
San Pedro	11	30,0 ± 3,3^{a}	57,7 ± 3,8^{a}	2,1 ± 0,1^{a}
Fco. I Madero	8	34,5 ± 5,1^{a}	59,5 ± 5,6^{a}	2,0 ± 0,1^{a}
Grupo de edad				
1 (Jovenes)	9	10,2 ± 1,9^{c}	37,8 ± 3,5^{b}	1,9 ± 0,1^{b}
2 (Adultos jóvenes)	20	22,2 ± 2,7^{b}	52,6 ± 2,3^{a}	2,1 ± 0,1^{ab}
3 (Adultos Maduros)	17	40,4 ± 4,6^{a}	61,9 ± 2,5^{a}	2,2 ± 0,1^{a}

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($P > 0,05$).

Tabla 5. Media ± error estándar para las características zoométricas de machos cabríos locales, según municipio estudiado de la Comarca Lagunera, México.
Table 5. Mean ± standard error for zoometric traits of local bucks, according to the municipality studied in the Comarca Lagunera, México.

Municipio	LCur	DHo	DBi	AEst
Torreón	33,8 ± 6,7^{b}	34,7 ± 2,6^{a}	30,7 ± 1,3^{a}	40,8 ± 1,0^{ab}
San Pedro	28,0 ± 5,6^{b}	21,0 ± 2,0^{b}	25,6 ± 1,0^{bc}	39,6 ± 1,4^{ab}
Fco. I Madero	55,7 ± 8,5^{a}	23,4 ± 3,1^{b}	26,7 ± 1,6^{ab}	35,2 ± 2,1^{b}
Viesca	32,4 ± 4,3^{b}	23,6 ± 1,5^{b}	21,9 ± 0,7^{b}	41,4 ± 1,8^{a}

LCur = Longitud de cuernos; DHo = Diámetro de hocico; DBi = Diámetro bicostal; AEst = Altura al esternón.
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($P > 0,05$).

Tabla 6. Media ± error estándar para características zoométricas, según grupo de edad, en machos cabríos locales de la Comarca Lagunera, México.
Table 6. Mean ± standard error for zoometric traits, according to age group, in local bucks from Comarca Lagunera, México.

Variable	Grupo de edad		
	1	2	3
Ancho de cara	8,4 ± 0,4^{b}	9,2 ± 0,2^{ab}	10,2 ± 0,3^{a}
Longitud de oreja	13,9 ± 1,3^{b}	14,8 ± 0,8^{ab}	17,6 ± 0,9^{a}
Ancho de cuello	36,1 ± 2,6^{b}	44,5 ± 1,7^{a}	46,4 ± 1,9^{a}
Diámetro de hocico	20,6 ± 2,5^{b}	22,7 ± 1,7^{ab}	28,0 ± 1,8^{a}
Diámetro bicostal	19,1 ± 1,2^{b}	25,0 ± 0,8^{a}	27,3 ± 0,9^{a}
Longitud corporal	45,6 ± 1,5^{c}	50,9 ± 1,0^{b}	55,4 ± 1,1^{a}
Altura a la cruz	65,2 ± 1,8^{b}	71,0 ± 1,2^{a}	76,1 ± 1,3^{a}
Altura al esternón	36,5 ± 1,3^{b}	40,2 ± 0,9^{ab}	42,0 ± 0,9^{b}
Ancho de escápula	12,2 ± 0,9^{b}	14,7 ± 0,6^{b}	17,7 ± 0,7^{a}
Profundidad de pecho	54,4 ± 1,9^{b}	58,7 ± 1.3^{ab}	63,1 ± 1,4^{a}
Altura sacro-lumbar	65,4 ± 1,5^{b}	72,1 ± 1,0^{a}	75,9 ± 1,1^{a}
Longitud de cadera	12,8 ± 0,6^{b}	15,3 ± 0,4^{a}	16,9 ± 0,4^{b}
Longitud de pierna	30,9 ± 1,1^{b}	33,2 ± 0,8^{ab}	34,0 ± 0,8^{a}
Perímetro de caña	9,3 ± 0,4^{b}	10,7 ± 0,3^{a}	11,4 ± 0,3^{a}

Grupo de edad: (1) Jóvenes, (n = 9; 10,2 ± 1,8 meses). (2) Adultos Jóvenes, (n = 20; 22,2 ± 2,7 meses). (3) Adultos Maduros, (n = 17; 40,5 ± 4,6 meses).

Medias con una letra común entre grupos de edad no son significativamente diferentes ($P > 0,05$).

Tabla 7. Matriz de correlaciones fenotípicas para características zoométricas en machos cabríos locales de la Comarca Lagunera, México.
Table 7. Matrix of phenotypic correlations for zoometric traits in local bucks from Comarca Lagunera, México.

	Edad	PV	CC	ACa	LCr	LOr	ACue	LCur	DHo	DBi	LCor	ACruz	AEst	AEsc	PPe	ASL	LCd	LPr	LCola	PCñ	DT
Edad	1																				
PV	0,52***	1																			
CC	0,06	0,59***	1																		
ACa	0,41**	0,64***	0,36*	1																	
LCr	0,15	0,44**	0,52***	0,43**	1																
LOr	0,17	0,38*	0,33*	0,36*	0,08	1															
ACue	0,32*	0,75***	0,53***	0,41**	0,46**	0,39*	1														
LCur	0,37*	0,39*	0,14	0,08	0,18	0,08	0,62***	1													
DHo	0,16	0,09	-0,09	0,13	0,07	–0,08	–0,15	0,06	1												
DBi	0,34*	0,52***	0,30*	0,47***	0,33*	0,16	0,27	0,19	0,47***	1											
LCor	0,43**	0,74***	0,49***	0,54***	0,40*	0,33*	0,62***	0,36*	0,19	0,43**	1										
ACruz	0,22	0,67***	0,53***	0,58***	0,49***	0,38*	0,54***	0,10	0,16	0,61***	0,57***	1									
AEst	–0,01	0,54***	0,49***	0,38*	0,49***	0,32*	0,52***	-0,02	0,17	0,34*	0,59***	0,67***	1								
AEsc	0,38*	0,63***	0,42**	0,55***	0,35*	0,36*	0,52***	0,31	0,21	0,59***	0,61***	0,59***	0,50***	1							
PPe	0,19	0,54***	0,43**	0,48***	0,39*	0,39*	0,41**	-0,06	0,11	0,45**	0,45**	0,91	0,57***	0,36*	1						
ASL	0,39*	0,64***	0,38*	0,48***	0,37*	0,26	0,62***	0,35	0,21	0,54***	0,78***	0,72***	0,64***	0,63***	0,57***	1					
LCd	0,55***	0,66***	0,45**	0,49***	0,46**	0,23	0,45**	0,26	0,15	0,42**	0,6***	0,65***	0,43**	0,40*	0,57***	0,61***	1				
LPr	0,13	0,6***	0,44**	0,51***	0,44**	0,29	0,50***	0,10	–0,06	0,51***	0,52***	0,61***	0,55***	0,45**	0,53***	0,55***	0,42**	1			
LCola	0,08	0,31*	0,28	0,20	0,10	0,32*	0,25	0,22	–0,04	–0,06	0,20	0,14	0,10	0,13	0,22	0,17	0,06	0,14	1		
PCñ	0,35*	0,67***	0,48***	0,58***	0,40*	0,46**	0,59***	0,25	0,32*	0,49***	0,68***	0,64***	0,62***	0,64***	0,51***	0,73***	0,58***	0,40*	0,28	1	
DT	0,24	0,47***	0,26	0,14	0,17	0,39*	0,42**	0,40*	0,11	0,39*	0,50*	0,30*	0,36*	0,46**	0,17	0,40*	0,24	0,28	0,17	0,43**	1

*= $P < 0,05$; **= $P < 0,001$; ***= $P < 0,0001$.

Tabla 8. Valores propios y proporción de la varianza explicada por cada componente principal (CP).
Table 8. Eigen values and proportion of variance explained by each principal component (PC).

CP	Valor propio	Proporcion explicada	Proporción acumulada
1	9,32	0,44	0,44
2	6,43	0,31	0,75
3	5,25	0,25	1,00

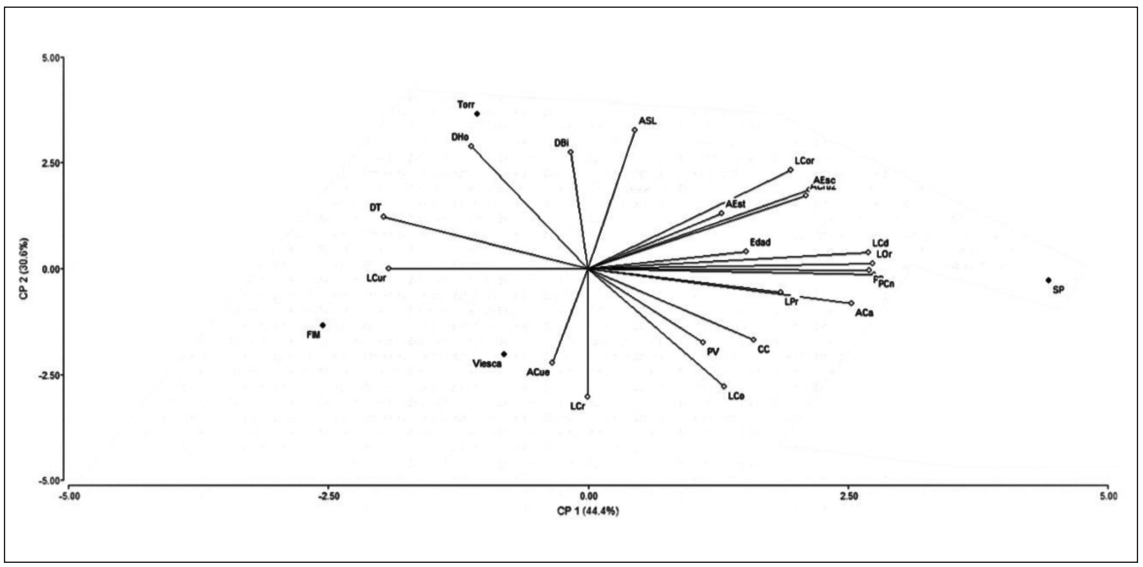


Figura 1. Biplot de componentes principales en variables morfométricas por municipio en machos cabrios locales de la Comarca Lagunera en el norte de México.
Figure 1. Principal components biplot in morphometric traits by municipality in local bucks from Comarca Lagunera in nothern México.

Discusión

Con respecto a las características fanerópticas de la población, existen reportes que indican que la coloración o pigmentación es una característica distintiva de animales que se han desarrollado en climas calurosos o desérticos (Lauvergne *et al*., 1982), a pesar de que se observa la influencia del cruzamiento con razas Anglo Nubia, Alpina y Saanen (IGA, 2014). Como parte de la caracterización faneróptica en caprinos, la presencia de mamelas parece no tener importancia en la definición del tipo racial, pero sí con aspectos reproductivos (Bedotti *et al.,* 2004). Por otra parte, la presencia de cuernos es común tanto en cabras de razas puras como en animales cruzados. En este sentido, algunos de los machos cabríos locales de la Comarca Lagunera presentan cuernos en espiral, parecidos a los que se ob-

servan en cabras del norte de Marruecos (El Moutchou *et al*., 2017), sin embargo, la orientación de estos difiere en el carácter antes mencionado.

Los rasgos encontrados y la heterogeneidad en los caracteres evaluados coinciden con lo que la literatura ha descrito como "Mosaico Lagunero", donde no se define claramente un fenotipo o la influencia de una raza en específico (Montaldo *et al*., 2010; Vargas, 2015). Lo anterior, pone de manifiesto la importancia de realizar este tipo de estudios en los genotipos caprinos locales, con el fin de definir el tipo racial existente en la región, para desarrollar acciones que garanticen la conservación de la variabilidad genética y la disminución de la erosión de los caracteres de adaptación de estos animales (Sánchez-Gutiérrez *et al.,* 2021).

Los resultados encontrados para la coloración de capa son de suma importancia, ya que el color de capa es fundamental para la regulación fisiológica y en consecuencia en la capacidad de adaptación (Bedada *et al*., 2019). En los caprinos Criollos del estado de Puebla, México, predominan los pelajes simples: bayo (24,3 %), blanco (21,8 %), y colorado (19,9 %) y de capas compuestas, donde las más frecuentes fueron la berrenda y retinta (Hernández *et al.,* 2004). Las cabras indígenas del sur de la región de Óromia, Etiopia, presentan una alta frecuencia de capa plana o lisa (82 %) con un color blanco, el cual ayuda para adaptarse al entorno desértico de la región (Bedada *et al.,* 2019). Por otra parte, Fantahum *et al*. (2013) señalan que cabras de Bench Maji en el Sudoeste de Etiopia presentan un pelaje plano (49,7 %), patrón irregular (42,9 %) y manchado (7,4 %), y cabras Maefur presentan un patrón de pelaje manchado (32,3 %) y sombreado (marrón, negro y gris; 15,3 %) (Gebreyowhens y Kumar, 2017). Esta variedad de tonalidades entre razas, y entre regiones o ecosistemas, sugiere que los diferentes grupos genéticos han desarrollado mecanismos evolutivos para realizar procesos de termorregulación más eficientes (Lenis-Sanin *et al*., 2016), logrando con ello una mejor adaptación al ambiente árido y semiárido (Bedada *et al*., 2019), situación que probablemente está relacionada de forma directa a las condiciones climáticas y geográficas propias de cada localidad.

En cuanto a las medidas zoométricas de los machos cabríos, Abarca-Vargas *et al*. (2020) señalan que las mediciones que presentan una mayor variación son caracteres que podrían aplicarse a programas de selección, con la finalidad de tratar de reducir su variabilidad, pero considerando el fin productivo del carácter a considerar. Por ejemplo, si se busca incrementar producción de leche, se requieren animales con mayor ancho de pecho y una grupa con menor ángulo de caída para dar mayor soporte a los miembros posteriores.

Descripción de la población por municipio y grupo de edad

Las tendencias coincidieron con el resultado esperado por efecto de la edad. Al respecto, los resultados obtenidos por Maldonado-Jáquez *et al*. (2018), indican que el peso corporal y el diámetro escrotal en machos cabríos locales de México incrementan con la edad, lo cual coincide con nuestros resultados y al parecer cuando los machos llegan a los 10 meses de edad, el diámetro testicular no se modifica, lo cual difiere del reporte de Akpa *et al*. (2013), quienes señalan que el incremento en edad y CC pueden resultar en aumento de tamaño corporal y testicular.

Por otra parte, se observa que algunas características fenotípicas de los machos cabríos locales de la Comarca Lagunera difieren de ecotipos encontrados en el centro y sur de México, básicamente en atributos como coloración de la capa, PV y altura. A este respecto, las cabras Criollas del centro y sur de México presentan mayor PV y alzada a la cruz (Martínez-Rojero *et al*., 2013).

Las diferencias entre municipios pueden sugerir la ocurrencia de mecanismos de adaptación a diferentes micro-ambientes; por ejemplo, en el municipio de Viesca se encontraron animales con mayor AEst, mientras que en Torreón se encontraron los ejemplares con mayor DHo y DBi, y en Francisco I. Madero el mayor LCur (Figura 1), sin embargo, los valores son muy superiores a los reportados para cabras indígenas de Etiopia (Gatew *et al.,* 2017), lo cual confirma lo que mencionan Belkhadem *et al*. (2019), quienes informan para cabras locales de Algeria un fuerte efecto de la región sobre la zoometría, en específico, sobre las variables LCor, PPe, ACruz, DBi y LOr, tal como se observó en nuestros resultados.

Los resultados por grupo de edad sugieren que algunas de las variables no se modifican por efecto de edad, una vez que el ejemplar alcanza la madurez sexual, lo que ocurre alrededor de los 10 meses de edad (Maldonado-Jáquez *et al.,* 2018). Así mismo, Agga *et al*. (2011) encontraron CC similares a las registradas en el presente estudio, sin embargo, los PV que reportan en machos de las razas Afar, Boran y Woito-Guji se encuentran por debajo de los observados en los machos cabríos locales del presente estudio. Por el contrario, para las variables ACa y LO, los resultados fueron similares a los reportados para cabras locales en Algeria e Indígenas Maefur en Tigray, Etiopia (Gebreyowhens y Kumar, 2017; Benyoub *et al.,* 2018).

Resultados similares a las correlaciones observadas en nuestro estudio fueron informados por Aissaoui *et al*. (2019) para cabras Algerianas, quienes encontraron correlaciones significativas y positivas entre 17 variables. Por otra parte, Agga *et al*. (2011) señalan diferencias en las medidas corporales de machos entre razas, en donde los machos Boran presentan características corporales superiores que sus contrapartes de las razas Afar y Woito-Guji.

Respecto a los resultados del ACP, la cercanía o lejanía entre puntos indican disminución o incremento en la variabilidad y para este caso particular, la dispersión de los puntos a lo largo del biplot indican diferencias debidas a la interacción entre genotipos y el ambiente, lo cual da origen a pequeños cambios que son observables y que en conjunto constituyen el perfil fenotípico de la población (Alawiansyah *et al*., 2020). Por otra parte, estos resultados son similares a lo que reportan Abarca-Vargas *et al*. (2020) para cabras mestizas de Colima, México, donde los dos primeros CP agruparon el 72,5 % de la variación total y concluyen que esta población es heterogénea y con alta variabilidad en sus caracteres corporales. Sin embargo, otras poblaciones locales de México presentan cierta homogeneidad, como el caso de las cabras Pastoreña de la Mixteca, donde se encontró que los dos primeros CP agruparon el 76,5 % de la variabilidad total (Villarreal-Arellano *et al*., 2020), lo cual, sugiere que los animales de la región Mixteca se manejan en ambientes relativamente similares.

Conclusiones

La población de machos cabríos locales de la Comarca Lagunera es morfológica, zoométrica y fanerópticamente heterogénea con alta variabilidad intrapoblacional. Esto es de suma importancia, pues la variabilidad encontrada podría sugerir características particulares de adaptación biológica a las condiciones de la región y al manejo que reciben por parte de los productores, sin embargo, un análisis genético más específico deberá realizarse en el futuro para confirmar estos hallazgos.

Los resultados del presente estudio forman parte de un estudio pionero en la caracterización fenotípica de los machos cabríos de la Comarca Lagunera, en el norte de México, y puede servir como base para obtener una ca-

racterización genética más precisa de esta población. Por lo que este estudio constituye el primer paso para el establecimiento de programas para la conservación y mejoramiento de este recurso genético local, que durante años ha sido sometido a cruzamientos indiscriminados.

Agradecimientos

Se agradece al fondo destinado a promover el desarrollo de la ciencia y tecnología en el estado de Coahuila (FONCYT) del Consejo Estatal de Ciencia y Tecnología del Estado de Coahuila (COECYT) por el apoyo al proyecto COAH-2019-C13-C075, intitulado "Tipificación de productores caprinos y diferenciación de ecotipos en el ganado caprino local de la Comarca Lagunera de Coahuila".

Referencias bibliográficas

Abarca-Vargas D, Macedo-Barragán R, Arredondo-Ruíz V, Valencia-Posadas M, Ayala-Valdovinos MA, Hernández-Rivera JA (2020). Análisis de la morfología de la cabra mestiza de la sub-provincia fisiográfica Volcanes de Colima, México. Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú 31(3): e16935. http://dx.doi.org/10.15381/rivep.v31i3.16935.

Acharya RM (1992). Goat Production. V International Conference on Goat: Recent Advances on Goat Production, 2-8 marzo, New Dehli, India. pp: 49-93.

Adenaike AS, Jegede O, Bello-Ibiyemi AA, Ikeobi CO (2020). Multifunctional discriminant analysis of morphostructural traits in Nigerian locally adapted turkeys. Agricultura Tropica et Subtropica 53(2): 57-62. https://doi.org/10.2478/ats-2020-0006.

Agga GE, Udala U, Regassa F, Wudie A (2011). Body measurements of bucks of threes goat breeds in Ethiopia and their correlation to breed, age and testicular measurements. Small Ruminant Research 95: 133-138. https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2010.09.011.

Aissaoui M, Deghnouche K, Bedjaoui H, Boukhalfa HH (2019). Caractérisation morphologique des caprins d une region aride du Sud-Est de l Algérie. Reveu de Médecine Vétérinaire 170(7-9): 149-163.

Akpa GN, Ambali AL, Suleiman IO (2013). Body conformation, testicular and semen characteristics as influenced by age, hair type and body condition of Red Sokoto goat. New York Science Journal 6(7): 44-58.

Alawiansyah A, Kusminanto RY, Widyas N, Pramono A, Cahyadi M, Sutarno A (2020). Phenotypic diversity of five goat populations in tropical environments. Ecology, Environment and Conservation 26: S100-S105.

Bedada ZE, Gilo BN, Debela GT (2019). Morphometric and physical characterization of Borana indigenous goats in Southern Oromia, Ethiopia. Universal Journal of Agricultural Research 7(1): 25-31. https://doi.org/10.13189/ujar.2019.070104.

Bedotti D, Gómez-Castro AG, Sánchez-Rodríguez M, Martos-Peinado J (2004). Caracterización morfológica y faneróptica de la cabra colorada pampeana. Archivos de Zootecnia 53: 261-271.

Belkhadem S, Tefiel H, Belantar I, Chahbar M, Gaouar SBS (2019). Discriminant analysis on the morphometry of local goats breed in the western of Algeria. Genetics and Biodiversity Journal 3(2): 49-56.

Benyoub K, Ameur Ameur A, Gaouar SBS (2018). Phenotypic characterization of local goats populations in Western Algerian: Morphometric measurements and milk quality. Genetics and Biodiversity Journal 2(1): 73-80.

Bravo S, Sepúlveda N (2010). Índices zoométricos en ovejas criollas Araucanas. International Journal of Morphology 28(2): 489-495. https://doi.org/10.4067/S0717-95022010000200025.

Cao Y, Xu H, Li R, Gao S, Chen N, Luo J, Jiang Y (2019). Genetic basis of phenotypic differences between Chinese Yunling Black goats and Nubian goats revealed by allele-specific expression

in their F1 hybrids. Frontiers in Genetics 10: 145. https://doi.org/10.3389/fgene.2019.00145.

Di Rienzo JA, Casanoves F, Balzarini MG, Gonzalez L, Tablada M, Robledo CW (2008). InfoStat, versión 2008. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

Dorantes-Coronado EJ, Torres-Hernández G, Hernández-Mendo O, Rojo-Rubio R (2015). Zoometric measures and their utilization in prediction of live weight of local goats in Southern Mexico. SpringerPlus 4: 695. https://doi.org/10.1186/s40064-015-1424-6.

El Moutchou N, González AM, Chentouf M, Lairini K, Rodero E (2017). Morphological differentiation of Northern Morocco goat. Journal of Livestock Science and Technologies 5(1): 33-41. https://doi.org/10.22103/JLST.2017.1662.

Eltahir AH, Mohammed FA, Musa HH, Shuipe ES, Ahmed AA, Idris AO, Ishag IA (2018). Phenotypic characterization of western Baggara cattle (Nyalawi and Missiri) ecotypes in west Kordofan and South Darfur states, Sudan. En: Top 10 Contributions on Molecular Biology: 2nd edition, pp. 2-51.

Fantahum T, Alemayehu K, Abegaz S (2013). Identification and phenotypic characterization of goat ecotypes in the Bench Maji zone, southwestern Ethiopia. Animal Genetic Resources 53: 19-26. https://doi.org/10.1017/S2078633613000325.

FASS, Federation of Animal Science Societies (2010). Guide for the care and use of agricultural animal an agricultural research and leaching 3rd. ed. Champaing, IL.

García E (2004). Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. Quinta edición. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, México.

Gatew H, Hassen H, Kebede K, Haile A, Lobo RNB, Yetayew A, Rischkowsky B (2017). Husbandry practices and phenotypic characteristics of indigenous goat populations in Ethiopia. African Journal of Agricultural Research 12(36): 2729-2741. https://doi.org/10.5897/AJAR2016.11282.

Gebreyowhens W, Kumar R (2017). Phenotypic characterization of indigenous Maefur goat population in Tigray, Northern Ethiopia. International Journal of Biodiversity and Conservation 9(5): 130-145. https://doi.org/10.5897/IJBC2016.1057.

Hernández ZJ, Vargas LS, Carreón LL, Reséndiz MR (2004). Identificación de los sistemas alélicos determinantes de la coloración de la capa de los caprinos criollos de Puebla (México). XIX Reunión Nacional Sobre Caprinocultura, CSAEGRO-AMPCA, 13-15 octubre, Acapulco, Gro., México.

IGA (International Goat Association). (2014). Scaling-up successful practices on sustainable propoor small ruminant development (Ed. Duboeuf JP, Miller BA, Bhandari D, Capote J, Luginbuhl JM) Little Rock. Arkansas. USA, 436 p.

Jembere T, Haile A, Dessie T, Kebede K, Okeyo AM, Rischkowsky B (2020). Productivity of Abergelle, Central highland and Woyto-Guji goat breeds in Ethiopia. Livestock Research for Rural Development 32(8): 125.

Jordana J, Ribo O, Pelegrin M (1993). Analysis of genetic relationships from morphological characters in Spanish goat breeds. Small Ruminant Research 12: 301-314. https://doi.org/10.1016/0921-4488(93)90065-P.

Lauvergne JJ (1982). Genética en poblaciones de animales después de la domesticación: las consecuencias para la conservación de las razas. World Congress on Genetics Applied to Livestock Production, 4-8 de octubre, Madrid, España. pp. 77-87.

Lenis-Sanin Y, Zuluaga-Cabrera AM, Tarazona-Morales AM (2016). Adaptive responses to thermal stress in mammals. Revista de Medicina Veterinaria 31: 121-135. https://doi.org/10.19052/mv.3715.

Maldonado-Jáquez JA, Granados-Rivera LD, Domínguez-Martínez PA, Pastor-López FJ, Vélez-Monroy LI, Figueroa-Viramontes U (2018). Efecto de la edad del macho cabrío en parámetros de calidad durante el proceso de criopreservación seminal. Acta Agrícola y Pecuaria 4(3): 92-98. https://doi.org/10.30973/aap/2018.4.3/3.

Martínez-Rojero RD, Torres-Hernández G, Martínez-Hernández S (2013). Caracterización fenotípica, productiva y reproductiva de la cabra blanca Criolla del "Filo Mayor" de la sierra Ma-

dre del Sur en el Estado de Guerrero. Nova Scientia 6(11): 25-44. https://doi.org/10.21640/ns.v6i11.64.

Montaldo HH, Torres-Hernández G, Valencia-Posadas M (2010). Goat breeding research in Mexico. Small Ruminant Research 89(2): 155-163. https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2009.12.039.

NAM, National Academy of Medicine (2011). Guide for the care and use of laboratory animals. Co-produced by the National Academy of Medicine-Mexico and the Association for assessment and accreditation of laboratory animal care international (1st. Edition). DF, Mexico: Harlan Mexico. 350 pp.

Ojo OA, Akpa GN, Orunmuyi M, Adeyinka IA (2015). Genetic differentiation among Nigerian indigenous goat populations. Journal of Agricultural Science 7(11): 39-47. http://dx.doi.org/10.5539/jas.v7n11p39.

Peters RH (1983). The ecological implications of body size. New York, Cambridge University Press. 329 pp. https://doi.org/10.1017/CBO9780511608551.

Qanbari S, Simianer H (2014). Mapping signatures of positive selection in the genome of livestock. Livestock Science 166: 133-143. https://doi.org/10.1016/j.livsci.2014.05.003.

Rivas-Muñoz R, Carrillo E, Rodríguez-Martínez R, Leyva C, Mellado M, Véliz FG (2010). Effect of body condition score of does and use of bucks subjected to added artificial light on estrus response of Alpine goats. Tropical Animal Health and Production 42: 1285-1289. https://doi.org/10.1007/s11250-010-9563-9.

Sánchez-Gutiérrez RA, Granados-Rivera LD, Salinas-González H, Maldonado-Jáquez JA, Hernández-Leal E, Cigarroa-Vázquez FA (2021). Selección preliminar de cabras Blanca Celtibérica mediante una técnica multivariada. Zootecnia Tropical 39: e4484416. https://doi.org/10.5281/zenodo.4484416.

Vargas S (2015). Caprinos criollos de México. En: Recursos Zootécnicos Criollos en México (Ed. Torres Hernández, G.), pp. 129-154. Biblioteca Básica de Agricultura. 1a edición.

Villarreal-Arellano HR, Fuentes-Mascorro G, Ramírez-Bibriesca JE, Torres-Hernández G, Ricardi-de-la-Cruz C, Vargas-López S (2020). Morphostructural variability in the Pastoreña goat in different regions of the Mixteca of Mexico: A phenotypic study to establish the racial profile. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias-UNCuyo 52(2): 360-375.

(Aceptado para publicación el 6 de septiembre de 2021)

Modelos de predicción del valor nutricional de henos de hierba

Sonia Pereira-Crespo[1,*], Adrián Botana[1], Marcos Veiga[1], Laura González[1], César Resch[1], Valentín García-Souto[1], Roberto Lorenzana[2], María del Pilar Martínez-Diz[1] y Gonzalo Flores-Calvete[1]

[1] Centro de Investigacións Agrarias de Mabegondo (CIAM), Mabegondo, 15318 Abegondo, A Coruña, España
[2] Laboratorio Interprofesional Galego de Análise do Leite (LIGAL), Mabegondo, 15318 Abegondo, A Coruña, España

Resumen

En este trabajo se evalúa la capacidad de la tecnología NIRS para estimar la composición química (n = 81) y la digestibilidad de la materia orgánica (n = 52) de henos de hierba procedentes de explotaciones gallegas y se desarrollan ecuaciones empíricas basadas en parámetros químicos para la estimación de la digestibilidad de la materia orgánica (DMO), comparando su capacidad predictiva con la obtenida mediante NIRS. Los valores de DMO se correspondían con determinaciones de DMO *in vivo* (n = 14) o *in vitro* con líquido ruminal (n = 38) corregidos con estándares de DMO *in vivo*. La capacidad predictiva de las ecuaciones NIRS obtenidas para estimar la composición química y DMO osciló entre excelente y buena, mostrando coeficientes de determinación en el proceso de validación cruzada (1 – *VR*) superiores a 0,90 para todos los parámetros, excepto para el contenido en materia orgánica (1 – *VR* = 0,87) y valores de la relación entre la desviación estándar y el error de predición en validación cruzada (*RPD*) superiores a 3,0 para todos los parámetros estudiados. Las ecuaciones empíricas basadas en parámetros químicos mostraron una menor aptitud predictiva de la DMO (1 – *VR* entre 0,70 y 0,53), mostrando la superioridad de la tecnología NIRS para predecir la DMO de henos de hierba, evidenciada al considerar que la ecuación NIRS seleccionada, comparada con la mejor ecuación química permitió reducir el error de predicción a la mitad, desde ± 3,9 % a ± 1,9 %. Se concluye que las calibraciones NIRS desarrolladas son una herramienta útil para la evaluación nutricional rápida y precisa de henos de pradera en análisis de rutina.

Palabras clave: Forrajes, digestibilidad, espectroscopía de reflectancia en el infrarrojo cercano.

Models for prediction of nutritive value of grass hay

Abstract

In the present work it is studied the predictive ability of NIRS for the estimation of chemical composition (n = 81) and organic matter digestibility (n = 52) of permanent and temporary pasture hays, being developed empirical equations based on chemical parameters to estimate the organic matter digestibility (OMD) values and compared the predictive ability of empirical models *vs.* NIRS equations. The collections of sam-

* Autor para correspondencia: soniapereira@ciam.gal

Cita del artículo: Pereira-Crespo S, Botana A, Veiga M, González L, Resch C, García-Souto V, Lorenzana R, Martínez-Diz MP, Flores-Calvete G (2022). Modelos de predicción del valor nutricional de henos de hierba. ITEA-Información Técnica Económica Agraria 118(3): 377-395. https://doi.org/10.12706/itea.2021.031

ples came from Galician dairy farms. The reference values of OMD corresponded to OMD *in vivo* determinations (n = 14 samples) or *in vitro* results from laboratory incubation tests using rumen fluid, which were corrected with standards of known *in vivo* digestibility (n = 38 samples). The predictive ability of the NIRS models for estimating the OMD and chemical composition ranged from excellent to good, according with the observed coefficient of determination in cross-validation (1 – *VR)*, higher than 0.90, except for the organic matter content (1 – *VR* = 0.87), whilst the ratio of the standard deviation of the original data to standard error of cross-validation (*RPD*) values were higher than 3.0 for all the parameters studied. Applying NIRS models to the prediction of OMD of hay led to the reduction by half of the standard error of cross-validation (*SECV*) of the best empirical models, from ± 3.9 % to ± 1.9 %. It is concluded that the NIRS models developed in the present work as a tool for the rapid and precise nutritional evaluation of hay used in Galician dairy farms and can be satisfactorily used in routine analysis.

Keywords: Forages, digestibility, near infrared reflectance spectroscopy.

Introducción

La conservación de la hierba de praderas y prados en explotaciones lecheras gallegas se realiza preferentemente mediante ensilado, recurriéndose al henificado en segundos cortes tardíos o aprovechamientos únicos de prados de siega a final de la primavera-comienzos de verano. Como se indica en el trabajo de Flores-Calvete *et al*. (2017), en las granjas lecheras de Galicia se conservan anualmente algo más de 1 millón de toneladas de materia seca (MS) de hierba, de la cual un 59 % estaría ensilada en silos convencionales, un 18 % ensilada en forma de rotopacas y el 23 % restante correspondería a rotopacas de heno de praderas y prados. Según el citado trabajo, algo más del 10 % de la ración diaria consumida por las vacas en lactación corresponde a forrajes secos, aportando el heno de hierba aproximadamente el 70 % de esta fracción.

El conocimiento preciso de la composición de los ingredientes que integran las raciones de las vacas de leche es una condición necesaria para su utilización eficiente en la alimentación animal, a través de la preparación de dietas económicas y equilibradas. La necesidad de contar con métodos que permitan realizar una evaluación nutritiva de los forrajes que componen la ración se justifica debido a la elevada variabilidad del valor nutricional y de su elevada contribución relativa a la dieta consumida por los rumiantes. El ajuste de las necesidades de los animales y de las características nutricionales de los ingredientes de la ración ofertada, es un elemento fundamental para una producción rentable y respetuosa con el medio ambiente.

El valor nutritivo de los forrajes depende de tres componentes: capacidad de ingestión voluntaria (ingestibilidad), concentración energética y valor nitrogenado (Van Soest, 1994). La estimación del valor energético se realiza usualmente a partir del valor de la digestibilidad de la materia orgánica (DMO), que es el principal factor de variación de la energía disponible en los forrajes para el animal (Aufrère y Guérin, 1966). Los resultados más exactos y repetibles de la medida de DMO en forrajes se obtienen mediante determinaciones realizadas con animales (estudios *in vivo*). Este método no es práctico como análisis de rutina, siendo utilizado como referencia frente al cual se deben de comparar otros métodos indirectos de estimación. Una alternativa al procedimiento *in vivo* son los métodos *in vitro*, siendo una opción viable que permite evaluar un número elevado de muestras de forma simultánea. Numerosos estudios consideran que la determinación de digestibilidad *in vitro* corregida por estándares de digestibilidad *in vivo* conocida

proporciona una estimación fiable de la digestibilidad de los forrajes (Van der Koelen y Van Es, 1973; Lundberg *et al*., 2004). La construcción de colecciones robustas para la predicción del valor energético de forrajes a partir de muestras de DMO *in vivo* conocida es frecuentemente inalcanzable, siendo necesario recurrir a muestras evaluadas *in vitro* debidamente corregidas por patrones obtenidos en determinaciones *in vivo*.

Desde comienzos del pasado siglo se han desarrollado modelos empíricos para la predicción de DMO que consisten básicamente en definir relaciones matemáticas entre los valores DMO *in vivo* con los resultados de los parámetros químicos analizados en el laboratorio. La estimación de la digestibilidad por esta vía se debe a la existencia de asociaciones estadísticas entre la composición química y la digestibilidad, que en muchos casos no tienen significación biológica (Cherney, 2000). Una de las consecuencias de esta aproximación empírica es que el amplio número de ecuaciones existentes en la bibliografía difieren significativamente tanto en las variables predictoras, como en los coeficientes de regresión para los mismos predictores, así como en el error de predicción. Las diversas ecuaciones obtenidas para estimar la DMO *in vivo* de los distintos tipos de forrajes en diferentes instituciones y laboratorios son por lo regular diferentes, como consecuencia de las características específicas de la colección de muestras de la que se derivan, por lo que sólo son útiles cuando las condiciones en que se realiza la predicción son semejantes a las de la colección original (López *et al.*, 2000). Al margen de la fiabilidad estadística de los modelos empíricos de predicción de la DMO *in vivo*, las limitaciones a su uso están relacionadas con la variabilidad genotípica y ambiental, la interacción entre las especies de plantas en las mezclas y la dificultad en representar en los modelos predictivos las relaciones causa-efecto entre la digestión ruminal y la composición de la planta (Van Soest, 1994).

Los análisis para determinar el valor nutricional de un forraje son lentos y costosos, lo que limita el número de muestras que un laboratorio es capaz de procesar diariamente y el uso de los resultados en la práctica. El desarrollo experimentado por la espectroscopia de reflectancia en el infrarrojo cercano (NIRS) a nivel mundial, como técnica rápida, precisa y no destructiva, en su aplicación al análisis de productos agrícolas, ha motivado que en la actualidad la tecnología de análisis NIRS esté ampliamente reconocida como una herramienta viable para abordar satisfactoriamente el problema de obtener estimaciones fiables, rápidas y económicas del valor nutricional de los alimentos del ganado, en particular de los forrajes dada a su variabilidad, incluyendo la predicción de la digestibilidad (Bastianelli *et al*., 2018). Es necesario sin embargo tener presente que la fiabilidad de las calibraciones NIRS para estimar el valor nutricional de los alimentos depende de la calidad y de la variabilidad de los datos de referencia utilizados para obtener los modelos predictivos, siendo por lo general obtenidos mejores resultados cuando se obtienen calibraciones para los diferentes grupos o tipos de forrajes que cuando se intentan obtener modelos generales (Corson *et al*., 1999).

El objetivo de este trabajo fue evaluar la capacidad de la tecnología NIRS para estimar la composición química y DMO de heno de hierba y desarrollar ecuaciones empíricas basadas en parámetros químicos para la estimación de la DMO, comparando su capacidad predictiva con la obtenida por NIRS.

Material y métodos

Material vegetal

El colectivo de muestras de heno (n = 81) está constituida en su totalidad por muestras de hierba seca en el campo, procedentes de

praderas y prados de explotaciones lecheras de distintos puntos de Galicia, parte de las cuales se recogieron durante un proyecto realizado en el CIAM entre los años 2003 y 2004, y otra parte procede de muestras enviadas al LIGAL para su análisis entre los años 2005 y 2015. Del total de la población de muestras, se disponía de valores de DMO para 52 muestras.

Métodos analíticos de referencia

La preparación de las muestras para las posteriores determinaciones por vía húmeda se realizó mediante secado en estufa de aire forzado (Unitherm, Russell-Lindsey Engineering, Birmingham, Inglaterra) a 80 °C durante 16 h. Las muestras fueron posteriormente molidas a 1 mm en un molino de martillos (Christy y Norris Ltd., Chelmsford, Inglaterra). Todas las determinaciones analíticas se realizaron por duplicado, repitiéndose el análisis cuando la diferencia entre resultados superaba el 5 % del valor medio. Los resultados se expresaron en porcentaje sobre MS corregida por humedad residual. Los procedimientos utilizados en la obtención de los valores de referencia para determinar el contenido en humedad residual de las muestras secas y molidas se realizó mediante desecación a 102 °C hasta peso constante. El contenido en materia orgánica (MO) se realizó mediante la combustión en mufla a 550 °C hasta peso constante. La proteína bruta (PB) se cuantificó a partir del nitrógeno (N) total multiplicado por 6,25. La determinación de N total se realizó mediante digestión micro Kjeldahl. Las determinaciones de fibra neutro detergente (FND) se realizaron según el procedimiento propuesto por Van Soest *et al.* (1991), y la de fibra ácido detergente (FAD) segundo Goering y Van Soest (1970). Estos procedimientos están adaptados al digestor Fibertec System modelo 1020 (Foss Tecator AB, Suecia).

Determinación de la digestibilidad in vivo

Las evaluaciones de cada muestra problema se realizaron con un mínimo de cinco ovinos machos castrados de más de dos años de edad, de raza gallega, alojados en jaulas metabólicas dotadas de separadores de heces y orina. Los animales que disponían de bloques correctores vitamínico-mineral a libre disposición, recibieron las dietas como único alimento. El nivel de alimentación fue a nivel mantenimiento (35 g de materia seca por kg de peso vivo metabólico inicial). El alimento fue ofrecido diariamente en una única comida a primera hora de la mañana. El período pre-experimental de adaptación al alimento problema fue de 7 días, seguido de un período de adaptación a las jaulas metabólicas y de ajuste de ingestión voluntaria de otros 7 días de duración, donde se pesó diariamente el alimento ofrecido y rechazado por los animales, seguido por 11 días continuados de control de ingestión voluntaria y producción de heces. Diariamente se realizó la pesada y muestreo del alimento ofrecido y las heces producidas, así como del alimento rechazado, en su caso, para cada animal.

El muestreo fue realizado una sola vez al día, tomándose una alícuota del 10 % del alimento ofrecido y rechazado, y el 20 % de las heces producidas para cada animal. Las muestras tomadas diariamente se mantuvieron congeladas a –20 °C hasta su análisis.

A partir de los resultados de la evaluación *in vivo* se calculó para cada animal utilizado en el ensayo el valor de la digestibilidad aparente *in vivo*. Para ello se utilizó la expresión $CD = \frac{\sum X_i - \sum X_e}{\sum X_i} \times 100$ donde *CD* es el coeficiente de digestibilidad aparente (en %), del constituyente *X* (MS, MO), siendo ΣX_i y ΣX_e respectivamente, las cantidades ingeridas y excretadas por el animal de dicho constituyente durante los 11 días de control que duró el ensayo.

Determinación da digestibilidad in vitro

La digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica fue determinada mediante el procedimiento descrito por Tilley y Terry (1963) modificado por Alexander y McGowan (1966), utilizando como animales donantes de inóculo ruminal dos vacas secas canuladas en el rumen, alimentadas a nivel de mantenimiento con una dieta compuesta por heno de buen calidad y un concentrado a base de harina de cebada y soja (18 % PB). Las muestras se incubaron por duplicado, siendo repetido el análisis cuando la diferencia entre repeticiones excedía el valor del 5 % de la media. A fin de controlar la variabilidad entre series de análisis sucesivas, los resultados de digestibilidad *in vitro* se corrigieron utilizando un conjunto de tres muestras de referencia cuya digestibilidad *in vivo* era conocida, colocados por duplicado al inicio, mitad y al final de cada serie. La corrección se ajustó a la expresión $Dx_c = \frac{Dr_m}{Dr_i} Dx_i$, donde: Dx_c es el valor de la digestibilidad *in vitro* corregida para la muestra problema *x*, Dr_m es el valor medio de la digestibilidad *in vitro* de las muestras de referencia en las sucesivas tandas y Dr_i es la digestibilidad *in vitro* de las muestras de referencia en la tanda i. Posteriormente, los valores de digestibilidad *in vitro* de cada muestra se expresaron como digestibilidad *in vivo* a través de una ecuación de paso ($DMO_{ij} = \alpha_i + \beta_i\, DoTT_{ij}$) donde DMO_{ij} y $DoTT_{ij}$ son los respectivos valores de la digestibilidad *in vivo* e *in vitro* de la muestra *j* en la serie *i*, y α_i y β_i son los coeficientes de la ecuación de regresión construida para la serie *i* a partir de los valores *in vivo* e *in vitro* de las muestras patrón de referencia.

De la colección de muestras se disponía de los valores de digestibilidad *in vivo* e *in vitro*. Cuando se daba este caso, se mantuvo el valor de la DMO *in vivo* (n = 14) como valor de referencia, siendo utilizado el valor *in vitro* corregido por estándares (n = 38) en caso contrario.

Error estándar de los métodos de referencia

Para evaluar los resultados de las ecuaciones NIRS en relación al error del método de referencia, se calculó el error estándar del método de referencia (*SEL*) para cada parámetro, realizado a partir de la varianza entre replicados de la misma muestra según la fórmula $SEL = \sqrt{\frac{\sum i \left[\frac{(\sum j \left(Xij - \bar{X}j \right)^2}{\left(Rep - 1 \right)} \right]}{n}}$ (Windham *et al*., 1989) donde X_{ij} es el replicado *j* de la muestra *i*, $\bar{X}_j$ es la media de los replicados de la muestra *i*, *Rep* es el número de replicados y *n* es el número de muestras. Los valores de *SEL* de los métodos de referencia del presente trabajo figuran en la Tabla 1.

Análisis estadístico en la construcción de las ecuaciones de regresión basadas en parámetros químicos

Para la colección de muestras de las que se disponía valores de DMO (n = 52) se desarrollaron ecuaciones de regresión basadas en parámetros químicos, persiguiendo el objetivo de establecer una base de comparación de la capacidad predictiva de este modelo y el obtenido mediante la tecnología NIRS, aplicada a la estimación del valor nutricional de henos de hierba utilizados en las explotaciones lecheras de Galicia.

Se examinaron las relaciones entre los valores de DMO y las determinaciones de laboratorio mediante análisis de correlación y de regresión linear simple y múltiple, acompañada de un proceso de regresión paso a paso, siendo seleccionados los mejores modelos uni y multivariables en cuanto a porcentaje

Tabla 1. Error estándar del método de referencia para la determinación de la composición química y digestibilidad *in vitro* e *in vivo.*
Table 1. Standard error of laboratory of chemical composition and digestibility in vitro *and* in vivo *for reference data set.*

Parámetro	Media	*SEL*	*CV*
Composición química (% MS)			
MO	87,63	0,57	0,65
PB	11,30	0,50	4,48
FND	44,34	1,74	3,92
FAD	36,22	1,18	3,26
Digestibilidad (%)			
DoTT†	64,77	1,94	3,00
DMO *in vivo*	66,83	2,33	3,49

SEL: error estándar de laboratorio; *CV*: coeficiente de variación; MS: materia seca (%); MO: materia orgánica (%MS); PB: proteína bruta (%MS); FND: fibra neutro detergente (%MS); FAD: fibra ácido detergente (%MS); DoTT: digestibilidad de la MO *in vitro* método Tilley-Terry (%); DMO: digestibilidad de la MO (%).

† no corregido por estándares *in vivo.*

de varianza explicada de la variable dependiente. Los procedimientos utilizados fueron CORR, STEPWISE, GLM y REG del paquete estadístico SAS v. 9.4 (SAS Institute, 2012).

En la construcción de los modelos predictivos se utilizó el método "*leave one out*" (Massart *et al*., 1997) un proceso secuencial de validación cruzada, en el cual del conjunto de calibración era excluida secuencialmente una de las muestras, sobre la que se realizó la validación de la predicción a partir del modelo de calibración generado. Repetido el proceso un número de veces igual al número total de muestras, se computó el error estándar de validación cruzada (*SECV*) a partir de los errores de estimación (e_i= diferencia entre el valor observado y el predicho por el modelo) de las muestras del conjunto de validación como $SECV = \sqrt{\frac{\sum e_i^2}{n-1}}$, siendo *n* el número total de muestras de la colección. Fueron excluidos los modelos con un porcentaje de varianza explicada en validación cruzada inferior al 20 % así como aquellos que incluían como predictores variables con un elevado grado de colinealidad, dado su efecto negativo en la estabilidad de los coeficientes de los modelos de regresión, siendo aquel estimado a través de las herramientas de diagnóstico del procedimiento REG de SAS.

Análisis e instrumentación NIRS

La información espectral de las muestras se registró en un espectrofotómetro monocromador de espectro continuo Foss NIRSystem 6500 (Foss NIRSystem, Silver Spring, Washington, USA), situado en una sala con temperatura controlada (24 ± 1 °C).

El instrumento estaba dotado de un módulo de giro y realiza medidas de reflectancia (*R*) en la región espectral comprendida entre 1100 nm y 2500 nm, con una resolución espectral de 2 nm. El análisis NIRS se realizó durante los años 2015 y 2016, permaneciendo las muestras envasadas al vacío en bolsas laminadas de poliamida/polietileno en una cámara a 4 °C hasta su análisis.

Los datos espectrales se recogieron por duplicado de cada muestra y cada espectro que se registraba con el equipo era el promedio de 32 barridos de la radiación (*scans*) sobre la muestra, siendo expresados los datos de absorbancia como *Log* (1/*R*). La recogida de datos espectrales y el análisis quimiométrico de los datos se realizó mediante el programa WinISI II v.1.5 (Infrasoft International, Port Matilda, PA, USA, 2000).

Tratamiento quimiométrico de los datos espectrales

Mediante el algoritmo CENTER (Shenk y Westerhaus, 1991) del software WinISI, se realizó un Análisis de Componentes Principales, seguido del cálculo de distancias entre espectros en un espacio n-dimensional a través de la distancia de Mahalanobis, la cual permitió estudiar la estructura y variabilidad espectral de la población y detectar muestras anómalas, siendo identificadas como muestras atípicas (*outliers* espectrales) aquellas con valores >3 (Shenk y Westerhaus, 1991). Aquellos espectros anómalos fueron eliminados, repitiendo el proceso de detección y eliminación de anómalos espectrales hasta conseguir que todas las muestras presentaran un valor de GH inferior al valor máximo recomendado.

Los pretratamientos espectrales evaluados fueron: SNV (*Standard normal variate*); DT (*Detrend*), la combinación de ambos (SNV+D) (Barnes *et al*., 1989) y W-MSC (*Weighted multiplicative scatter correction)* (Shenk y Westerhaus, 1993), combinados con derivadas como: 1,4,4,1; 1,5,5,1; 1,6,4,1; 1,8,4,1; 1,10,5,1; 1,10,10,1; 2,4,4,1; 2,5,5,1; 2,6,4,1; 2,8,4,1; 2,10,5,1; 2,10,10,1; donde el primer dígito expresa el orden de la derivada (1= primera derivada, 2= segunda derivada), el segundo dígito indica el tamaño del segmento sobre el cual se realiza la derivación (intervalo expresado en nanómetros) y el tercero y cuarto dígito indican el tamaño de los intervalos, expresados en nanómetros, utilizados para el cálculo de suavización de la derivada (Shenk y Westerhaus, 1995).

Las ecuaciones de calibración fueron generadas por regresión de mínimos cuadrados parciales modificada (MPLS, Martens y Næs, 1987) entre los datos espectrales y los valores de referencia, aplicándose el procedimiento de validación cruzada para determinar el número óptimo de términos de la ecuación y para identificar los espectros anómalos químicos. Se incluyeron cuatro grupos de validación cruzada para prevenir el sobreajuste, que fueron secuencialmente utilizados para efectuar la validación de las ecuaciones generadas. Además, durante el proceso de desarrollo de cada ecuación de calibración se aplicaron como máximo 2 etapas de eliminación de anómalos químicos (T > 2,5; Mark y Workman, 2003). Los modelos de predicción de composición química y digestibilidad de la materia orgánica no fueron objeto de validación externa, dado al reducido tamaño de la colección de datos.

Resultados

Ecuaciones empíricas para la predicción de DMO

Valores medios de la colección

En la Tabla 2 se muestran los valores de la colección de los henos de hierba (n = 52) que fueron utilizados para desarrollar las ecuaciones de predicción de la digestibilidad de la

Tabla 2. Composición química y digestibilidad de la materia orgánica de la colección de muestras de henos de hierba utilizadas en la obtención de ecuaciones empíricas para la predicción de la digestibilidad de la materia orgánica.
Table 2. Reference data for chemical composition and organic matter digestibility of hays samples used to obtain empirical equations for prediction of organic matter digestibility.

Parámetro	n	Media	SD	CV	Max	Min
MO	52	94,1	2,04	2,16	93,2	87,8
PB	52	6,8	2,23	32,95	16,7	3,8
FND	52	70,1	6,96	9,92	84,9	43,9
FAD	52	40,8	4,27	10,47	53,8	29,8
HCEL	52	29,3	4,43	15,11	35,7	14,1
DMO	52	50,8	7,14	14,04	66,9	28,4

MS: materia seca; MO: materia orgánica (%MS); PB: proteína bruta (%MS); FND: fibra neutro detergente (%MS); FAD: fibra ácido detergente (%MS); HCEL: hemicelulosa (%MS); DMO: digestibilidad de la MO (%); n: número de muestras; SD: desviación estándar; CV: coeficiente de variación; Max: valor máximo; Min: valor mínimo.

materia orgánica en base a la composición química de las muestras. Los contenidos medios (y rango de variación), expresados en % MS, fueron MO: 94,1 (87,8 a 93,2); PB: 6,8 (3,8 a 16,7); FND: 70,1 (43,9 a 84,9); FAD: 40,8 (29,8 a 53,8) y HCEL: 29,3 (14,1 a 35,7). El valor medio de DMO fue de 50,8 %, oscilando entre un valor mínimo de 28,4 % y un máximo de 66,9 %.

Correlaciones entre composición química y digestibilidad

La matriz de correlaciones entre los parámetros de composición química y la digestibilidad de la materia orgánica para el conjunto de muestras de heno se muestra en la Tabla 3. Fue observada la existencia de una alta correlación negativa ($p < 0,001$) entre el valor de DMO y las diferentes fracciones de la fibra, especialmente con el contenido en FND ($r = –0,85$) y FAD ($r = –0,75$), siendo inferior, en valor absoluto, para el contenido en HCEL ($r = –0,61$). La correlación de DMO con el contenido en MO fue también de signo negativo ($r = –0,59$), mientras que con el contenido en PB fue de moderada intensidad y de signo positivo ($r = 0,69$), altamente significativas ($p < 0,001$) en ambos casos.

Se detectaron, por otra parte, la existencia de correlaciones significativas de signo negativo entre el contenido en PB y el de las diferentes fracciones de la fibra, con valores de r de –0,76 para FND, –0,64 para FAD y de –0,57 para HCEL ($p < 0,001$). A pesar de que los henos provienen por lo general de cortes más o menos tardíos de hierba en su segundo o tercero ciclo de crecimiento, las asociaciones descritas ilustran la típica evolución de los valores de digestibilidad y proteína, por una parte, y los de fibra, por otra, con el avance de la madurez de la hierba, con valores de DMO y PB más altos y valores de fibra más bajos en la hierba de menor edad y lo contrario en la hierba más madura.

Tabla 3. Matriz de correlaciones entre parámetros de composición química y digestibilidad de la materia orgánica de la colección de muestras de henos de hierba utilizada para la obtención de ecuaciones empíricas para la predicción de digestibilidad de la materia orgánica.
Table 3. Correlation matrix between chemical parameters and organic matter digestibility of the hays samples set used to obtain empirical equations for prediction organic matter digestibility.

		PB	FND	FAD	HCEL	DMO
MO	*r*	-0,50	0,55	0,31	0,56	-0,59
	p	***	***	*	***	***
PB	*r*	–	-0,76	-0,64	-0,57	0,69
	p		***	***	***	***
FND	*r*	–	–	0,79	0,81	-0,85
	p			***	***	***
FAD	*r*	–	–	–	0,28	-0,75
	p				*	***
HCEL	*r*	–	–	–	–	-0,61
	p					***

MS: materia seca; MO: materia orgánica (%MS); PB: proteína bruta (%MS); FND: fibra neutro detergente (%MS); FAD: fibra ácido detergente (%MS); HCEL: hemicelulosa (%MS); DMO: digestibilidad de la MO (%); *r*: coeficiente de correlación de Pearson; *p*: significación (*** $p < 0,001$; ** $p < 0,01$; * $p < 0,05$).

Ecuaciones de predicción de DMO basadas en parámetros químicos

Las ecuaciones de regresión seleccionadas, así como los estadísticos de calibración y de validación cruzada se muestran en la Tabla 4, estando aquellas ordenadas de mayor a menor por el porcentaje de varianza explicada en calibración. Dado el relativamente pequeño tamaño de la colección, no se realizó una validación externa de las ecuaciones. Una ecuación con FND como único predictor explicó el 70 % de la varianza en validación cruzada, con un error de predicción de *SECV* de ±3,91 %, no viéndose mejorada su predicción por la inclusión de ningún otro parámetro químico. La varianza explicada por la ecuación de dos variables, con FAD y PB como predictores fue considerablemente más baja (1 – *VR* = 0,57) y el error de predicción más elevado (*SECV* = ± 4,70 %) comparado con el modelo anterior. La ecuación con FAD como único predictor empeoró ulteriormente los resultados de la predicción, con un valor de 1 – *VR* de 0,53 y *SECV* de ± 4,86 %. Los valores de los estadísticos *RPD* y de *RER* para las tres ecuaciones fueron, respectivamente, de 1,82 y 9,84 para la primera, de 1,51 y 8,19 para la segunda y de 1,46 y 7,92 para la tercera.

Shenk *et al.* (2001) indican, que valores del coeficiente de determinación en validación cruzada (1 – *VR*) entre 0,70 y 0,89 muestran un razonable ajuste para el modelo de predicción, mientras que valores entre 0,50 y 0,69 permitirían solo una predicción cualitativa básica. Por otra parte, Williams (2001) indica que valores de *RPD* entre 1,5 y 2,0 permiten una predicción cualitativa básica. Atendiendo a estos criterios, las dos primeras ecuaciones

Tabla 4. Ecuaciones de predicción de la digestibilidad de la materia orgánica de henos en base a parámetros químicos.
Table 4. Equations for the prediction of organic matter digestibility of hays based on chemical parameters.

Ecuación				Calibración		Validación cruzada	
				R^2	SEC	1-VR	SECV
DMO =	111,83	-0,86 FND		0,71	3,82	0,70	3,91
s.e.	*± 5,41*	*± 0,076*					
P	***	***		***		***	
DMO =	79,30	-0,88 FAD	+1,11 PB	0,63	4,38	0,57	4,70
s.e.	*± 9,39*	*± 0,18*	*± 0,35*				
P	***	***	**	***		***	
DMO =	102,09	-1,25 FAD		0,56	4,75	0,53	4,86
s.e.	*± 6,38*	*± 0,15*					
P	***	***		***		***	

DMO: digestibilidad de la materia orgánica (%); MS: materia seca; FND: fibra ácido detergente (%MS); FAD: fibra ácido detergente (%MS); PB: proteína bruta (%MS); *s.e*: error estándar del coeficiente de la ecuación de regresión; *P:* significación del coeficiente de la ecuación de regresión (*** *P*<0,001; ** *P*<0,01); R^2: coeficiente de determinación del modelo de calibración; SEC: error estándar de calibración; 1-VR: coeficiente de determinación en validación cruzada; SECV: error estándar de validación cruzada.

tendrían utilidad para realizar una predicción aproximada cualitativa de la digestibilidad, estando la ecuación basada en FAD en el límite de la utilidad práctica para la estimación de la DMO en colecciones de henos de pradera con una composición semejante a la de la colección utilizada para obtener los modelos de predicción.

Ecuaciones NIRS para predicción de la composición química y DMO

Las características descriptivas de los parámetros de composición química y DMO del colectivo de muestras utilizadas para el desarrollo de modelos de predicción NIRS se indican en la Tabla 5. Los valores medios (y rango de variación) de la composición química de las muestras del colectivo de calibración (en % MS) fueron MO: 93,2 (87,5 a 93,2); PB: 8,0 (3,8 a 17,4); FND: 65,7 (36,6 a 84,9) y FAD 38,4 (17,7 a 53,8). El valor medio de DMO fue de 50,8 %, con un rango de variación de 28,4 % a 66,9 %. El colectivo presenta una elevada variabilidad para todos los parámetros estudiados, indicando la diversidad de muestras incluidas en este producto.

Los modelos de predicción NIRS obtenidos a partir de la segunda derivada permitieron obtener estimaciones más precisas y exactas para la estimación de los parámetros de contenido en PB, FND y la DMO, mientras que para MO y FAD se obtuvieron con la primera derivada. Las ecuaciones NIRS para la estimación de MO, FND y DMO se construyeron utilizando el método SNV+D como pretratamiento espectral, mientras que para la predicción del contenido en PB y FAD el procedi-

Tabla 5. Estadísticos de calibración y validación cruzada de las ecuaciones NIRS para la estimación de la composición química y de la digestibilidad de la materia orgánica de muestras de henos.
Table 5. Statistics of calibration and cross validation of NIRS equations for the prediction of chemical composition and organic matter digestibility of hays.

Parámetro	*Scatter*	Tratamiento matemático	Calibración										Validación cruzada			
			n	*Outliers*	T	Media	SD	Min	Max	Rango	R^2	SEC	1-VR	SECV	RPD	RER
MO	SNV+D	1,10,10,1	81	5	8	93,2	2,5	87,5	93,2	5,7	0,93	0,60	0,87	0,78	3,2	7,4
PB	W-MSC	2,10,10,1	81	2	5	8,0	3,4	3,8	17,4	13,5	0,97	0,50	0,97	0,58	5,9	23,3
FND	SNV+D	2,10,5,1	81	3	5	65,7	9,9	36,6	84,9	48,3	0,97	1,53	0,97	1,79	5,5	26,9
FAD	W-MSC	1,10,10,1	81	1	7	38,4	6,0	17,7	53,8	36,0	0,95	1,38	0,92	1,77	3,4	20,4
DMO	SNV+D	2,10,5,1	52	2	5	50,8	7,1	28,4	66,9	38,5	0,94	1,53	0,91	1,93	3,7	19,9

W-MSC: multiplicative scatter correction; SNV+D: standard normal variate+detrend; n: número de observaciones; *Outliers*: número de muestras anómalas eliminadas; T: número de factores de la regresión; SD: desviación estándar; Min: valor mínimo; Max: valor máximo; SEC: error estándar de calibración; R^2: coeficiente de determinación del modelo de calibración; SEC: error estándar de calibración; 1-VR: coeficiente de determinación en validación cruzada; SECV: error estándar de validación cruzada; RPD: ratio entre la desviación estándar y el error de predicción en validación cruzada; RER: ratio entre rango de valores y el error de predicción en validación cruzada; MS: materia seca; MO: materia orgánica (%MS); PB: proteína bruta (%MS); FND: fibra neutro detergente (%MS); FAD: fibra ácido detergente (%MS); DMO: digestibilidad de la materia orgánica (%).

miento W-MSC permitió optimizar el modelo de predicción. El número de muestras eliminadas como anómalas osciló entre 1,2 % y 6,1 % del total de muestras iniciales de la colección en la construcción de las ecuaciones de predicción de parámetros químicos y fue del 3,8 % para el caso de la predicción de DMO.

Los coeficientes de determinación en el proceso de validación cruzada (1 – *VR*) fueron superiores a 0,90 para todos los parámetros, a excepción del contenido en MO (1 – *VR* = 0,87), indicando una excelente o buena calidad en la predicción de todas las variables (Shenk *et al.*, 2001) cuando las ecuaciones se aplican a colecciones de muestras de similares características que las de la colección de calibración utilizada en este trabajo. Las ecuaciones con los mayores valores de 1 – *VR* fueron las obtenidas para la predicción *SECV* de PB y FND (0,97 en ambos casos), seguidas de FAD (0,92) y DMO (0,91). Los valores de los errores de predicción fueron ± 0,78 % para MO, ± 0,58 % para PB, ± 1,79 % para FND, ± 1,77 % para FAD y ± 1,93 % para DMO. Los valores de los estadísticos *RPD* y *RER* fueron, respectivamente, de 3,2 y 7,4 para MO, de 5,9 y 23,3 para PB, de 5,5 y 26,9 para FND, de 3,4 y 20,4 para FAD y de 3,7 y 19,9 para DMO. Los valores de RPD de todas las ecuaciones fueron superiores al valor de 3,0; lo que indica una buena capacidad predictiva cuantitativa, siguiendo los criterios de Williams (2001) y de Williams y Sobering (1996).

Discusión

Los datos medios de composición química y de la digestibilidad de la materia orgánica de la colección de henos de hierba utilizada en el presente trabajo muestran un bajo valor nutritivo medio de este forraje, utilizada en las explotaciones lecheras básicamente como fuente de fibra en la alimentación de los animales. Los valores de la colección pueden considerarse representativos de las características de los utilizados en las explotaciones lecheras de Galicia, que proceden por lo general de segundos o terceros aprovechamientos del pasto en el mes de julio, coincidiendo con el inicio de la sequía estival donde se dan las condiciones de temperatura y humedad relativa para curar el heno en el campo, o en el mes de agosto en las zonas más frescas, por lo general con escasa presencia de gramíneas, siendo aprovechados en un estado de madurez avanzado. La composición media y la variabilidad de las muestras de henos de hierba procedentes de explotaciones lecheras colaboradoras en diferentes proyectos realizados en el CIAM entre 2013 y 2019[1] (G. Flores, comunicación personal) son comparables con los de esta colección, con valores medios y rangos de variación de la composición química (en %MS) de 93,3 (90,7 a 95,9) para MO; 7,3 (4,8 a 12,9) para PB; de 69,2 (56,0 a 82,6) para FND; de 42,8 (34,5 a 50,9) para FAD, siendo el valor medio de DMO de 45,1 % con rango de 30,0 % a 58,3 %. El parámetro más variable fue el contenido en PB (*CV* = 31,2 %) seguido de DMO (*CV* = 13,1 %) y los menos variables fueron FAD y FND (*CV* = 8,3 % y 8,6 %, respectivamente) y, sobre todo, MO (*CV* =1,2 %) lo cual se asemeja, en líneas generales, con lo observado en la colección de muestras de heno de hierba utilizada en este trabajo. En las Tablas INRA (2010), para los henos de praderas naturales y de especies gramíneas (raigrás, dáctilo y bromo) secados al sol en cortes de 2º ciclo con rebrotes poco foliáceos, se indican valores de composición química (en %MS) de entre 6,6 y 12,5 para PB, de entre 61,2 y

(1) Proyectos RTA2012-00065-C05-02 y RTA2014-00086-C03-03 financiados por INIA y proyectos FEADER2016-59B y FEADER2017-022B financiados por la Xunta de Galicia.

72,3 para FND y de entre 32,1 y 41,2 para FAD, siendo el rango de valores para DMO de entre 50,0 % y 67,0 %. Los valores de las Tablas FEDNA (2016) para henos de raigrás, por ejemplo, indican una calidad muy superior a los de la colección utilizada en el presente trabajo, con valores medios de 15,6 % MS para PB (rango 10,5 a 22,3) y de 63,0 % para DMO (rango 55,9 a 63,0), estando próximos los valores de DMO de nuestra colección al de los henos de raigrás de 5ª categoría (50,6 %) de las citadas Tablas.

Ecuaciones empíricas

La capacidad predictiva de las ecuaciones químicas para la estimación de la DMO de henos de hierba seleccionadas en el presente trabajo, se consideró mediocre, aplicando los criterios de Shenk *et al*. (2001) y de Saeys *et al.* (2005) a los estadísticos de validación cruzada, que para la primera ecuación basada en FND mostró valores de *RPD* próximos a 2 y de *RER* próximos a 10, siendo considerada de baja calidad para las otras dos con valores de *RPD* próximos a 1,5 y de *RER* próximos a 8,0.

Los resultados de diversos autores de la bibliografía muestran el moderado poder predictivo de la DMO conseguido por las ecuaciones basadas en parámetros químicos, lo cual coincide en líneas generales con los resultados obtenidos en el presente trabajo. Por ejemplo, en el trabajo de Van der Koelen y Van Es (1973) realizado sobre una diversa colección de forrajes holandeses, se reporta la superioridad para la predicción de DMO *in vivo* de la técnica con inóculo ruminal *in vitro* (Tilley y Terry, 1963) corregida por estándares frente a técnicas de laboratorio alternativas indicando que, para el grupo de muestras de henos, el coeficiente de determinación y el valor de la desviación estándar residual de la ecuación de regresión entre los valores de DMO *in vivo* y los predichos por ecuaciones basadas en FND, FAD y LAD eran de 0,68 a 0,70 para R^2 y de ± 2,51 % a ± 2,57 % para el error mínimo de predicción en calibración (RSD). En un trabajo posterior Aerts *et al.* (1977) para una colección de 42 muestras de henos de hierba, indican valores del coeficiente de determinación en calibración de 0,35; de 0,53 y de 0,68 para ecuaciones de regresión basadas en FB, FAD y LAD, respectivamente.

Como resultado de los trabajos realizados por la *American Forage and Grassland Council* con la finalidad de establecer criterios de calidad para los henos de gramíneas y leguminosas de los Estados Unidos, Rohweder *et al.* (1978)[2] publicaron diversas ecuaciones para estimar la digestibilidad *in vivo* de la materia seca a partir de la FAD, indicando que el porcentaje de varianza explicada por la ecuación seleccionada para henos de alfalfa, basada en el contenido en FAD era del 68 %, mientras que dicho valor para la ecuación de heno de gramíneas y utilizando el mismo predictor se reducía al 48 %.

Utilizando una colección de 31 henos de prados franceses, Jarrige (1980) indica que las ecuaciones de regresión para la predicción del valor de DMO basadas en los contenidos en PB y FAD, PB y FB y PB y FND mostraban valores del error mínimo de predicción en calibración (*RSD*) de ± 3,2 %, ± 3,5 % y ± 3,9 %, respectivamente. Para una pequeña colección de muestras de henos de gramíneas y mezclas con leguminosas de Japón donde se midió el valor de la DMO *in vivo* a partir del cual se calculó el valor de la concentración total de nutrientes digestibles (TDN), Abe (1984) indica que las ecuaciones de predicción de TDN basadas en FAD o en FB permi-

(2) Ecuaciones de Rohweder *et al*. (1978) para estimar DMS (%) a partir del contenido en FAD (%MS): para henos de alfalfa, DMS = 65,5 + 0,975FAD – 0,027FAD^2 y para henos de gramíneas, DMS = 41,9 +2,15FAD – 0,0433FAD^2.

tían explicar únicamente el 38 % y el 36 % de la varianza con un *RSD* de ± 5,2 % y ± 5,3 % unidades, respectivamente, indicando un poder predictivo medio-bajo de las ecuaciones.

Moss y Givens (1990) obtuvieron ecuaciones de predicción de DOMD *in vivo* basadas en la composición química de una colección de 76 muestras de henos de hierba del Reino Unido indicando que los valores del coeficiente de determinación y del error de predicción en validación externa fueron semejantes para las ecuaciones basadas en FB (*r* = 0,44 y *SEP* = ±5,0 %), en FAD (*r* = 0,57 y *SEP* = ±4,4 %) y en LAD (*r* = 0,49 y *SEP* = ±4,7 %) como predictores. En colecciones más reducidas de henos de hierba también evaluados *in vivo*, Carro *et al.* (1994) reportan valores respectivos de R^2 y *RSD* de 0,64 y ± 4,4 % para una ecuación basada en FND y de 0,68 y ± 3,8 % para otra ecuación con FAD como predictores de DMS construidas a partir de una colección de 11 henos de hierba, mientras que Khazaal *et al*. (1995) indican valores de R^2 y *RSD* en calibración de, respectivamente, 0,32 y ± 6,1 % y de 0,42 y ± 5,7 % para ecuaciones de predicción de DMO *in vivo* de 10 henos de gramíneas basadas en FAD y LAD.

Para una colección de 22 henos con valor de DMO *in vivo* conocida, De Boever *et al*. (1999) obtuvieron ecuaciones de regresión basadas en parámetros químicos con valores de R^2 y *RSD* de 0,63 y ± 4,4 % para una ecuación basada en FB, de 0,82 y ± 3,1 % para la basada en LAD y de 0,86 y ± 2,7 % para la basada en FB y LAD, respectivamente, siendo los valores del ratio *SD*/*RSD* y de *RER* de 1,6 y 6,0, de 2,3 y 8,5 y de 3,1 y 9,8; respectivamente, mostrando un mejor comportamiento predictivo las ecuaciones que incluían la concentración de lignina como predictor y evidenciando una capacidad predictiva entre mediocre y aceptable para las ecuaciones empíricas, debiendo señalarse, sin embargo, el escaso número de muestras de la colección de henos como para considerar suficientemente robustas las ecuaciones que, en todo caso, no fueron objeto de validación externa.

En la publicación de las Tablas INRA (2010) se ofrecen ecuaciones de predicción basadas en los contenidos en PB y FAD para la estimación de la digestibilidad de la materia orgánica de muestras de henos[3], diferenciadas para henos de pradera permanente (n=54), henos de gramíneas (n=74) y henos de leguminosas (n=20) con valores respectivos del coeficiente de determinación en calibración R^2 y del error mínimo de predicción *RSD* de 0,74 y ± 2,6 %, de 0,72 y ± 2,7 % y de 0,78 y ± 1,9 %, pero no se indican los estadísticos de validación de las mismas.

Los estadísticos de calibración de las ecuaciones empíricas para la estimación de DMO de henos de hierba obtenidas en el presente trabajo (R^2 entre 0,71 y 0,56 y *RSD* entre ±3,8 % y ±4,7 %) se encuentran dentro del rango de valores del conjunto de trabajos anteriormente indicados, que oscilaron en un amplio rango (R^2 entre 0,32 a 0,86 y *RSD* entre ±1,9 % y ±6,1 %), dependiendo de las características de la colección y de los predictores utilizados, debiendo ser indicado que en la mayor parte de los casos las ecuaciones publicadas en la bibliografía no fueron validadas, con el cual se carece de información acerca de la robustez y fiabilidad de la predicción, pudiendo ser juzgadas únicamente por los estadísticos de calibración. Como indican Ribeiro y Moreira (1998), por lo general los métodos químicos son menos fiables que otros métodos alternativos, pero en oca-

(3) Las ecuaciones para la estimación da DMO (%) de henos de hierba propuestas en las Tablas INRA (2010) basadas en los contenidos de FAD y PB (%MS) son: para pastos permanentes, DMO = 58,5 – 0,26 FAD + 1,04 PB, para henos de gramíneas DMO = 104,9 – 1,27 FAD + 0,14 PB y para henos de leguminosas DMO = 98,5 – 1,14 FAD.

siones son la única opción posible. En este caso, se deben tomar dos precauciones: la primera es relativa al uso de ecuaciones debidamente validadas y en segundo lugar y conectado con ésta, dado el efecto de los factores relacionados con el tipo de especies de pasto, clima, suelo, manejo del cultivo y post-cosecha sobre los coeficientes de las ecuaciones, debe ser tomada la precaución de no realizar su aplicación fuera de las condiciones en que fueron obtenidos los modelos de predicción, bajo pena de incrementar el error de las estimaciones en una magnitud no conocida a priori.

Ecuaciones NIRS para la estimación de la composición química y DMO

Las ecuaciones NIRS obtenidas en el presente trabajo para la predicción de los contenidos en PB, FND y FAD de las muestras de henos de hierba mostraron una excelente o buena calidad, atendiendo a los criterios de Williams (2001) y de Williams y Sobering (1996), con valores del coeficiente de determinación en validación cruzada superiores o próximos a 0,90 y de *RPD* superiores a 3,0. La ecuación NIRS seleccionada para la estimación del valor de DMO fue de excelente calidad, con valores de 0,91 para 1 – *VR*, 3,7 para *RPD* y ±1,9 % para el error de predicción *SECV*. La superioridad mostrada por NIRS sobre las ecuaciones empíricas en la predicción de DMO de henos de hierba se hace evidente al considerar que la ecuación NIRS seleccionada, comparada con la mejor ecuación química, aumentó el porcentaje de varianza explicada en validación cruzada desde 0,70 a 0,91 y redujo el error de predicción de la ecuación empírica a algo más de la mitad, desde ± 3,9 % a ± 1,9 %.

En cuanto a la predicción de la composición química de henos de hierba mediante NIRS, Jones *et al.* (1987) desarrollaron ecuaciones NIRS para estimar los contenidos en PB y FAD de henos de hierba, obteniendo valores del coeficiente de determinación en validación cruzada superiores a 0,70 y valores de *RPD* ligeramente inferiores a 2,0, mostrando una mediocre calidad predictiva. Para una colección de muestras húmedas de henolaje de hierba Shenk y Westerhaus (1993) obtuvieron una satisfactoria predicción NIRS del contenido en PB, mientras que la predicción de FAD fue de mala calidad, con valores de *RPD* en validación cruzada de 4,7 y 1,3 para las ecuaciones de predicción de PB y FAD, respectivamente. Coincidiendo con los resultados del presente trabajo, para una colección de 109 henos de alfalfa de la zona mediterránea, Andueza *et al.* (2001) reportan una excelente capacidad predictiva de las ecuaciones NIRS para estimar los contenidos en PB y FND, con valores de R^2 superiores a 0,90, siendo menos precisa la estimación de cenizas (CZ), con valores de R^2 próximos a 0,80. En este mismo trabajo, los citados autores indican que, para una población de 25 muestras de henos de alfalfa de tres cultivares diferentes procedentes de la zona de Aragón, que incluían distintos años, ciclos y estados fenológicos, en los que se determinó la digestibilidad *in vivo*, las calibraciones NIRS mostraron valores del coeficiente de determinación 1 – *VR*, del error de predicción *SECV* y del estadístico *RER* en validación cruzada de, respectivamente, 0,71, ± 1,65 % y 7,5 para DMS y de 0,87, ± 2,64 % y 9,7 para DMO. Para una colección de 90 muestras de heno y henolaje de hierba de granjas de Uruguay, Cozzolino *et al.* (2006) reportan una buena calidad predictiva de las ecuaciones NIRS para estimar el contenido en CZ, PB y FND, con valores de R^2 superiores a 0,90 y de 3,0; 3,0 y 2,0; respectivamente, mientras que la ecuación para la predicción de FAD con un valor de R^2 de 0,75 y de *RPD* de 1,5 fue menos precisa, indicando que el poder predictivo de NIRS decrece con la complejidad del parámetro analizado, lo cual no parece corresponderse con el mejor resultado obtenido en la estimación de FND, apuntando a un mayor error en la determinación de la FAD, en contra de lo que es habitual.

En un experimento realizado para evaluar la utilidad de la técnica NIRS para predecir la composición química y digestibilidad *in vivo* de forrajes de la región occidental de Canadá, Redshaw *et al.* (1986) desarrollaron ecuaciones NIRS sobre una colección de 82 muestras de henos de distintas especies herbáceas que permitieron estimar los contenidos en PB y FND con buena precisión, con valores en validación externa de $r^2 > 0,90$ y de *RPD* de 4,0 para PB y de 2,8 para FND, siendo de inferior calidad la predicción de FAD ($r^2 = 0,71$ y *RPD* = 1,7), mientras que la estimación mediante NIRS del valor de DMS *in vivo* de la colección, medida con ganado vacuno y ovino fue poco precisa, con valores de r^2 de 0,68 y 0,47, *RPD* de 1,7 y 0,7 y error de predicción de ± 2,4 % y ± 4,4 % para los valores de referencia de digestibilidad determinados con ganado vacuno y ovino, respectivamente. Flinn y Heazlewood (2000) y Flinn *et al*. (2000) desarrollaron ecuaciones NIRS para la predicción de la composición química y digestibilidad de henos representativos de diversos forrajes de Australia, reportando valores de R^2 y *RSD* (Error estándar residual) de, respectivamente, 0,54 y ± 3,41 % y de 0,63 y ± 3,04 % para las ecuaciones de predicción basadas en FAD y FND, respectivamente, siendo más exacta y precisa una ecuación NIRS que obtuvo valores de $R^2 = 0,70$ y *SECV* = ± 2,76 %.

Conclusiones

La tecnología NIRS mostró una capacidad predictiva de la DMO de henos de hierba superior a las ecuaciones empíricas basadas en parámetros químicos. Las ecuaciones NIRS obtenidas en el presente trabajo para la predicción de la composición química y el valor de DMO de henos de hierba son de utilidad para ser aplicadas en el análisis de muestras procedentes de explotaciones lecheras. Sin embargo la colección debe ser ampliada con nuevas muestras para aumentar su variabilidad, en particular con muestras de henos de mayor calidad nutricional, procedentes de rebrotes foliáceos y muestras de henos de especies leguminosas y mezclas de estas especies con gramíneas. La colección ampliada deberá ser objeto de validación externa con muestras independientes para verificar su robustez.

Agradecimientos

Trabajo financiado por el proyecto FEADER 2013/22 de la Xunta de Galicia.

Referencias bibliográficas

Abe A (1984). Assessment of the quality of forage from its chemical composition and application to feeding program. Tropical agriculture research series: Proceedings of a Symposium on tropical agriculture researches. Japan International Research Center for Agricultural Sciences 18: 133-150.

Aerts JV, De Brabander DL, Cottyn BG, Buysse FX (1977). Comparison of laboratory methods for predicting the organic matter digestibility of forages. Animal Feed Science and Technology 2: 337-349. https://doi.org/10.1016/0377-8401(77)90006-2.

Alexander RH, McGowan M (1966). The routine determination of *in vitro* digestibility of organic matter in forages. Grass and Forage Science 21: 140-147. https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.1966.tb00462.x.

Andueza D, Muñoz F, Garrido A (2001). The prediction of the nutritive value of Mediterranean alfalfa forage by NIRS. Options Méditerranéennes: Série A. Séminaires Méditerranéens 45: 199-203.

Aufrère J, Guérin H (1996). Critical review of chemical and enzymatic methods for the estimation of nutritive value in roughages. Annales de Zootechnie 45: 21-38.

Barnes RJ, Dhanoa MS, Lister SJ (1989). Standard normal variate transformation and de-trending of near infrared diffuse reflectance spectra. Applied Spectroscopy 43: 772-777. https://doi.org/10.1366%2F0003702894202201.

Bastianelli D, Bonnal L, Barre P, Nabeneza S, Salgado P, Andueza B (2018). La spectrométrie dans le proche infrarouge pour la caractérisation des ressources alimentaires. Ressources alimentaires pour les animaux d'élevage 31(3): 237-254. https://dx.doi.org/10.20870/productions-animales.2018.31.2.2330.

Carro MD, López S, González JS, Ovejero FJ (1994). Comparison of laboratory methods for predicting digestibility of hay in sheep. Small Ruminant Research 14: 9-17. https://doi.org/10.1016/0921-4488(94)90003-5.

Cherney DJR (2000). Characterization of forages by chemical analysis. En: Forage evaluation in ruminant nutrition (Eds. DJ Givens, E Owen, RFE Axford, HM Omed), pp 281-300. CAB International, Wallingford, Reino Unido. http://dx.doi.org/10.1079/9780851993447.0281.

Corson DC, Waghorn GC, Ulyatt MJ, Lee J (1999). NIRS: Forage analysis and livestock feeding. Proceedings of the New Zealand Grassland Association 61: 127-132. https://doi.org/10.33584/jnzg.1999.61.2340.

Cozzolino D, Fernández EG, Restaino EA, La Manna A (2006). Determinación de la composición química de heno mediante la espectrofotometría en el infrarrojo cercano (NIRS). Revista Argentina de Producción Animal 26: 203-209.

De Boever JL, Cottyn BG De Brabander DL, Vanacker JM, Boucqué ChV (1999). Equations to predict digestibility and energy value of grass silages, maize silages, grass hays, compound feeds and raw materials for cattle. Nutrition Abstracts and Reviews, Series B: Livestock Feeds and Feeding 69(11): 835-850.

FEDNA, Tablas de valor nutritivo de Forrajes y Subproductos fibrosos húmedos (2016). Calsamiglia *et al*. (Eds.), Fundación para el Desarrollo de la Nutrición Animal. Madrid, España. 93 pp.

Flinn PC, Heazlewood PG (2000). A uniform objective system for quality description of Australian fodder products. No. 00/134. Project No. DAV-104. Rural Industries Research and Development Corporation. Canberra, Australia.

Flinn PC, Heazlewood PG, Dalton SL (2000). Recent developments in improving the prediction of digestibility of feed grains. En: Near Infrared Spectroscopy: Proceedings of the 9th International Conference on Near-Infrared Spectroscopy. NIR Publications, Chichester, Reino Unido, pp. 745-748.

Flores-Calvete G, Martínez-Fernández A, Doltra J, García-Rodríguez A, Eguinoa-Ancha P (2017). Encuesta sobre estructura y sistemas de alimentación de las explotaciones lecheras de Galicia, Cornisa Cantábrica y Navarra. Informe del Proyecto INIA-RTA2012-00065-C05.

Goering HK, Van Soest PJ (1970). Forage fiber analysis (apparatus, reagents, procedures and some applications). Agriculture Handbook No. 379, USDA, Washington, EEUU. 20 pp.

INRA (2010). Alimentation des bovins, ovins et caprins. Besoins des animaux – valeurs des aliments. Tables INRA 2007. Institut National de la Recherche Agronomique, Éditions Quae, Versailles, Francia, 311 pp.

Jarrige R (1980). Chemical methods for predicting the energy and protein values of forages. Annales de Zootechnie, INRA/EDP Sciences 29: 299-323.

Jones GM, Wade NS, Baker JP, Ranck EM (1987). Use of Near Infrared Reflectance Spectroscopy in forage testing. Journal of Dairy Science 70: 1086-1091.

Khazaal K, Dentinho MT, Ribeiro JM, Ørskov ER (1995). Prediction of apparent digestibility and voluntary intake of hays fed to sheep: comparison between using fibre components, *in vitro* digestibility or characteristics of gas production or nylon bag degradation. Animal Production 61: 527-538. https://doi.org/10.1017/S1357729800014107.

López S, Dijkstra J, France J (2000). Prediction of energy supply in ruminants, with emphasis on forages. En: Forage Evaluation in Ruminant Nutrition (Ed. Givens DI, Owen E, Axford RFE), pp 63-94. CAB International, Wallingford, Reino Unido.

Lundberg KM, Hoffman PC, Bauman LM, Berzaghi P (2004). Prediction of forage energy content by Near Infrared Reflectance Spectroscopy and Summative Equations. The Professional Animal Scientist 20 (3): 262-269. https://doi.org/10.15232/S1080-7446(15)31309-7.

Mark H, Workman J (2003). Statistics in Spectroscopy. Elsevier, Academic Press, Amsterdam. 342 pp.

Martens H, Næs T (1987). Multivariate calibration by data compression. En: Near-infrared technology in the agricultural and food industries (Eds. Williams y Norris), pp. 57-88. American Association of Cereal Chemists, Inc. St. Paul, Minnesota, EEUU.

Massart DL, Vandeginste BGM, Buydens LMC, De Jong S, Lewi PJ, Smeyers-Verbeke J (1997). Handbook of Chemometrics and Qualimetrics, Part A. Data Handling in Science and Technology, volume 20, part A. Elsevier: Amsterdam. 886 pp.

Moss AR y Givens DI (1990). Chemical composition and in vitro digestion to predict digestibility of field-cured and barn-cured grass hays. Animal Feed Science and Technology 31: 125-138. https://doi.org/10.1016/0377-8401(90)90119-S.

Redshaw ES, Mathison GW, Milligan LP, Weisenburger RD (1986). Near infrared reflectance spectroscopy for predicting forage composition and voluntary consumption and digestibility in cattle and sheep. Canadian Journal of Animal Science 66: 103-115. https://doi.org/10.4141/cjas86-012.

Ribeiro JMCR, Moreira OMSC (1998). Comments on feed evaluation methods used in the project. En: Exploitation of Mediterranean roughage and by-products (Ed. Antongiovanni), p. 79-91. Options Méditerranéennes: Série B. Etudes et Recherches; nº 17. CIHEAM, Zaragoza, España.

Rohweder DA, Barnes RF, Jorgensen N (1978). Proposed hay grading standards based on laboratory analyses for evaluating quality. Journal of Animal Science 47(3): 747-759. https://doi.org/10.2527/jas1978.473747x.

Saeys W, Mouazen AM, Ramon H (2005). Potential for onsite and online analysis of pig manure using Visible and Near Infrared Reflectance Spectroscopy. Biosystems Engineering 91(4): 393-402. https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2005.05.001.

Shenk JS, Westerhaus MO (1991). Population definition, sample selection, and calibration procedures for near infrared reflectance spectroscopy. Crop Science 31: 469-474. https://doi.org/10.2135/cropsci1991.0011183X003100020049x.

Shenk JS, Westerhaus MO (1993). Near Infrared Reflectance Analysis with single and multiproduct calibrations. Crop Science 33(3): 582-584. https://doi.org/10.2135/cropsci1993.0011183X003300030032x.

Shenk JS, Westerhaus MO (1995). The application of near infrared reflectance Spectroscopy (NIRS) to forage analysis. En: Forage Quality, Evaluation, and Utilization (Ed. Fahey GC), pp. 406 449. A.S.A., C.S.S.A., S.S.S.A., Madison, EEUU.

Shenk JS, Workman JJ, Westerhaus MO (2001). Application of NIR spectroscopy to agricultural products. En: Handbook of Near Infrared Analysis (Eds. Burns DA y Ciurczak EW), pp. 419-474. Marcel Dekker, New York, EEUU.

Tilley JM, Terry RA (1963). A two-stage technique for the *in vitro* digestion of forage crops. Grass and Forage Science 18: 104-111. https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.1963.tb00335.x.

Van der Koelen CJ, Van Es AJH (1973). A comparison of some laboratory techniques for the estimation of digestibility of the organic matter in forage samples. Netherlands Journal of Agricultural Science 21: 199-205. https://doi.org/10.18174/njas.v21i3.17247.

Van Soest PJ, Robertson JB, Lewis BA (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysacchardes in relation to animal nutrition. Journal of Dairy Science 74(10): 3583-3597. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2.

Van Soest PJ (1994). Nutritional Ecology of the Ruminant, 2nd Ed. Cornell University Press, Ithaca.

Williams PC, Sobering DC (1996). How do we do it: a brief summary of the methods we use in developing near infrared calibrations. En: Near In-

frared Spectroscopy: The Future Waves (Eds. Davies AMC y Williams P), pp. 185-188. NIR Publications, Chichester, Reino Unido.

Williams PC (2001). Implementation of Near-Infrared technology. En: Near-infrared technology in the agricultural and food industries (Eds. Williams P y Norris K), pp 145-169. American Association of Cereal Chemists, Inc. St. Paul, Minnesota, EEUU.

Windham WR, Mertens DR, Barton II FE (1989). Protocol for NIRS calibration: sample selection and equation development and validation. En: Near Infrared Reflectance Spectroscopy (NIRS): Analysis of forage quality (Eds. Marten GC, Shenk JS, Barton FE), pp. 96-103. USDA Hand Book nº 643, Washington, D.C., EEUU.

(Aceptado para publicación el 15 de septiembre de 2021)

Valoración holística de la sostenibilidad en los sistemas lecheros de la España húmeda

Gregorio Salcedo[1,*] y Daniel Salcedo-Rodríguez[2]

[1] CIFP "La Granja", Barrio Estación, 25B, 39792 Heras, Cantabria, España
[2] INDRA, Dpto. Sistemas de información, Avda. de Bruselas 35, 28108 Alcobendas, Madrid, España

Resumen

El objetivo de este trabajo fue desarrollar un sistema de puntuación holístico que valorase aspectos relacionados con la calidad del producto (ICP_s) y del proceso (ICP_r) en la producción de la leche de las explotaciones lecheras de la cornisa cantábrica a partir del modelo de simulación DairyCant. El sistema de puntuación lo forman 66 variables agrupadas en los indicadores ambientales (19), suelo (9), purín (11), alimentación (14) para el ICP_s y nutritivo (5) y nutracéutico (8) para el ICP_r. Cada variable dentro de su indicador fue puntuada de 1 a 4 según sus rangos intercuartílicos, asignándose al 25 % de las explotaciones mejor valoradas para cada variable de calidad una puntuación de 4; entre el 25 % y 50 % una puntuación de 3; entre el 50 % y 75 % de 2 y más del 75 % de 1. La puntuación media de los indicadores que configuran cada índice de calidad, varía de 1 a 4 y definiendo a su vez la categoría de la explotación en mejorable (M), regular (R), buena (B) y excelente (Ex). El número de explotaciones participantes fueron 54, previamente seleccionadas por su tipología de alimentación ecológico (Eco); pastoreo convencional (PasCon); ensilado de hierba (EHba); ensilado maíz (EMz) y ensilado de hierba-ensilado de maíz (EHba-EMz). En general los resultados mostraron puntuaciones medias de 2,01 para ICP_s y 1,99 para ICP_r. El porcentaje de explotaciones de la muestra, clasificadas como M, R, B y Ex para ICP_s e ICP_r fue del 24,1-24,1 %; 37-35,2 %; 27,8-27,8 % y el 11,1-13 % respectivamente. Entre tipologías el 20 % de las explotaciones Eco fueron clasificadas como B y Ex; el 50 % de PasCon; el 33,3 % de EHa; el 45,5 % de EMz y el 41,7 % en EHba-EMz para ICP_s. El 30 % de las explotaciones Eco fueron clasificadas como R y B; el 33,4 % para PasCon; el 11,1 % en EHa; el 54,6 % de EMz y el 66,6 % para EHba-EMz para ICP_s.

Palabras clave: Puntuación, tipología alimentación, vacuno leche, calidad del proceso, calidad del producto.

A holistic assessment of sustainability in dairy systems in the humid climate of Nort Spain

Abstract

The aim of this work was to develop a holistic scoring system that would assess aspects related to product quality (ICP_s) and the process (ICP_r) in the milk production from dairy farms on the Cantabrian coast, using the simulation model DairyCant. The scoring system is made up of 66 variables grouped into the indicators: environment (19), soil (9), slurry (11), feed (14) for the ICP_s; nutritional (5) and nutraceutical (8) for the ICP_r. Each variable within its indicator was scored from 1 to 4 according to its interquartile

* Autor para correspondencia: gregoriosal57@gmail.com

Cita del artículo: Salcedo G, Salcedo-Rodríguez D (2022). Valoración holística de la sostenibilidad en los sistemas lecheros de la España húmeda. ITEA-Información Técnica Económica Agraria 118(3): 396-426. https://doi.org/10.12706/itea.2021.032

ranges, assigning a score of 4 to the 25 % of the best valued farms; between 25 % and 50 % a score of 3; between 50 % and 75 % of 2 and more than 75 % of 1. The average score of the indicators that make up each quality index varies from 1 to 4 and in turn defines the category of explotation as improvable (M), fair (R), good (B) and excellent (Ex). The number of participating farms were 54 and corresponded to organic (Eco); conventional grazing (PasCon); grass silage (EHba); corn silage (EMz) and grass silage-corn silage (EHba-EMz). In general, the results showed mean scores of 2.01 for ICP_s and 1.99 for ICP_r. The percentage of farms in the sample classified as M, R, B and Ex for ICP_s and ICP_r was 24.1-24.1 %, 37-35.2 %, 27.8-27.8 % and 11, 1-13 % respectively. Among typologies, 20 % of the Eco farms were classified as B and Ex; 50 % of PasCon; 33.3 % EHba; 45.5 % of EMz and 41.7 % in EHba-EMz for ICP_s. 30 % of the Eco farms were classified as R and B; 33.4 % for PasCon; 11.1 % in EHba; 54.6 % for EMz and 66.6 % for EHba-EMz for ICP_s.

Keywords: Score, feeding typology, dairy cattle, process quality, product quality.

Introducción

La FAO (2011) señala a la sanidad animal, la higiene del ordeño, la nutrición, el bienestar animal, el medioambiente y la gestión socioeconómica como elementos de Buenas Prácticas Agrícolas para lograr aspectos de producción y calidad del producto satisfactorio.

Actualmente, los desafíos medioambientales están integrados cada vez más en la Política Agrícola Común (PAC) de la Unión Europea. El Marco de la PAC Europea 2020 define nuevas reglas para los ganaderos y objetivos sobre innovación, eficiencia de recursos, viabilidad económica y sostenibilidad ambiental (Creemers *et al.*, 2019). El debate sobre la agricultura sostenible se ha centrado en la explotación, el ganadero y el impacto de las diferentes prácticas, entre otras el uso de la tierra (Ilbery y Maye, 2005). Sin embargo, la sostenibilidad debe verse en términos de un sistema agroalimentario más amplio Ilbery y Maye (2005). En el pasado, los objetivos de producción se basaron en la maximizar la ganancia. Sin embargo, se ha reconocido que la situación actual es más compleja. Los ganaderos se enfrentan a una presión creciente para ser más sostenibles desde el punto de vista medioambiental y a las crecientes incertidumbres del mercado que tienden a debilitar su viabilidad económica. La percepción que tienen los ganaderos de las opciones de mejoras afecta la toma de decisiones estratégicas (Methorst *et al.,* 2016).

El porcentaje de leche producido en la Cornisa Cantábrica incluida Navarra fue del 58,7 % en el año 2018 (MAPAMA, 2018). La intensificación del sector lechero en estas comunidades se caracteriza entre otros, por aumentos de la carga ganadera, un mayor consumo de concentrado y mejoras genéticas del rebaño (Alvarez *et al.,* 2008). El aumento de la productividad puede mejorar el margen económico por litro de leche incurriendo a su vez, en costes sociales y ambientales (Clay *et al.,* 2019).

El proyecto INIA-RTA2012-00065-C05 analizó entre otros el grado de intensificación, tecnificación, eficiencia y manejo de las explotaciones lecheras de la España húmeda según su tipología de alimentación (Flores-Calvete *et al.,* 2017). Posteriormente y sobre aquellas, en el proyecto INIA-RTA2015-00058-C06 se estudiaron aspectos de la sostenibilidad, implicando entre otros la gestión del purín, la alimentación del rebaño y las emisiones de gases de efecto invernadero, utilizando diferentes modelos de simulación como el FarmAC (Hutchings *et al.,* 2018); $SIMS_{DAIRY}$ (del Prado *et al.,* 2013); BARFARM (Aguilar *et al.,* 2014); NAIA (del Hierro *et al.,* 2020) y DairyCant (Salcedo, 2015). El $SIMS_{DAIRY}$, BARFARM y NAIA quienes

valoran entre otros, algunos impactos ambientales como la huella de carbono y nitrógeno total pero no la hídrica ni energética, aspectos éstos implicados en la calidad del proceso. El BARFARM, NAIA y FarmAC no evalúan la nutrición del ganado ni la producción forrajera ($SIMS_{DAIRY}$, BARFARM y NAIA). Sin embargo, el DairyCant estima aspectos ambientales, nutricionales del ganado, producción forrajera, la calidad nutritiva y nutracéutica, estos últimos incluidos en la calidad del producto. Los impactos ambientales varían ampliamente según el clima y las prácticas de producción utilizadas (Rotz, 2020) y metodología usada (Lampridi *et al.,* 2019), por lo que es necesario contemplarlos.

Los objetivos de este trabajo fueron los de analizar y puntuar el grado de sostenibilidad de cincuenta y cuatro explotaciones lecheras de la España húmeda, a partir de los índices de calidad del proceso y del producto utilizando el modelo DairyCant.

Material y métodos

Explotaciones

Un total de 54 explotaciones ganaderas pertenecientes a cinco tipologías de alimentación, previamente clasificadas en el proyecto INIA-RTA 2012-00065-C05 (Tabla 1) fueron seleccionadas. Los ganaderos fueron encuestados *in situ* durante el año 2018 (ver material complementario) sobre cuestiones relacionadas con: i) localización de la explotación, ii) base territorial y distribución forrajera, iii) fertilización, iv) composición y manejo del rebaño, v) alimentación de los animales, vi) producción y composición química de la leche; vii) consumo de energía y viii) información complementaria como análisis químicos de alimentos, purines y suelos.

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

	Galicia	Asturias	Cantabria	Navarra	Total
Ecológicas (Eco)	2	3	4	1	10
Pastoreo-Convencional (PasCon)	4	3	2	3	12
Ensilado hierba (EHba)	3	3	3	–	9
Ensilado maíz (EMz)	5	3	3	–	11
Ensilado hierba-Ensilado maíz (EHba-EMz)	5	3	–	4	12
Total	19	15	12	8	54

[1]: Proyecto INIA-RTA 2012-00065-C05.

Descripción del DairyCant

El DairyCant es un modelo empírico basado en la investigación y el análisis estadístico que simula aspectos relacionados con el manejo, la producción y la salud medioambiental de las explotaciones de vacuno lechero (Fi-

gura 1). El modelo fue creado al amparo del Gobierno de Cantabria dentro de los Proyectos de Innovación Tecnológica y financiado por la Consejería de Educación, Cultura y Deporte. Esta herramienta simula las interacciones de manejo, clima y sistema de producción de los sistemas lecheros como: i) potencial forrajero de la explotación y su destino (heno, ensilado o aprovechamiento a diente); ii) balance de entradas y salidas de nitrógeno (N) y fósforo (P), así como las pérdidas potenciales en el sistema suelo-planta-animal de la explotación ganadera; iii) requerimientos nutritivos; estimación del consumo de pasto; valoración potencial de la producción de leche a partir de la dieta establecida; producción de estiércol, excreción de N y P y sus eficiencias; iv) valoración de gases de efecto invernadero (GEI) y almacenamiento potencial de C en el suelo; v) valoración de indicadores ambientales de la explotación como el potencial de eutrofización y acidificación, huellas de N total, reactivo, energética, hídrica y ocupación del territorio entre otros.

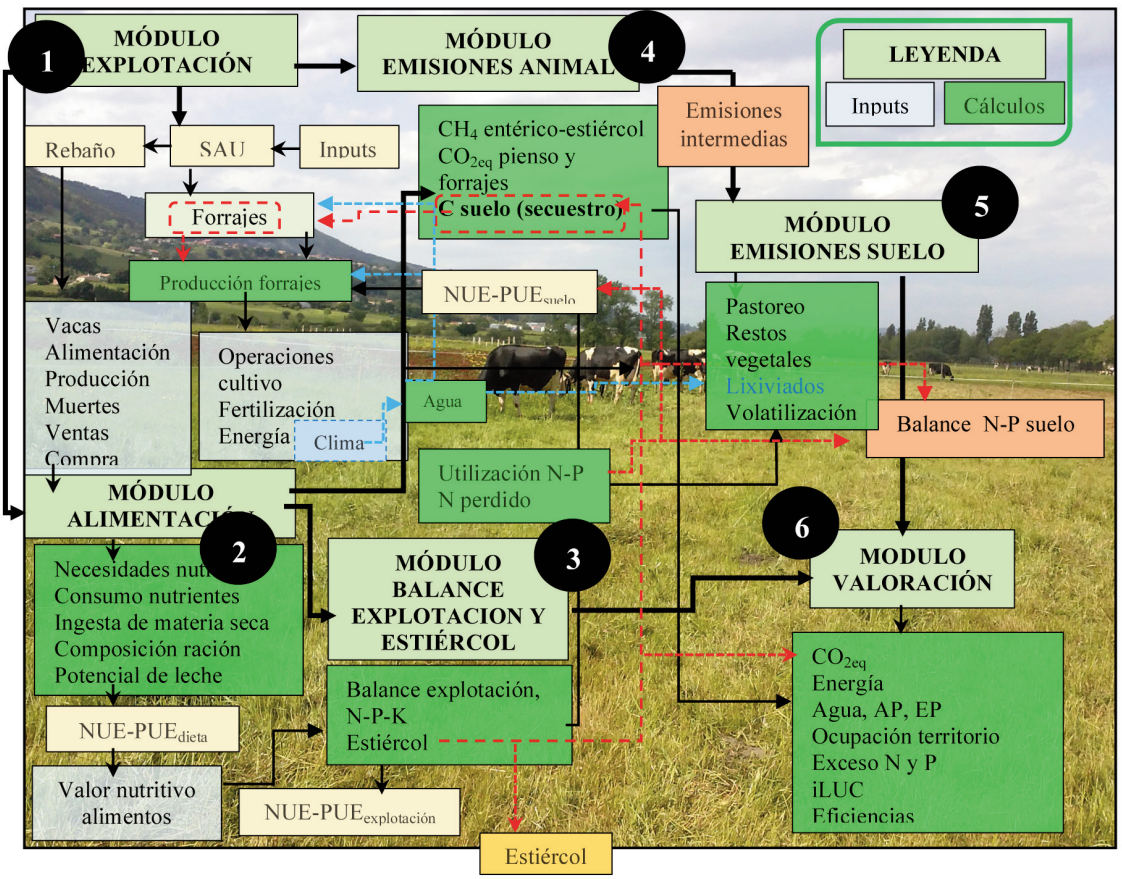


Figura 1. Modelo de simulación DairyCant.
Figure 1. *DairyCant simulation model.*

El modelo está formado por los módulos: i) explotación; ii) alimentación; iii) balance explotación y estiércol; iv) emisiones de origen animal; v) emisiones de suelo y vi) valoración.

Módulo de explotación

- Animales: distribuidos en vacas lecheras, secas, novillas menores y mayores de un año. La carga ganadera se expresa en UGM ha^{-1}.
- Superficie, dedicación y producción: solamente se considera la superficie utilizada por los animales. Las operaciones de cultivo, la fertilización y los rendimientos por hectárea de los cultivos forrajeros incluidos los prados son proporcionados por el ganadero (material complementario), por defecto el DairyCant estima la producción de biomasa a partir de las ecuaciones indicadas por Salcedo (2020).
- Energía: el consumo de gasóleo es señalado por el ganadero, por defecto el DairyCant asume 75 l en los sistemas lecheros extensivos y de 100 l en los intensivos.

Módulo alimentación

- Alimentos: el modelo incluye la composición químico-bromatológica de forrajes producidos en Cantabria y los concentrados fueron tomados de FEDNA.
- Alimentación: el DairyCant compara el contenido nutritivo de las dietas con los requerimientos teóricos (NRC, 2001) en función del estado productivo de los animales clasificados en: i) vacas ordeño; ii) vacas secas; iii) novillas menores y mayores de un año. Las necesidades son estimadas a partir del peso vivo (kg); producción de leche (litros día); grasa (%); proteína (%); semana de lactación; cambio de peso (kg d^{-1}) tanto en sistemas intensivos como en pastoreo. La ingestión de materia seca (MS) teórica fue estimada según el NRC (2001), mientras que el consumo de pasto fue modelizado a partir de experimentos de pastoreo llevados a cabo por (Salcedo, 2006), señalándose las ecuaciones correspondientes a prados y praderas sembradas (Tabla 2).
- Eficiencia del uso del N (NUE) y P (PUE) de la dieta: porcentaje del N y P excretado en leche respecto al N o P ingerido. El N excretado en leche como: [(litros de leche por día × el porcentaje de proteína) / 6,38]; mientras la concentración de P se asumió el valor de 0,973 kg /1000 kg de leche señalado por el INRA (1981). La proteína degradable, indegradable y soluble de la hierba verde fue tomada de Salcedo (2000), la de los ensilados de hierba y de maíz (Salcedo, 2007) y los concentrados de FEDNA.
- Eficiencia alimenticia en las vacas lecheras (VL) y conjunto del rebaño (CR): litros de leche corregida por grasa (ECM), según Sjaunja *et al.* (1990), por kilo de materia seca ingerida vaca y día en las vacas lecheras, y litros leche por kilo de materia seca ingerida al día en el conjunto de animales presentes en la explotación.
- Perfil de ácidos grasos: saturados (AGS); ácidos grasos monoinsaturados (AGMI); ácidos grasos poliinsaturados (AGPI); Ω3; Ω6; Ω6/Ω3; ácido linoleico conjugado (CLA) y AGPI/AGS. El DairyCant contempla las ecuaciones señaladas por Coppa *et al.* (2013).
- Urea en leche: es estimada por el DairyCant a partir de las ecuaciones señaladas en la Tabla 2 para los sistemas de producción de lechera de Pastoreo y Extensivo, Intensivo y Semiintensivo.

Módulo balance nutrientes y estiércol

- Balance de N y P de la explotación: las entradas de N-P consideradas fueron la compra de alimentos, fertilizantes, animales, N atmosférico y el N fijado por las leguminosas y las salidas, la leche y la venta de animales. Se asumieron contenidos de 15,6 kg

Tabla 2. Ecuaciones y factores de emisión utilizados por el DairyCant en los diferentes procesos de producción.
Table 2. Equations and emission factors used by DairyCant in the different production processe.

		Unidad	Referencia
Ingestión de pasto			
Extensivos	11,87 – 0,41 kg MS pienso VL d + 0,002 MS oferta ha^{-1} – 0,067 Carga instantánea – 0,69 (Kg MS ensilado hierba + ensilado maíz) ± 1,32 r^2= 0,71	Kg MS VL $día^{-1}$	Salcedo (2006)
Heces-Orina			
Extensivas $_{(Primavera-Verano)}$			
Heces (H_{MS})	11,4 – (0,55 kg MOD) + (0,22 kg FND); ± 0,56 r^2 = 0,70	Kg MS d^{-1} y kg d^{-1}	Salcedo (2006)
Orina (O_{Litros})	0,20 + (6,28 kg PB); ± 3,09 r^2 = 0,54	Litros vaca $día^{-1}$	Salcedo (2006)
Extensivas $_{(Otoño)}$			
Heces (H_{MS})	7,19 – (0,31 kg FND); ± 0,54 r^2 = 0,32	Kg MS d^{-1} y kg d^{-1}	Salcedo (2006)
Orina (O_{Litros})	1,74 + (6,81 kg PB); ± 4,25 r^2 = 0,57	Litros vaca $día^{-1}$	Salcedo (2006)
Extensivas $_{(Invierno)}$			
Heces (H_{MS})	–2,04 + (0,41 kg MS); ± 0,5 r^2 = 0,74	Kg MS d^{-1} y kg d^{-1}	Salcedo (2006)
Orina (O_{Litros})	0,38 + (7,74 kg PB); ± 3,9 r^2 = 0,69	Litros vaca $día^{-1}$	Salcedo (2006)
Semiintensivas e Intensivas			
Heces (H_{MS})	2,04 + (0,41 $MS_{ingerida}$, kg d^{-1}); ± 0,5 r^2 = 0,74	Kg MS d^{-1} y kg d^{-1}	Salcedo (2006)
Orina (O_{Litros})	1,74 + (6,81 $PB_{ingerida}$, kg d^{-1}); ± 4,25 r^2 = 0,57	Litros vaca $día^{-1}$	Salcedo (2006)
N Heces (H_N)	–41,13 + (0,24 g N ingerido); ± 15,7 r^2 = 0,94	g N vaca $día^{-1}$	Salcedo (2006)
N Orina (O_N)[1]	–8,91 + (0,35 g N ingerido); ± 32,6 r^2 = 0,46	g N vaca $día^{-1}$	Salcedo (2006)
P Heces y Orina	–13,9 + (0,71 P ingerido)	g P vaca $día^{-1}$	Salcedo (2006)
Urea leche			
Pastoreo y Extensivo (Pa-Ex)	1,9 + (1,38 % PB) + (0,14 % CNF) - (0,13 % DMO); ± 4,4 r^2= 0,55	mg dl^{-1} leche	–
Intensivo (In)	–3,47 + (0,11 g PB kg MS) + (2,38 ENL kg MS); ± 1,11 r^2= 0,86	mg dl^{-1} leche	–
Semi-intensivo (Se)	3,17 + (1,42 % PB) + (0,059 % CNF) – (0,209 kg concentrado día) – (0,472 g PB MJ EM); ± 1,19 r^2= 0,78	mg dl^{-1} leche	–

Tabla 2. Ecuaciones y factores de emisión utilizados por el DairyCant en los diferentes procesos de producción (continuación).
Table 2. Equations and emission factors used by DairyCant in the different production processe (continuation).

		Unidad	Referencia
CH_4			
CH_4 entérico			
Extensivas (P-V)	4,13 + (0,82 kg MOD + 0,34 kg FND) / 55,6; ± 0,38 r^2= 0,96	Kg CH_4 vaca lechera día^{-1}	Salcedo (2012)
Extensivas (O)	3,85 + (0,89 kg MOD + 0,29 kg FND) / 55,6; ± 0,34 r^2= 0,96	Kg CH_4 vaca lechera día^{-1}	Salcedo (2012)
Extensivas (I)	(Kilos de materia seca ingerida / 55,6) × UGM ha^{-1} × 30 días mes	Kg CH_4 vaca lechera día^{-1}	Salcedo (2012)
Semiintensivas	(6,28 + 0,52 MO + 0,096 ENL) / 55,6; ± 0,50 r^2=0,84	Kg CH_4 vaca lechera día^{-1}	Salcedo (2012)
Intensivas	(4,50 + 0,097 MO + 0,057 ENL + 0,66 FAD + 0,55 MOD) / 55,6; ± 0,38 r^2=0,91	Kg CH_4 vaca lechera día^{-1}	Salcedo (2012)
VS y novillas	50	Kg CH_4 año^{-1}	Cederberg y Flysjö (2004)
CH_4 estiércol	Estiércol ha^{-1} × % MS purín × SV × B_o × 0,67 kg m^3 × MCF	Kg ha^{-1}	IPCC, (2006)
iLUC	143	g CO_2 m^{-2}	Audsley *et al.* (2009)
Soja	2,98	Kg CO_2 kg^{-1}	Battini *et al.* (2016)
NH_3			
Establo y estercolero	0,1	Kg N-NH_3 kg^{-1} N $_{heces + orina}$	De Vries *et al*., 2011
Pastoreo	0,12	Kg N-NH_3 kg^{-1} N	Goossensen y Van den Ham (1992)
Reparto purín	0,19	kg N-NH_3	De Vries *et al*. (2011)
Fertilizantes	0,025	kg N-NH_3 kg^{-1} N aplicado	De Vries *et al*. (2011)
NO			
Establo y estercolero	0,0015	kg N-NO kg^{-1} N-NH_3 excretado	Oenema *et al*. (2001)
Pastoreo	0,21	kg N-NO kg^{-1} N-NH_3 excretado	De Vries *et al.* (2011)
Reparto purín	0,21	kg N-NO kg^{-1} N	De Vries *et al*. (2011)
Fertilizantes	0,0055	kg N-NO kg^{-1} N-NH_4 aplicado	Stehfest y Bouwman (2006)
Residuos cosechas	0,21	kg N-NO kg^{-1}	Eco-invent (2007)

Tabla 2. Ecuaciones y factores de emisión utilizados por el DairyCant en los diferentes procesos de producción (continuación).
Table 2. Equations and emission factors used by DairyCant in the different production processe (continuation).

		Unidad	Referencia
N_2			
N_2 pastoreo	3	kg N-N_2 kg^{-1} N-N_2O emitido en pastoreo	Webb (2001)
N_2 fertilizantes orgánicos e inorgánicos	3	kg N-N_2 kg^{-1} N-N_2O	Webb (2001)
N_2 fijación simbiótica	0,0125	kg N-N_2 kg^{-1} N fijado	Pauraudeau *et al*. (2006)
N_2O			
Suelo	0,9	kg N_2O ha^{-1} año^{-1}	Velthof *et al*. (1996)
Establo y estercolero	0,0015	kg N-N_2O kg^{-1} NH_3	De Vries *et al*. (2011)
Pastoreo	0,025	kg N-N_2O kg^{-1} N excretado	Schil *et al*. (2006)
Fertilizantes	0,01	g N-N_2O kg^{-1} N aplicado	Velthof y Mosquera (2011)
N_2O aplicación purín	0,003	g N-N_2O kg^{-1} N	Velthof y Mosquera (2011)
Lixiviado	25	g N-N_2O kg^{-1} N lixiviado	Velthof y Oenema (1997)
Volatilización	5	g N-N_2O kg^{-1} N volatilizado	Velthof y Oenema (1997)
Fijación biológica	5	g N-N_2O kg^{-1} N fijado	Velthof y Oenema (1997)
Restos vegetales	0,01	kg N-N_2O kg^{-1} N	IPCC (2006)
Compra de fertilizantes	5	g N-N_2O kg^{-1} N	Kaspar y Tiedje (1981)
Compra forrajes	20	g N-N_2O kg^{-1} N	Velthof y Oenema (1997)
Compra piensos	10	g N-N_2O kg^{-1} N	Velthof y Oenema (1997)
Potencial acidificación	SO_2-eq = 1; NO_x = 0,7; NH_3 = 1,89	SO_2-eq	Audsley *et al.* (1997
Potencial eutrofización	NO_3-eq = 1; NO_x = 1,35; NH_3 = 3,64 y PO_4^-	NO_3^--eq	Weidema *et al*. (1996)
Huella energética			
Diésel (D)	48,2	MJ kg^{-1}	Bos *et al.* (2014)
Lubricantes (D)	50,8	MJ kg^{-1}	Mombarg *et al.* (2003)
Electricidad (D)	9,5	MJ KWh^{-1}	Bos *et al.* (2014)

Tabla 2. Ecuaciones y factores de emisión utilizados por el DairyCant en los diferentes procesos de producción (continuación).
Table 2. Equations and emission factors used by DairyCant in the different production processe (continuation).

		Unidad	Referencia
Labores agrícolas l gasóleo ha^{-1} – Tiempo ocupación (%)			
Vertedera	18 - (5%)	MJ ha^{-1}	Consumo de gasóleo datos propios
Fresadora	15 - (5%)	MJ kg^{-1}	
Fresadora + Sembradora	17 - (5%)	MJ €$^{-1}$	
Sembradora	7 - (5%)	MJ €$^{-1}$	
Cuba purín	8 - (60%)	MJ €$^{-1}$	
Abonadora	2 - (2%)	MJ kg^{-1}	
Rotoempacadora	6 - (25%)	MJ kg^{-1}	
Segadora Rotativa	6 - (25%)	MJ kg^{-1}	
Autocargador	2 - (30%)	MJ kg^{-1}	
Hilerador	1,5 - (3%)	MJ ha^{-1}	
Carro mezclador	5 - (40%)	Mj $hora^{-1}$	
Fertilizantes, N-P-K	40-30-10	MJ kg^{-1}	Brentrup y Pullière (2008)
Forraje comprado	2,7	MJ kg^{-1}	Bos *et al.* (2014)
Labores contratadas	10,6	MJ €$^{-1}$	Bos *et al.* (2014)
Semillas	19,6	MJ €$^{-1}$	Bos *et al.* (2014)
Biocidas	19,2	MJ €$^{-1}$	Bos *et al.* (2014)
Plásticos	87	MJ kg^{-1}	Mombarg *et al.* (2003)
Herbicidas	267,5	MJ kg^{-1}	Mombarg *et al.* (2003)
Fungicidas	176	MJ kg^{-1}	Mombarg *et al.* (2003)
Insecticidas	217,4	MJ kg^{-1}	

Mombarg *et al.* (2003)H: kg materia seca (MS), heces vaca y día; L: volumen de orina, litros día; P: primavera; V: verano; O: otoño; I: invierno; VS: vacas secas; MOD: materia orgánica digestible, kg d^{-1}; MO: materia orgánica, kg d^{-1}; ENL: energía neta leche, Mcal d^{-1}; FAD: fibra ácido detergente, kg d^{-1}; FND: fibra neutro detergente; SV: sólidos volátiles; Bo: metano potencial; Metano potencial: 0,241 m^3 CH_4 kg^{-1} de sólidos volátiles (SV) para vacas y 0,171 m^3 CH_4 en novillas de reemplazo; MCF: factor de conversión del metano, 10 %; ee asume un valor del 10,6 % en el contenido de MS del purín (Salcedo, 2011); Se asume un valor del 10,6 % en el contenido de MS del purín (Salcedo, 2011); iLUC: uso indirecto del suelo.

N y 5,5 kg de P para las vacas adultas compradas o vendidas y, de 2,2 kg de N y 1,24 kg P en terneros de 75 kg de peso vivo (INRA, 1981). El N atmosférico 10 kg ha^{-1} y año (Brentrup *et al.,* 2000) y el N fijado por las leguminosas según (Christelle *et al.,* 2006).

– Producción de estiércol*:* las ecuaciones del volumen de purín (heces y orina) y su contenido en N y P según el sistema de producción figuran en la (Tabla 2).

Módulo emisiones de origen animal

El CH_4 entérico fue valorado por el DairyCant según el sistema de producción en extensivo, semi-intensivo e intensivo a partir de las ecuaciones señaladas en la Tabla 2 (Salcedo, 2012), asumiéndose 50 kg de CH_4 entérico y año para vacas secas y novillas (Cederberg y Flysjö 2004). El metano del estiércol según el IPCC (2006) (Tabla 2).

Los factores de emisión del NH_3, NO, N_2 y N_2O asumidos por el DairyCant vienen señalados en la Tabla 2.

Módulo emisiones del suelo

Las emisiones de N_2O del suelo fueron clasificadas en directas e indirectas. Las primeras se asocian al reparto de purín, fertilizantes y restos vegetales con los factores de emisión de 0,003 g N-N_2O kg^{-1} N; 0,01 g N-N_2O kg^{-1} N y 0,01 g N-N_2O kg^{-1} N (Velthof y Mosquera, 2011). El purín aplicado es la diferencia entre el producido y el excretado en pastoreo, multiplicado por la carga ganadera. Las emisiones indirectas contemplan la volatilización del NH_3 (5 g N-N_2O kg^{-1} N volatilizado (Velthof y Oenema, 1997) y la lixiviación después de aplicar N orgánico e inorgánico al suelo de 25 g N-N_2O kg^{-1} N lixiviado (Velthof y Oenema, 1997). El NO_3^- lixiviado fue estimado como una función del N total aplicado por hectárea y del volumen de agua drenada, estimada a partir de la $ETP_{corregida}$ (Thornthwaite, 1948) menos las precipitaciones.

Emisiones y cálculos intermedios entre las de origen animal y las del suelo

Otras emisiones indirectas fueron la compra de fertilizantes, considerando un factor de emisión de 5 g N_2O kg^{-1} N fertilizante (Kaspar y Tiedje, 1981) y la compra de forrajes y concentrados con factores de 20 g N kg^{-1} N y 10 g N kg^{-1} N comprado (Velthof y Oenema, 1997). La adquisición de bienes y servicios llevan aparejadas emisiones de CO_2 consideradas como intermedias (Figura 1), entre ellas, el gasóleo y la electricidad (3,31 kg CO_2 l^{-1} y 0,65 kg CO_2 KWh^{-1}, (Nielsen *et al.,* 2003); fertilizantes 6,2; 0,93 y 0,51 kg CO_2 kg^{-1} N, P_2O_5 y K_2O, respectivamente (IPCC, 2006); forrajes y piensos, 0,2 kg CO_2 kg^{-1} y 0,3 kg CO_2 kg^{-1} (Rotz *et al.,* 2012); plásticos (2 kg CO_2 kg^{-1}; IPCC, 2006); compra de animales (11 kg CO_2 kg^{-1} peso vivo; Rotz *et al.,* 2012) y los pesticidas se asume un valor medio de 22,2 kg CO_2 ha^{-1} (IPCC, 2006).

El DairyCant contempla como cálculos intermedios el balance de N y P en el suelo, a partir de la diferencia de entradas y salidas en kg ha^{-1}. Las entradas del N: orgánico + inorgánico + atmosférico + fijación simbiótica + reciclado + de origen mecánico; las del P: orgánico + inorgánico + de origen mecánico. Las salidas de N: las extracciones de los cultivos + NH_3 + NO + N_2 + N_2O + NO_3, y para el P sólo las extracciones, señalándose los factores de emisión en la Tabla 3. La eficiencia del uso del N y P del suelo, en porcentaje, como: [100 × (extracciones – residuos vegetales)] / (Entradas – Balance).

Módulo valoración

– Huella de carbono de la leche: las unidades funcionales utilizadas por el DairyCant son las de 1 ha, 1 UGM y 1 l de leche corregido por grasa (Sjaunja *et al.,* 1990), expresadas en CO_{2e}, considerando 21 el equivalente del CH_4, 1 para el CO_2 y 310 el N_2O. La huella parcial (HP) por litro de leche fue valo-

Tabla 3. Indicadores, aspectos de calidad e índices de calidad del proceso y del producto utilizados en este estudio.
Table 3. Indicators, quality aspects and quality indices of the process and the product used in this study.

Indicadores de calidad[1]					
Ambiente (IA_{mb}), n = 19 Simulado	Suelo (IS_{ue}), n = 9 Medido	Purín (IP_{ur}), n = 11 Medido	Alimentación (IA_{lm}), n = 14 Simulado	Nutritivo (IN_{u}), n = 5 Medido	Nutracéutico (IN_{ut}), n = 8 Simulado
Índice de calidad[2]					
Calidad del proceso (ICP_s)			Calidad del producto (ICP_r)		
Variables					
Huella carbono parcial[3]	Conductividad	Conductividad	ENL	Grasa	AGS
Huella carbono total[3]	Materia orgánica	pH	PB	Proteína	AGMI
Secuestro carbono[1-2]	pH	Densidad	$PB_{soluble}$	Urea	AGPI
iLUC[3]	P	Materia seca	PDR	EL_{VL}	Ω3
CO_2 soja[3]	K	Cenizas	PNDR	EL_{CR}	Ω6
Huella hídrica[3]	Ca	N	FAD	–	Ω6/Ω3
Agua azul+gris[3]	Mg	$N\text{-}NH_3$	FND	–	CLA
Huella energética directa[3]	Al	Ca	CNF	–	AGPI/AGS
Huella energética indirecta[3]	N	Mg	Almidón	–	–
Huella energética total[3]	–	K	GB	–	–
Huella N total[3]	–	P	Ca	–	–
Huella N reactivo[3]	–	–	P	–	–
Potencial acidificación[3]	–	–	Mg	–	–
Potencial eutrofización[3]	–	–	K	–	–
Ocupación territorio off[3]	–	–	–	–	–
Ocupación territorio on[3]	–	–	–	–	–
Ocupación total[3]	–	–	–	–	–
Exceso N[3]	–	–	–	–	–
Exceso P[3]	–	–	–	–	–

[1] Puntuación 1-4

[2] Evaluado como: Excelente (Ex); Media (M); Regular (R) y Mejorable (M)

[3] Por litro de leche ECM; iLUC: uso indirecto del suelo; ENL: energía neta lactación; PB: proteína bruta; PDR: proteína degradable en rumen; PNDR: proteína no degradable en rumen; FAD-FND: fibras ácido y neutro detergente; CNF: carbohidratos no fibrosos; GB: grasa bruta; EL_{VL}: Eficiencia alimenticia leche sólo vacas lecheras; EL_{CR}: Eficiencia alimenticia leche conjunto rebaño; AGS: ácidos grasos saturados; AGMI: ácidos grasos monoinsaturados; AGPI: ácidos grasos poliinsaturados; CLA: ácido linoleico conjugado.

rada como: Σ (CH_4 + CO_2 + N_2O) y la huella total (HT) como: Σ (HP + SO + iLUC – SC). La huella total (HT) es la suma HP, más las emisiones atribuidas a la soja (SO), al uso indirecto del suelo (iLUC) menos el secuestro de carbono (SC). Además de leche, las explotaciones de vacuno lechero venden carne (terneros, vacas de desecho y animales para vida), asignándoles tanto a leche como a carne un porcentaje de las emisiones totales Cederberg y Stading (2003). El método de asignación usado fue el indicado por IDF (2010) a partir de la fórmula AF = 1 – 5,7717 × R; siendo AF el factor de asignación; R = M carne/M leche; M carne = suma de peso vivo vendido de todos los animales por hectárea y M leche = es la suma de la leche vendida por hectárea.

– Cambio de uso indirecto del suelo (iLUC), a emisiones de la soja y secuestro de carbono: las emisiones de la superficie cultivada se le asignó el factor 143 g CO_2 m^{-2} $año^{-1}$ (Audsley *et al.,* 2009) y 2,98 kg CO_2 kg^{-1} de soja importada (FAO, 2011) citado por Battini *et al.* (2016). El secuestro de carbono fue definido por Salcedo (2020).

– Huella hídrica total: es la suma de agua verde, azul y gris (Chapagain y Hoekstra, 2003 y 2004), estimada a partir del agua utilizada en la producción de alimentos ($agua_{pa}$), la compra de alimentos ($agua_{ca}$), la de bebida ($agua_{be}$) y la de limpieza ($agua_{lp}$). El agua utilizada por los forrajes de producción propia se calculó a partir del modelo CROPWAT® (FAO, 2009). El agua verde, azul y gris de los alimentos comprados según (Mekonnen y Hoekstra, 2012); la de bebida (Thomson *et al.,* 2007) asignándose 2,2 l de agua de limpieza por litro de leche producido, estimado como la diferencia entre el gasto en euros por m^3 de agua menos la de bebida. La suma del agua azul y gris es definida en este trabajo como huella hídrica parcial (HH_p).

– La huella energética total (HE_t): se clasificó en directa (HE_d) e indirecta (HE_{in}), ambas expresada en MJ litro de leche ECM. La primera la forman el gasóleo (l $año^{-1}$), lubricantes (l $año^{-1}$) y la electricidad en KWh o € $año^{-1}$. El DairyCant asume por defecto 75 l de gasóleo en las tipologías más extensivas (Eco, PasCon, PePa y EHba) y de 100 l los intensivos (EMz y EMz-EHba). La indirecta formada la compra de fertilizantes, alimentos, semillas, plásticos, medicamentos, fitosanitarios y labores contratadas calculado a partir de los coeficientes de energía señalados por (Bos *et al*., 2014) e indicados en la Tabla 2.

– Huella de nitrógeno total (HN_t) y reactivo (HN_r): la primera representa la suma de N total entrado en la explotación (compra alimentos y animales, fertilizantes, fijación biológica, deposición atmosférica); la segunda, la suma del NH_3, N_2, N_2O, NO y NO_3^- (Sutton *et al.,* 2011). Los factores de emisión en cada caso vienen señalados en la Tabla 2.

– Ocupación del territorio: (OT_{Off}, OT_{On} y OT_{Total}) en m^2 l^{-1} de leche ECM fue calculado en base a la compra de alimentos y los de producción propia. Las producciones asignadas a los componentes de los piensos y forrajes fueron de 2,9; 2,0; 10,6; 2,9; 4,7; 4,4; 1,3; 3,0 y 4,7 t ha^{-1} para la cebada, colza, maíz, soja, pulpa remolacha, algodón, melaza de caña y aceite de palma, respectivamente; 11,3 t ha^{-1} la alfalfa y 2,5 t ha^{-1} la paja de cereales.

– Acidificación potencial: en equivalentes de SO_2 (Audsley *et al.,* 1997) siendo los equivalentes de 1 para el SO_2-eq; NO_x = 0,7 y NH_3 = 1,89.

– Eutrofización potencial: en $NO_3^-{}_{eq}$ cuyos equivalentes son de 1 para el NO_3-eq; NO_x = 1,35; NH_3 = 3,64 y PO_4^- = 10,45 (Weidema *et al*., 1996).

Análisis de suelos y purín

Las muestras de suelo y del purín fueron analizadas en cada Comunidad Autónoma a partir de normas UNE-EN 16179 (preparación de la muestra); conductividad eléctrica (CE: UNE 77308); pH (UNE-ISO 10390); materia orgánica (UNE-EN 13039); N total (UNE 77325); P (UNE 77324); K, Ca, Mg, Na (NF X31-108) y el Al en un método interno basado en el USDA 4B3.

Sistema de puntuación y evaluación multidimensional

Para estimar la sostenibilidad de las explotaciones lecheras de la cornisa cantábrica, se seleccionaron 66 variables contenidas en 6 indicadores de calidad (Tabla 3), procedentes del proyecto INIA-RTA 2012-00065-C05. El ambiente, la composición química del suelo, del purín y la concentración nutritiva de las dietas en las vacas lecheras definieron el índice de calidad del proceso; por otro lado, la calidad nutritiva y nutracéutica de la leche detallan el índice de calidad del producto. De aquellas variables, 44 fueron simuladas con el DairyCant y 22 medidas directamente.

Para cada variable dentro de su indicador se calculó el rango intercuartilítico del 25 %, 50 % y 75 % y estandarizados con la técnica *z-score*: $z = \frac{x - \mu}{\sigma}$ siendo *x* el valor obtenido; μ la media y σ la desviación estándar de la muestra. El 25 % de las explotaciones mejor valoradas para cada variable de calidad recibió una puntuación de 4; entre el 25 % y 50 % una puntuación de 3; entre el 50 % y 75% de 2 y más del 75 % de 1. Después, la puntuación media de cada indicador se calculó a partir de las variables que lo componen (Tabla 3).

Las puntuaciones medias de los indicadores que forman los índices de calidad del proceso (CP_s) –ambiente, suelo, purín, alimentación, nutritivo y nutracéutico– y calidad del producto (CP_r) –nutritivos y nutracéuticos– definen las explotaciones en mejorable (valor medio – 1,5 veces la desviación estándar), regular (valores entre medio y mejorable); buena (valor medio + 1,5 veces la desviación estándar) y excelente (valor superior a la media).

Análisis estadístico

Se realizó un análisis GLM (SPSS 15.0; SPSS, 2006) para comparar las características observadas de mejorable, regular, buena y excelente. El modelo utilizado fue $Y_{ijkm} = m + G_i + P_j + T_k + e_{ijklm}$, siendo Y_{ijkm} como variable dependiente [superficie total, superficie pradera y de cultivos forrajeros anuales (ha); UGM (ha^{-1}); vacas lecheras, (nº); leche ECM vaca, hectárea (año), eficiencia alimenticia (litros leche kg^{-1} MS ingerida por vaca y en el conjunto del rebaño); eficiencia del uso del N vaca y en el conjunto del rebaño, (%); grasa y proteína en leche (%); urea en leche (mg dl^{-1}); CLA en leche y la relación Ω6/Ω3; los alimentos que componen la dieta de las vacas lecheras (%)]; m, media general; G_i, efecto fijo de la calidad del proceso (excelente, bueno, regular y mejorable); P_j, efecto fijo de la calidad del producto (excelente, bueno, regular y mejorable); T_k, efecto fijo de la tipología (1…5); e_{ijklm}, error residual.

Resultados y discusión

Caracterización de las explotaciones

Las características técnico-productivas de cada tipología vienen señaladas en la Tabla 4. La carga ganadera fue mayor en la tipología ensilado de hierba-ensilado de maíz (EHba-EMz), sin diferencias significativas en el porcentaje de reposición. El consumo de ensilado fue superior en las tipologías ensilado de maíz (EMz) y EHba-EMz ($P < 0,05$),

Tabla 4. Características técnico-productivas de las explotaciones (n = 54).
Table 4. Technical-productive characteristics of the farms (n = 54).

Fuentes de variación	Eco	PasCon	EHba	EMz	EHba-EMz	et
n	10	12	9	11	12	
Animales						
Vacas de leche	45^{a}	35^{a}	49^{a}	149^{b}	111^{b}	9,2
Vacas secas	7^{a}	7^{a}	10^{ab}	20^{c}	17^{bc}	1,4
Novillas < 1año	14^{a}	11^{a}	19^{a}	38^{b}	42^{b}	3,0
Novillas >1 año	15^{ab}	12^{a}	26^{abc}	31^{bc}	41^{c}	2,9
UGM, ha^{-1}	1,47^{a}	2,04^{a}	2,35^{a}	3,55^{b}	4,28^{b}	0,22
Reposición, %	38,4	38,4	46,1	35,1	46,1	1,8
Dieta vacas lecheras						
Hierba verde, %	33,2^{b}	25,4^{b}	7,1^{a}	0,64^{a}	1,4^{a}	2,3
Ensilado hierba, %	26,5	16,1	20,2	17,1	20,7	2,0
Ensilado maíz, %	0,89^{a}	8,7^{a}	9,24^{a}	33,1^{b}	25,8^{b}	2,2
Henos, %	11,2^{ab}	12,7^{ab}	19,6^{b}	5,0^{a}	3,7^{a}	1,6
Concentrados, %	28,0^{a}	36,8^{ab}	43,7^{bc}	44,0^{bc}	48,2^{c}	1,8
Soja, kg VL día^{-1}	0,28^{a}	0,77^{ab}	1,24^{b}	0,92^{ab}	1,13^{b}	0,10
Tierra						
SAU, ha	48,3^{ab}	32,6^{a}	37,3^{a}	68,6^{b}	45,8^{ab}	4,1
Pradera, ha	48,3^{d}	31,7^{bc}	34,7^{cd}	17,0^{a}	19,0^{ab}	2,5
SAU hierba verde, %	85,7^{b}	73,5^{b}	28,5^{a}	13,6^{a}	9,3^{a}	5,3
SAU ensilado hierba, %	14,2^{a}	26,4^{a}	71,4^{b}	59,1^{b}	57,3^{b}	5,4
SAU maíz, ha	0^{a}	0,91^{ab}	1,44^{ab}	45,1^{c}	20,5^{b}	3,7
SAU, maíz %	0^{a}	2,1^{a}	4,5^{a}	65,2^{c}	47,8^{b}	4,4
Cultivos forrajeros,%	0^{a}	2,1^{a}	7,7^{a}	71,8^{b}	57,9^{b}	4,9
Raigrás con maíz, ha	0^{a}	0,91^{a}	2^{a}	27,2^{b}	21,8^{b}	2,5
Hierba, t MS$^{(1)}$	5,9^{c}	5,9^{c}	4,7^{b}	1,8^{a}	2,0^{a}	0,29
Otros forrajes, t MS$^{(1)}$	0^{a}	0,31^{a}	0,72^{a}	8,6^{b}	6,9^{b}	0,61
Materia seca final, t ha^{-1}	5,9^{a}	6,2^{a}	5,4^{a}	9,9^{b}	8,9^{b}	0,37
Alimentos y fertilizantes						
Compra concentrados, t ha^{-1}	1,8^{a}	3,7^{ab}	5,4^{b}	10,7^{c}	11,7^{c}	0,72
Compra forrajes, kg ha^{-1}	0,38^{a}	1,3^{b}	2,6^{b}	2,6^{b}	2,3^{ab}	0,31
N Fertilizante, kg N ha^{-1}	10,7^{a}	57,8^{ab}	58,8^{ab}	126,2^{b}	115,6^{b}	12
P Fertilizante, kg P ha^{-1}	4,3^{a}	27,8^{ab}	32,4^{ab}	47,7^{b}	30,3^{b}	5,0
K Fertilizante, kg K ha^{-1}	0^{a}	0,19^{a}	11,8^{a}	49,3^{b}	10,4^{a}	3,7
N Orgánico, kg N ha^{-1}	80^{a}	131^{ab}	251^{b}	420^{c}	486^{c}	28,8

Fuentes de variación	Eco	PasCon	EHba	EMz	EHba-EMz	et
n	10	12	9	11	12	
P Orgánico, kg P ha^{-1}	13,8^{a}	15,6^{a}	155^{a}	26,3^{b}	29,3^{b}	1,5
K Orgánico, kg K ha^{-1}	117^{a}	173^{a}	182^{a}	280^{b}	304^{b}	17,2
Maíz, Kg N ha^{-1}	0	86	63	126	145	17,7
Producción de leche						
Leche ECM, t año^{-1}	273^{a}	275^{a}	594^{a}	1764^{c}	1260^{b}	110
Leche ECM t ha^{-1}	4,9^{a}	9,2^{a}	11,6^{a}	22,5^{b}	22,1^{b}	1,3
Leche vaca año, t ECM año^{-1}	6,2^{a}	7,9^{a}	12,1^{b}	12,3^{b}	11,2^{b}	0,57
NUE_{VL}, %	25,7^{a}	28,0^{ab}	28,9^{ab}	32,7^{b}	33,1^{b}	0,81
NUE_{CR}, %	21,9^{a}	22,3^{a}	27,4^{ab}	28,4^{b}	26,4^{ab}	0,90
EAL_{VL}, kg leche kg^{-1} MS	1,19^{a}	1,18^{a}	1,27^{a}	1,45^{b}	1,48^{b}	0,03
EAL_{CR}, kg leche kg^{-1} MS	0,91^{a}	0,95^{a}	0,97^{a}	1,22^{b}	1,17^{b}	0,03

Eco: Ecológicas; PasCon: Pastoreo Convencional; PePa: Pesebre-Pastoreo; EHba: Ensilado de hierba; EMz: Ensilado de maíz; EHba-EMz: Ensilado de hierba más ensilado de maíz; NUE_{VL}: Nitrógeno recuperado en leche respecto al ingerido en las vacas lecheras; NUE_{CR}: N recuperado en leche respecto al ingerido en el conjunto de animales; VL: Vaca lechera; SAU: Superficie Agrícola Útil; (1): proporcional al % de SAU; ECM: leche corregida por grasa; EAL_{VL}: Eficiencia alimenticia leche, sólo vacas lecheras; EAL_{CR}: Eficiencia alimenticia, leche conjunto rebaño; $^{a, b, c, d}$ dentro de la misma fila difieren $P < 0,05$; et: error típico.

con porcentajes del 50,3 ± 10,3 % y 46,6 ± 10,6 %, respectivamente, sin diferencias en las ecológicas (Eco), pastoreo convencional (PasCon) y ensilado de hierba (EHba). El consumo de concentrado fue menor en Eco ($P < 0,05$).

La superficie agraria útil (SAU) fue inferior en PasCon y EHba y superior ($P < 0,05$) en SMz, sin diferencias significativas entre las demás tipologías (Tabla 3). La superficie de pradera disminuyó un 13,7 % por UGM ($r^2 = 0,38$) al aumentar la intensificación forrajera, e incrementó un 12,6 % ($r^2 = 0,41$) con la de maíz. La producción de materia seca fue superior en las tipologías que cultivan forrajes anuales EMz y EHba-EMz ($P < 0,05$), con rendimientos medios de 9,9 ± 2,6 t ha^{-1} y 8,9 ± 3,3 t ha^{-1}. El 86,2 ± 10,3 % y 70,9 ± 24,2 % de la biomasa total de aquellas tipologías tiene su origen en los cultivos forrajeros, de los cuales el 55,1 ± 20,5 % y 44 ± 13,7 %, respectivamente, corresponden a maíz.

La compra de alimentos fue superior en EMz y EHba-EMz ($P < 0,05$) con el 49,8 ± 11 % y, la menor en Eco de 28,4 ± 13,1 % (Tabla 4). Del mismo modo, la fertilización orgánica e inorgánica fue mayor en EMz y EHba-EMz ($P < 0,05$), equivalente en ambas tipologías de 574 ± 230 kg N-P-K ha^{-1}, 67 ± 30 kg N-P-K ha^{-1} y 322 ± 115 kg N-P-K ha^{-1} respectivamente y las menores ($P < 0,05$) en Eco de 91 ± 35 kg N ha^{-1}, 18 ± 10 kg P y 117 ± 26 kg K.

La producción de leche ECM por explotación fue mayor en EMz ($P < 0,05$), sin diferencias por hectárea y por vaca (Tabla 4). La eficiencia del uso del N en las vacas lecheras (NUE_{VL}) fue superior en EMz y EHba-EMz ($P < 0,05$), con porcentajes medios del 32,7 ± 5,4 % y 33,1 ± 4,3 % y la menor, en Eco 25,7 ± 5,7 % (Tabla 4). Mientras la eficiencia de uso del N en el conjunto del rebaño (NUE_{CR}) fue superior ($P < 0,05$) en las tipologías EHba, EMz y Ehba-EMz (Tabla 4).

Indicadores de la calidad del proceso

Ambiente

El valor medio y los percentiles de las variables analizadas para calcular la puntuación de los índices de calidad del proceso y del producto vienen señalados en la Tabla 5. En general y para la huella de carbono total (HC_t), el 59,2 % de las explotaciones presentaron valores inferiores a la media de 1,12 ± 0,28 kg CO_{2eq} l^{-1} leche ECM. De éstos, el 63,4 ± 5,6 % tienen su origen en la explotación, ligeramente inferior al 72 % señalado por Wattiaux *et al.* (2019). La HC_t fue similar a otras zonas productoras de leche como USA de 1,23 kg (Thoma *et al.,* 2013); Australia, 1,1 kg (Gollnow *et al.,* 2014); Irlanda, 1,26 kg (O'Brien *et al.,* 2016) y 1,26 kg en Italia (Bava *et al.,* 2014; Battini *et al.,* 2016). La soja y el cambio de uso indirecto del suelo (iLUC) representan el 15,8 % de la HC_t por litro de leche ECM; mientras, el secuestro de carbono la redujo un 6,6 % en el conjunto de tipologías.

La huella hídrica (HH_t) fue de 880 ± 318 l, similar a 1096 l señalado por Mekonnen y Hoekstra (2010 y 2012) y los 953 l reportados por Sultana *et al.* (2014) en Europa; sin embargo, fueron superiores a 524 l encontrados en Italia (Cosentino *et al.,* 2015) y 690 l en Irlanda (Murphy *et al.,* 2016). El 67,1 ± 17 % de la HH_t procede de la compra de alimentos mientras que sólo el 32,1 ± 17 % procede de los alimentos producidos en la explotación.

El 57,4 % y 51,8 % de las explotaciones presentaron huellas de N total (HN_t) y reactivo (HN_r) inferiores a las medias de 18,4 ± 6,3 g l^{-1} y 4,01 ± 1,6 g l^{-1} leche ECM, respectivamente (Tabla 5). La HN_t fue inferior a la señalada por Leip *et al.* (2014) en las explotaciones de UE27 analizado con los modelos CAPRI y MITERRA (Britz y Witzke, 2014), con valores variables de 30 g kg^{-1} a 50 g kg^{-1} y, similar la HN_r, de 5 g l^{-1} a 7 g l^{-1} de leche. La HN_r fue un 47,4 % inferior a la señalada por Powell y Rotz (2015) en las explotaciones del centro y sur de Wisconsin; 41,7 % a las explotaciones de Pensilvania (Rotz *et al.,* 2020) y del 69 % indicado por Veltman *et al.* (2018) en la región de los Grandes Lagos modelizado con el Integrated Farm System Model (Rotz *et al.,* 2018). El NH_3 representa el mayor porcentaje del N_r (58,1 ± 73,6 %), equivalente a 2,63 ± 1,4 g l^{-1} leche ECM, e inferior a 6 g kg^{-1} señalado por Horan *et al.* (2019) en el período 2012 a 2017.

La huella energética media total por litro de leche ECM (HE_t) fue de 4,73 ± 3,16 MJ l^{-1}, de los cuales el 59,6 % corresponde a energía directa y el 40,4 % indirecta. Aquella fue similar a 4,4 MJ y 5,5 MJ en explotaciones ecológicas de Holanda (Bos *et al.,* 2014), e inferior a 2,5 MJ señalada por Upton *et al.* (2013) en Irlanda.

Los excedentes de N y P por litro de leche ECM fueron de 13,3 ± 8,4 g y 1,3 ± 2,3 g, respectivamente, similares a 14,7 g l^{-1} y 0,9 g l^{-1} en Irlanda para sistemas a pastoreo (Horan *et al.,* 2019), e inferior el N a 35,2 g l^{-1} y, superior el P a 0,50 g l^{-1} (Humphreys *et al.,* 2015). La acidificación y eutrofización potencial fue de 8,9 ± 7,7 g SO_{2eq} y 36,0 ± 25,4 g $NO_{3\text{-}eq}$ l^{-1} leche ECM respectivamente (Tabla 5). En ambos casos, inferiores a 10 g l^{-1} (IDF, 2010) y a 77 g señalado por Penati *et al.* (2013).

Suelo

En general, los suelos presentan una textura Franco-Arillo-Limosa. Según Giménez y Bratos, (1985) los porcentajes de materia orgánica son elevados (8,6 ± 4,7 %), transfiriéndole al suelo contenidos altos de N total (0,43 ± 0,14 %) según Diehl y Mateo (1982). El pH es ligeramente ácido (Tabla 5). Sólo Galicia presentó información del contenido en aluminio, con valores medios 52,9 ± 32,9 ppm, superiores a los niveles tóxicos de 0,59 ppm señalado por Casierra-Posada y Aguilar-Avendaño (2007). Las concentraciones de P, K, Ca y Mg (Tabla 5) fueron considerados altas, normales, normales y muy altas, respectiva-

mente, mostrando una gran variabilidad entre ellas. El 68,4 %, 55,3 %, 39,5 % y 44,71 % de las muestras exhibieron concentraciones superiores a los niveles normales señalados por Juárez *et al.* (2004).

Purín

La materia seca de los purines fue baja, con porcentajes medios de 9,3 ± 3,5 % (Tabla 5), superiores al 6,2 % señalados por Martínez-Suller *et al.* (2010) con un coeficiente de variación similar. Las concentraciones de N, NH_4, P, K, Ca, Mg fueron superiores a la media en el 57 %, 50 %, 33 %, 44 %, 29 % y 61 % de la muestra. Esta variabilidad puede reflejar entre otros aspectos, el porcentaje de fosas abiertas del 38 % señalado por Flores-Calvete *et al.* (2017) en las explotaciones de la cornisa cantábrica.

Alimentación de vacas lecheras

La composición elemental de los alimentos que configuran la dieta de las vacas lecheras en las diferentes tipologías viene señalada en la Tabla 4. La ingestión diaria en el conjunto de las tipologías fue de 20,7 ± 4,0 kg MS vaca lechera. La concentración nutritiva fue el indicador de la calidad del proceso donde la variabilidad es menor (Tabla 5). En general, la concentración energética de las dietas fue superior en el 70,7 % de la muestra respecto a las recomendaciones del NRC (2001) para el rango de 22,6 l y 33,1 l ECM vaca y día. Las concentraciones de proteína bruta (PB) fueron similares al 15 % señalado por el NRC (2001) en vacas lecheras; mientras, la soluble (PBS), la degradable en rumen (PDR) y no degradable (PNDR) fueron respectivamente superiores a la media un 42,6 %; 46,2 % y 53,7 % de las explotaciones. Los carbohidratos fibrosos (FAD y FND) fueron coincidentes con las recomendaciones del NRC (2001). Por el contario, los carbohidratos no fibrosos (CNF) fueron mayores en las dietas que contienen ensilado de maíz, con valores medios del 33 % en ambos casos. El porcentaje de almidón medio de las dietas fue superado en el 55 % de las dietas coincidiendo con las tipologías anteriormente descritas. En general, los contenidos de Ca, P, Mg y K de las dietas fueron similares a las señaladas por el NRC (2001). El P, Mg y K fue superior respecto a la media el 53,7 %; 61,1 % y 42,6 % de las explotaciones.

Indicadores de la calidad del producto

Valor nutritivo de la leche

Las concentraciones medias de grasa, proteína y urea vienen indicadas en la Tabla 5, observándose respectivamente porcentajes del 48,2 %, el 53,7 % y el 53,7 % superiores al conjunto de explotaciones analizadas. El coeficiente de variación de la urea fue superior respecto a los contenidos de grasa y proteína (Tabla 5). Las eficiencias alimenticias en las vacas lecheras EA_{VL} (Berry y Crowley, 2013) y la del conjunto del rebaño (EAL_{CR}), vienen señaladas en la Tabla 5. La EAL_{VL} varió desde 0,81 l kg^{-1} MS a 1,86 l kg^{-1} MS ingerida en las vacas lecheras, reduciéndose de 0,48 l kg^{-1} MS a 1,77 l kg^{-1} MS ingerida EAL_{CR}. El 55,5 % de las explotaciones presentó valores de EAL_{VL} superior a la media de 1,32 ± 0,23 l y, el 53,7 % para EAL_{CR} de 1,05 ± 0,24 l.

Valor nutracéutico de la leche

El 57,4 % de la muestra produce leche con un contenido de ácidos grasos saturados superior al 65,1 % y del 44,4 % y 53,7 % de la muestra presentó concentraciones superiores a la media para el CLA y Ω3.

Puntuaciones y categorías de las explotaciones

Las puntuaciones medias de los diferentes indicadores dentro de cada tipología figuran en la Tabla 6 y en la Figura 2 los índices de calidad del proceso (ICP_s) y del producto (ICP_r)

Tabla 5. Valores medios y percentil de las variables elegidas para definir aspectos de calidad.
Table 5. Mean values and percentile of the variables chosen to define quality aspects.

Variable	Unidad	Media	CV	25%	50%	75%
		Calidad del proceso				
Ambiente (por litro de leche ECM)						
Huella carbono parcial (HC_p)	$CO_{2\text{-eq}}$	1,0	31,7	0,80	0,97	1,11
Huella carbono total (HC_t)	$CO_{2\text{-eq}}$	1,12	25,2	0,93	1,06	1,23
Secuestro carbono (SC)	CO_2	0,07	42,3	0,05	0,07	0,08
Uso indirecto suelo (iLUC)	CO_2	0,14	41,2	0,10	0,14	0,19
Soja	CO_2	0,029	84,0	0,0	0,03	0,049
Huella hídrica total (HH_t)	L agua	880	36,2	668	842	1046
Huella hídrica parcial (HH_p)	L agua	124	31,9	101,5	116	140
Huella N total (HN_t)	g N	18,4	34,3	15,0	16,5	20,3
Huella N reactivo (HN_r)	g N	4,01	40,8	2,73	3,92	5,0
Huella energética directa (HE_d)	MJ	2,82	108,7	1,11	2,31	3,33
Huella energética indirecta (HE_{in})	MJ	1,87	31,8	1,48	1,78	2,14
Huella energética total (HE_t)	MJ	4,73	66,7	2,90	4,03	5,44
Acidificación	g $SO_{2\text{-eq}}$	7,72	86,1	6,15	8,85	12,9
Eutrofización	g $NO_{3\text{-eq}}$	36,05	70,7	20,8	34,8	44,4
Ocupación territorio (OT_{Off})	m^2	0,91	59,4	0,59	0,97	1,3
Ocupación territorio (OT_{On})	m^2	0,51	78,1	0,25	0,4	0,79
Ocupación territorio total (OT_t)	m^2	1,42	55,8	0,99	1,5	1,9
Exceso N	g N	13,3	63,1	8,76	11,75	15,66
Exceso P	g P	1,32	177,5	–0,067	0,68	1,83
Suelo						
Conductividad eléctrica	mmhos cm^{-1}	0,29	86,2	0,1	0,3	0,3
Materia orgánica	%	8,67	55,2	4,79	7,12	12,5
pH	–	6,05	10,9	5,65	6,01	6,32
P	ppm	41,2	64,3	21,6	35,3	53,9
K	ppm	228	51,3	142	217	285
Ca	ppm	1724	56,8	1148	1494	2209
Mg	ppm	182	48,9	127	154	207
Al	ppm	52,9	62,1	25,9	36,7	84,2
N	%	0,43	32,5	0,33	0,42	0,51
Purín						
Conductividad eléctrica	mmhos cm^{-1}	6,89	80,8	2,28	4,66	11,4
pH	–	7,53	8,3	6,88	7,7	8,16
Densidad	g L^{-1}	1022	4,6	1005	1015	1033
Materia seca	% fresco	9,33	38,2	6,95	9,56	11,2
Cenizas	% fresco	3,06	77,4	1,6	2,3	3,6
N	% fresco	0,28	32,1	0,23	0,29	0,35

Variable	Unidad	Media	CV	25%	50%	75%
		Calidad del proceso				
NH_4	% fresco	0,13	38,4	0,09	0,13	0,17
Ca	% fresco	0,27	77,7	0,12	0,22	0,36
Mg	% fresco	0,04	400	0,03	0,05	0,06
K	% fresco	0,22	40,9	0,15	0,21	0,28
P	% fresco	0,08	62,5	0,04	0,06	0,10
Alimentación						
Energía neta leche	Mcal kg^{-1} MS	1,55	9,03	0,51	1,6	1,65
Proteína bruta	% sms	14,7	10,8	13,6	14,8	16,0
Proteína Soluble	% sPB	32,8	13,4	29,1	32,1	35,9
Proteína degradable rumen	% sPB	62,8	7,3	60,0	62,1	66,1
Proteína no degradable rumen	% sPB	34,0	11,4	31,5	33,7	36,5
Fibra ácido detergente	% sms	24,5	16,3	22,6	24,3	26,5
Fibra neutro detergente	% sms	39,5	16,4	34,7	38,8	43,0
Carbohidratos no fibrosos	% sms	28,0	36,0	19,3	30,3	37,2
Almidón	% sms	17,5	33,7	13,4	19,7	21,9
Grasa bruta	% sms	3,68	21,7	3,18	3,50	3,85
Ca	% sms	0,63	23,8	0,54	0,62	0,74
P	% sms	0,35	14,2	0,31	0,35	0,38
Mg	% sms	0,20	10	0,19	0,20	0,21
K	% sms	1,41	19,1	1,20	1,32	1,55
		Calidad del producto				
Nutritivo						
Grasa	%	3,71	6,5	3,58	3,72	3,83
Proteína	%	3,20	4,3	3,07	3,20	3,30
Urea	mg dl^{-1}	17,35	12,0	15,49	17,05	18,53
EAL_{VL}	L ECM kg^{-1} MS	1,32	17,7	1,20	1,35	1,49
EAL_{CR}	L ECM kg^{-1} MS	1,05	22,8	0,89	1,03	1,23
Nutracéutico						
Ácidos grasos saturados	% AGs	65,1	2,7	63,5	65,9	66,4
Monoinsaturados	% AGs	24,7	3,9	24,2	24,5	25,0
Poliinsaturados	% AGs	3,2	5,9	3,06	3,15	3,30
CLA	% AGs	0,59	16,9	0,51	0,58	0,64
Omega-6 (Ω6)	% AGs	1,66	21,6	1,39	1,64	1,88
Omega-3 (Ω3)	% AGs	0,45	20,0	0,38	0,45	0,52
Ω6/Ω3	% AGs	3,8	31,6	2,7	3,9	5,0
Poliinsaturados/Saturados	% AGs	0,049	8,1	0,046	0,048	0,051

ECM: leche corregida por grasa; HC_p: ($CH_4 + CO_2 + N_2O$); HC_t: (HP + SO + iLUC - SC); SO: soja; iLUC: uso indirecto del suelo; SC: secuestro de carbono; EAL_{VL}: Eficiencia leche vaca lechera¸ EAL_{CR}: Eficiencia leche conjunto rebaño; CLA: ácido linoléico conjugado; sms: sobre materia seca; sPB: sobre proteína bruta.

Tabla 6. Puntuación y categorías de las explotaciones (1 = mejorable; 4 = excelente).
Table 6. Punctuation and categories of typologies (1 = improvable; 4 = excellent).

Puntuación	Conjunto	Eco	PasCon	EHba	EMz	EHba-EMz
Ambiente (PA_{mb})	2,03	2,31^{c}	1,91^{ab}	1,73^{a}	2,11^{bc}	2,04^{abc}
Suelo (PS_{ue})	1,96	1,88	1,93	1,92	1,91	2,11
Purín (PP_{ur})	2,00	1,64^{a}	2,03^{ab}	1,96^{ab}	2,14^{ab}	2,19^{b}
Alimentación (PA_{lm})	2,00	1,84^{a}	2,28^{b}	1,93^{a}	1,92^{a}	2,00^{a}
Nutritivo (PN_{u})	1,99	1,86	1,96	1,78	2,12	2,15
Nutracéutico (PN_{ut})	2,0	1,99	1,99	1,93	2,04	2,03
Proceso (PCP_{s})	2,01	1,93	2,05	1,90	2,03	2,10
Producto (PCP_{r})	1,99	1,93^{ab}	1,98^{ab}	1,86^{a}	2,08^{b}	2,09^{b}
Indicador	Mejorable		Regular	Buena		Excelente
Índice Calidad Proceso (ICP_{s})	≤1,85		1,86-2,09	2,10-2,32		>2,32
Índice Calidad Producto (ICP_{r})	≤1,87		1,88-2,06	2,07-2,26		>2,27

Eco: Ecológico; PasCon: Pastoreo Convencional; EHba: Ensilado de hierba; EMz: Ensilado de maíz; EHba-EMz: Ensilado de hierba-Ensilado de maíz; $^{a, b, c}$ dentro de la misma fila difieren $P < 0,05$.

por explotación y tipología. En general, ICP_{s} no difiere entre tipologías, con una puntuación media de 2,01 ± 0,24, pero sí ($P < 0,05$) el indicador ambiente, purín y alimentación, registrándose las puntuaciones mayores en Eco, EHba-EMz y PasCon respectivamente. Por el contrario, ICP_{r} fue diferente entre tipologías ($P < 0,05$) pero no sus indicadores nutritivo y nutracéutico (Tabla 6), con puntuaciones medias de 1,99 ± 0,43 y 2,0 ± 0,13, respectivamente. Los rangos de las puntuaciones que clasifican las explotaciones en mejorables (M), regulares (R), buenas (B) y excelentes (Ex) para ICP_{s} y ICP_{r} vienen señaladas en la Tabla 6.

El porcentaje de explotaciones clasificadas como M, R, B y Ex de la muestra para ICP_{s} fue del 24,1 %; 37 %; 27,8 % y el 11,1 % respectivamente (Figura 3). Este índice caracterizó el 20 % de las explotaciones de Eco como B y Ex; el 50 % de PasCon; el 33,3 % de EHa; el 45,5 % de EMz y el 41,7 % en EHba-EMz. El índice de calidad del producto (ICP_{r}) caracterizó el 24,1 %; 35,2 %; 27,8 % y 13 % de las explotaciones como M, R, B y Ex respectivamente (Figura 3). El 30 % de las explotaciones Eco fueron clasificadas como R y B; el 33,4 % para PasCon; el 11,1 % en EHa; el 54,6 % de EMz y el 66,6 % para EHba-EMz. La tipología EMz manifiesta un similar porcentaje de explotaciones de cada categoría (Figura 3); por el contrario, las explotaciones clasificadas como B de la tipología EHba-EMz representan el 58,3 %. La prueba chi cuadrado no fue significativa, indicando que las variables ICP_{s} ($P > 0,05$) e ICP_{r} ($P > 0,05$) no están asociadas a la tipología.

La agrupación de cuatro categorías (M, R, B y Ex) para el índice de calidad del proceso y del producto del presente trabajo frente a las tres establecidas por (Zucali *et al.,* 2016) (O: ordinaria, M: media (M) y E: excelente) para

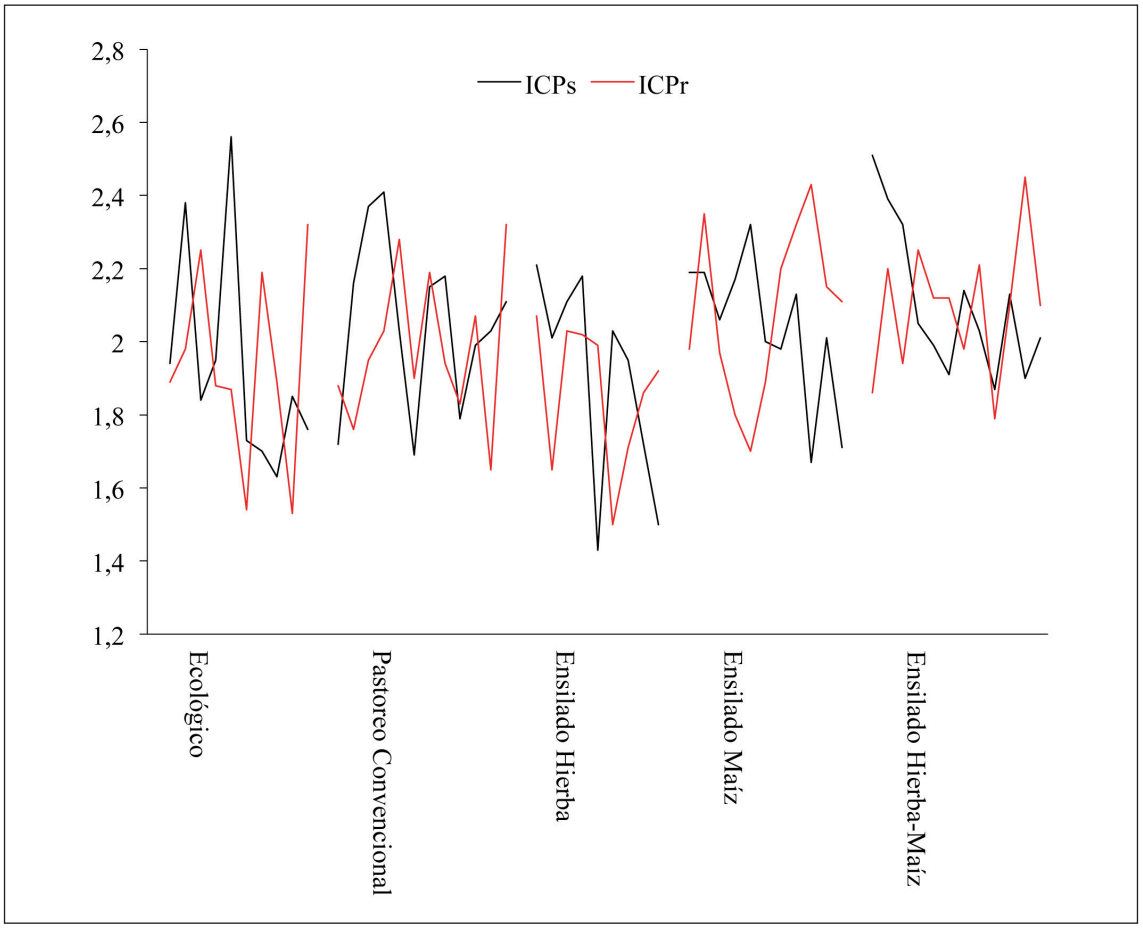


Figura 2. Puntuaciones del Índice Calidad Proceso (ICP_s) e Índice Calidad Producto (ICP_r) de las explotaciones por tipología.
Figure 2. Process Quality Index (ICP_s) and Process Quality Index (ICP_r) scores of farms by type.

29 explotaciones en Italia, fue para evitar en lo posible efectos lineales. El porcentaje de explotaciones según aquella clasificación fueron del 10,7-7,1 % para O, el 62,5-71,4 % para M y el 26,7-21,4 % como (Ex) para ICP_s e ICP_r, respectivamente. Aquellos autores consideraron indicadores de bienestar animal y socioeconómicos para ICP_s y de calidad microbiológica en la leche para ICP_r; mientras, este trabajo contempla los indicadores de calidad del suelo, del purín y concentración nutritiva de las dietas en las vacas lecheras para el índice de calidad del proceso. Asumiendo las explotaciones M (Zucali *et al.,* 2016) equivalente a R y B del presente trabajo, ambos porcentajes fueron del 62,5 % *vs.* 64,8 % para ICP_s y de 71,4 % *vs.* 62 % el ICP_r, respectivamente. Estos porcentajes reflejan similitud en el número de explotaciones para los índices de calidad del proceso y del producto, indicando además que la metodología basada en indicadores puede reflejar de manera holística la sostenibilidad de las explotaciones lecheras.

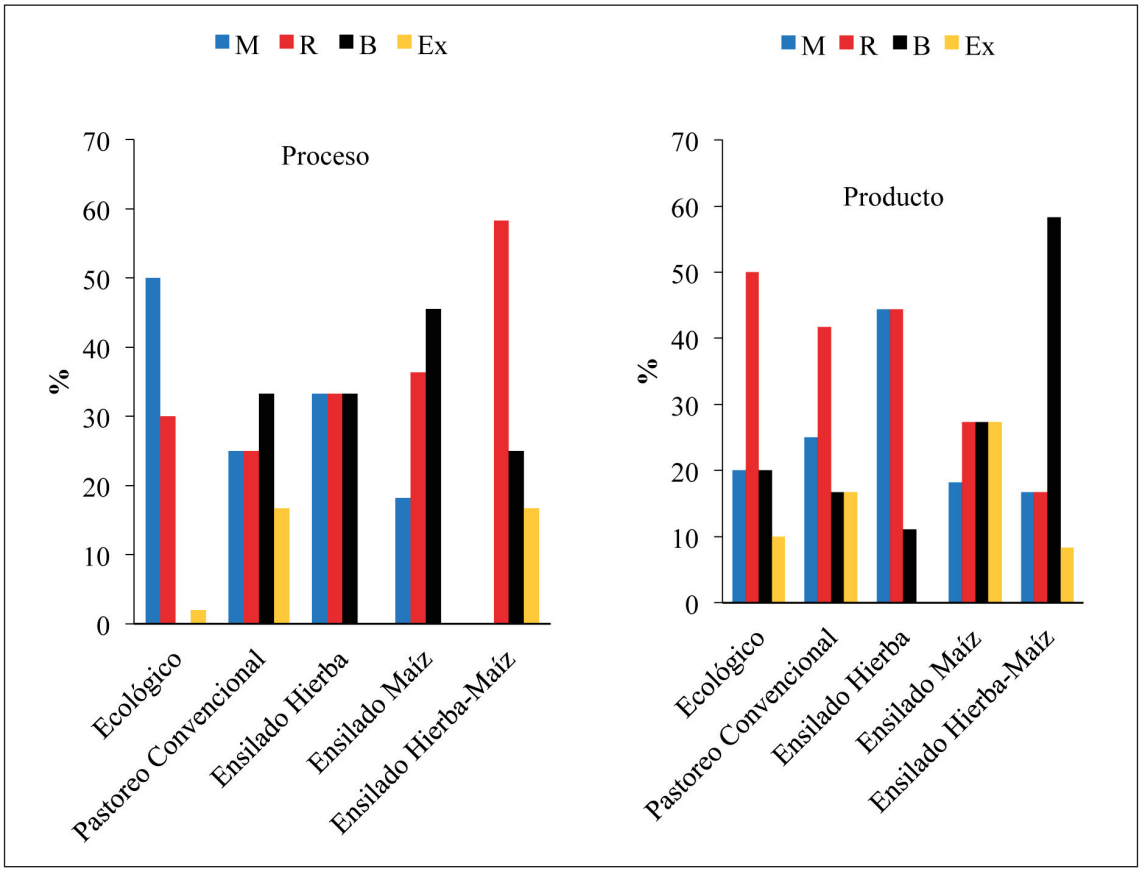


Figura 3. Clasificación de las explotaciones según su tipología.
Figure 3. Classification of farms according to their typology.

Las características de las explotaciones M, R, B y Ex para los índices de calidad del proceso (ICP_s) y del producto (ICP_r) vienen señaladas en la Tabla 7. Las mayores producciones de leche ECM por vaca y por hectárea correspondieron a las explotaciones R y B para ICP_s ($P < 0,05$), imputable la primera al menor porcentaje de hierba verde incluido en la ración (r = –0,66; $P < 0,01$) y (r = 0,89; $P < 0,01$) a la carga ganadera la segunda. La eficiencia alimenticia en las vacas lecheras (EA_{VL}) (Berry y Crowley, 2013) fue superior en B ($P < 0,05$) y similar para Ex y R (Tabla 7). Según Guerci *et al.* (2013) aumentos de EA_{VL} contribuye a reducir los impactos ambientales como la acidificación y eutrofización potencial, el uso de la energía, uso de la tierra y calentamiento global por litro de le leche, excepto la ocupación del territorio en aquellas explotaciones que producen forraje de alta calidad (Gislon *et al.,* 2020). En el presente trabajo y coincidente con aquellos autores, se observaron relaciones negativas entre (EA_{VL}) con las huellas de carbono parcial y total, r = –0,56 y r = –0,59 ($P < 0,01$), respectivamente; r = –0,76 ($P < 0,01$) con la huella hídrica total, y positivamente con la puntuación ambiente (r = 0,30; $P < 0,05$) en el conjunto de tipologías.

Tabla 7. Características de las explotaciones en función de la sostenibilidad ambiental, calidad del proceso y del producto.
Table 7. Characteristics of the farms based on environmental sustainability, process and product quality.

	Caracterización de las explotaciones							
	Mejorable		Regular		Buena		Excelente	
	ICP_s	ICP_r	ICP_s	ICP_r	ICP_s	ICP_r	ICP_s	ICP_r
Explotaciones, n	13	13	20	19	15	15	6	7
Superficie, ha	37,3	41,8	51,3	43,2	52,6	48,7	35,6	60
Superficie pradera, ha	34,1	32,2	29,1	35,7	25,0	23,4	32	20,2
Superficie CFA, % SAU	12,1	24,6^{ab}	39,3	15,3^{a}	37,6	41,4^{ab}	11,9	49,6^{b}
UGM, ha^{-1}	2,02	3,42	3,32	2,38	3,04	2,68	2,06	3,0
Vacas lecheras, VL (n)	43	71	102	63	96	90	43	118
Leche ECM, t VL año^{-1}	7,5^{a}	10,8	10,9^{b}	9,0	10,8^{b}	10,3	9,6^{ab}	9,7
Leche ECM, t ha^{-1}	7,9^{a}	17,2	16,7^{b}	11,2	17,4^{b}	14,5	13,0^{ab}	17,6
Leche, kg kg^{-1} MS VL	1,19^{a}	1,24	1,31^{ab}	1,30	1,44^{b}	1,41	1,32^{ab}	1,33
Leche, kg kg^{-1} MS CR	0,93	0,93^{a}	1,04	1,01^{ab}	1,12	1,18^{b}	1,15	1,07^{ab}
Grasa, %	3,74	3,65^{a}	3,68^{ab}	3,69^{a}	3,79^{b}	3,64^{a}	3,54^{a}	4,02^{b}
Proteína, %	3,20	3,13^{a}	3,22	3,14^{a}	3,22	3,28^{b}	3,1	3,33^{b}
Urea, mg dl^{-1}	18,0^{ab}	15,7^{a}	17,2^{ab}	17,1^{b}	16,5^{a}	17,8^{b}	18,4^{b}	19,8^{c}
CLA, % de los AGs	0,63	0,61^{b}	0,56	0,61^{b}	0,56	0,52^{a}	0,63	0,62^{b}
Ω6/Ω3	3,66	3,38^{a}	3,98	3,52^{a}	4,01	4,54^{b}	3,39	4,1^{ab}
NUE_{VL}, %	26,1^{a}	29,5	29,3^{ab}	29,7	33,7^{b}	31,7	29,9^{ab}	27,1
NUE_{CR}, %	18,5^{a}	22,9	23,1^{ab}	21,9	25,2^{b}	24,1	24,2^{b}	21,5
Alimentos propios, %	64,1^{a}	60,4	53,5^{ab}	57,0	50,2^{a}	50,3	58,3^{ab}	54,7
Forraje/Concentrado	2,4	2,52	1,57	1,85	1,7	1,43	2,01	1,56
% ensilado maíz, VL	10,6	15,7^{ab}	19,1	9,5^{a}	20,8	24,2^{b}	6,4	17,3^{ab}
% ensilado hierba, VL	21,2	26,1	23,6	18,3	16,7	17,2	13,5	18,9
% heno, VL	8,0	7,2^{ab}	8,2	15,3^{b}	11,1	8,2^{ab}	17,4	4,6^{a}
% hierba verde, VL	23,6^{b}	14,3	7,3^{a}	17,9	8,3^{a}	4,9	24,8^{b}	18,1
% concentrado, VL	36,4	36,6	41,7	38,8	42,9	45,2	37,7	40,9

Índice Calidad Proceso (ICP_s); Índice Calidad Producto (ICP_r); ECM: leche corregida por grasa; CFA: cultivos forrajeros anuales; CR: conjunto rebaño; VL: vaca lechera; CLA: ácido linoléico conjugado; $^{a, b, c}$ dentro de la misma fila e índice difieren $P < 0,05$.

La eficiencia del uso del N en las vacas lecheras (NUE_{VL}; g de N leche/100 g de N ingerido) y la EA_{VL} son comúnmente usadas en la valoración de las dietas en vacas lecheras (Brito y Silva, 2020). Ambas EA_{VL} y NUE_{VL} fueron mayores en B ($P < 0,05$) y similar entre R y Ex. Es importante que el grupo R sea la NUE_{VL} similar a Ex, porque R representa el 37 % de las explotaciones. En cualquier caso, la NUE_{VL} se mantuvo dentro del rango de 22 % a 33 % señalado por Dijkstra *et al.* (2013). La mayor cantidad de N alimenticio transformado en leche puede representar para ICP_s menos N excretado al medio, reduciendo a su vez el riesgo de contaminación del aire (NH_3), menos NO_3 de las aguas subterráneas, inferior eutrofización en las aguas superficiales (NO_{3e}) y disminución de gases de efecto invernadero (N_2O) entre otros (Rapetti *et al.,* 2020), todos ellos representados en el indicador ambiente.

El índice de calidad del producto caracteriza a las explotaciones Ex con mayor superficie de cultivos forrajeros anuales y concentraciones de grasa, proteína y urea en leche ($P < 0,05$) y menor ($P < 0,05$) consumo de heno (Tabla 7). Por el contrario, Zucali *et al.* (2016) señalan a las explotaciones excelentes aquellas con menor base territorial (22,5 ha) respecto a las ordinarias (47,7 ha) para ICP_r; diferentes a 60 ha las explotaciones excelentes (Ex), lejos de 41,8 ha las mejorables (M); 43,2 ha las regular (R) y 48,7 ha las buenas (B) indicado en la Tabla 7. La mayor superficie de cultivos forrajeros anuales principalmente maíz en Ex, no reflejó el mayor porcentaje añadido a la dieta de las vacas lecheras ($P < 0,05$). No obstante, pudo contribuir a mejorar equilibrio nutricional de las dietas reflejado en las concentraciones de grasa, proteína y urea en la leche (Tabla 7). El CLA de las explotaciones Ex fue similar a M y R y el menor en B ($P < 0,05$), imputable al menor consumo de ensilado de maíz y coincidente con Capuano *et al.* (2014) y Villar *et al.* (2021). Mientras, la relación Ω6/Ω3 que fue superior en B ($P < 0,05$) imputable nuevamente al mayor consumo de ensilado, y las menores en M y R (Tabla 7).

Con el fin de analizar como la modificación de una variable puede afectar a los indicadores de los índices de calidad del proceso y del producto, se utilizaron las variables de la eficiencia alimenticia y el porcentaje de superficie cultivos forrajeros anuales (CFA) de las categorías M, R, B y Ex (Figura 4). La mayor EA_{VL} de las explotaciones B no reflejó la mayor puntuación del indicador ambiente (Figura 4A), siendo éste último superior en Ex de 2,24 respecto a 2,01 para B. El consumo de pienso se relacionó positivamente con la EA_{VL} ($r = 0,39$; $P < 0,01$), circunstancia que pudiera justificar la mayor puntuación del indicador ambiente al expresarlos por litro de leche, coincidiendo esta categoría con el menor porcentaje de alimentos de propios (Tabla 7). En esta misma línea Gerber *et al.* (2013) señalan un gran impacto ambiental cercano al 45 % en la producción de piensos, sobre todo la huella de carbono, y del 18 % los forrajes (Guerci *et al.,* 2013). Respecto a los indicadores purín, alimentación, nutritivo y nutracéutico no se observaron diferencias significativas.

La mayor superficie de cultivos forrajeros anuales (CFA) no afectó significativamente a las puntuaciones para los indicadores ambiente, suelo, alimentación y nutracéutico y sí, ($P < 0,05$) el indicador purín nutracéutico (Figura 4B). La mayor puntuación del purín en B fue atribuida a su mayor contenido de nutrientes (datos no mostrados); entre ellos, la materia seca ($r = 0,82$; $P < 0,01$), el nitrógeno ($r = 0,71$ $P < 0,01$), N-NH3 ($r = 0,75$; $P < 0,01$) y el magnesio ($r = 0,81$; $P < 0,01$). La puntuación del valor nutritivo de la leche fue mayor en aquellas explotaciones con superior dedicación a cultivos forrajeros anuales. El mayor porcentaje de proteína bruta de la leche se localiza en las explotaciones que dedican mayor superficie de CFA, principalmente maíz y coincidente con Potts *et al.* (2015).

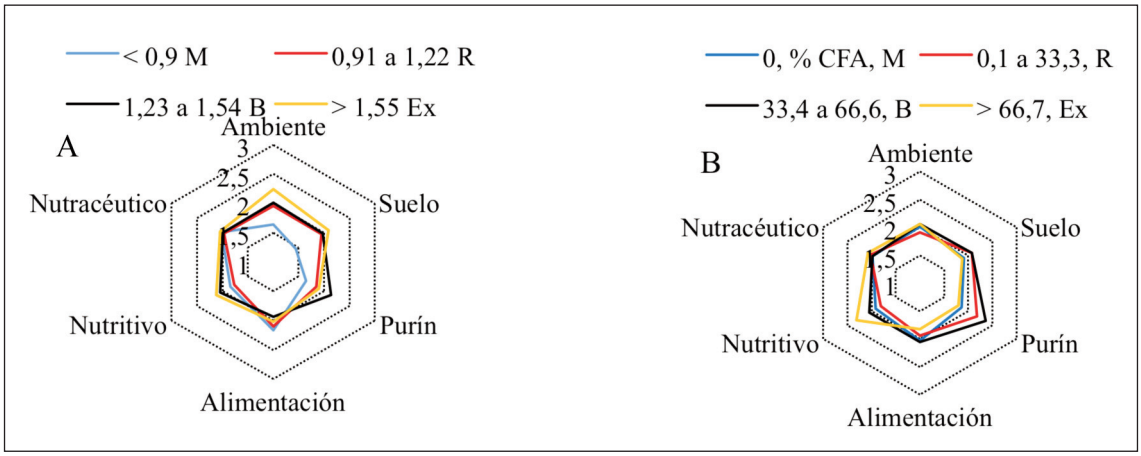


Figura 4. Variación de los indicadores de la explotación (M: mejorable; R: regular; B: buena y Ex: excelente) basado en la eficiencia alimenticia: litros kg^{-1} materia seca ingerida (A) y en el porcentaje de superficie dedicada a cultivos forrajeros, CFA (B).
Figure 4. Variation of the farm indicators (M: can be improved; R: regular; B: good and Ex: excellent) based on feed efficiency: liters kg^{-1} dry matter ingested (A) and on the percentage of surface dedicated to forage crops, CFA (B).

Conclusiones

El sistema de valoración holístico propuesto a partir de los indicadores ambientales, suelo, purín, alimentación, nutritivo y nutracéutico presenta un gran potencial de predicción de los aspectos de calidad del proceso y del producto en las explotaciones lecheras y su robustez viene dada por la posibilidad de asociar diferentes matices de producción y la posibilidad de comparar granjas entre sí. Los indicadores relacionados con la alimentación, el suelo, el purín y el nutritivo de las explotaciones, pueden ser proporcionados por cooperativas o laboratorios mientras, los de la calidad nutracéutica de la leche y ambiental requieren análisis más complejos y específicos.

El porcentaje de explotaciones clasificadas buenas para los índices de calidad del proceso y del producto representan el 38,8 %, las excelentes el 40,7 % y el 24,1 % como mejorables. La productividad y la dimensión entre otros, son aspectos a mejorar.

La eficiencia alimenticia, junto con la superficie de cultivos forrajeros pueden justificar los índices de calidad del proceso y del producto. El método de trabajo aplicado no puede ser definitivo debido a la posibilidad de incluir otros aspectos relacionados con la producción de leche, entre otros el bienestar animal, económicos, sociales, etc.

La puntuación media de cada indicador catalogó los niveles de manejo (calidad del proceso) y de la leche (calidad del producto) aceptables e independiente de la tipología de explotación. Los resultados aquí obtenidos y posterior clasificación de las explotaciones pueden servir como valores de referencia para trabajos posteriores donde se valoren aspectos de sostenibilidad.

Agradecimientos

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

Material complementario

El material complementario de este artículo se puede consultar en la URL https://doi.org/10.12706/itea.2021.032.

Referencias bibliográficas

Aguilar M, Arriaga H, Dupard P, Lalor S, Fragoso R, Pahl O, Abaigar A, Cordovín L, Boyle M, Lanigan G, Loyon L, Merino P (2014). BATFARM Software: A support tool in the selection of environmental strategies in livestock operations. III REMEDIA Workshop, 10 y 11 de Abril, Valencia, España, pp. 86-88.

Alvarez A, del Corral J, Solís D, Pérez JA (2008). Does intensification improve the economic efficiency of dairy farms? Journal Dairy Science 91: 3693-3698. https://doi.org/10.3168/jds.2008-1123.

Audsley E, Alber S, Clift R, Cowell S, Crettaz P, Gaillard G, Hausheer J, Jolliet O, Kleijn R, Mortensen B, Pearce D, Roger E, Teulon H, Weidema B, van Zeijts H (1997). Harmonisation of environmental life cycle assessment for agriculture. Final report, concerted action AIR3-CT94-2028. European Commission DG VI, Brussels, Belgium.

Audsley E, Brander M, Chatterton J, Murphy-Borken D, Webster C, Willians A (2009). How low can we go? An assessment of greenhouse gas emissions from the UK food system and the scope reduction by 2050. Report for the WWF and Food Climate Research Networt.

Battini F, Agostini A, Tabaglio V, Amaducci S (2016). Environmental impacts of different dairy farming systems in the Po Valley. Journal Cleaner Production 112: 91-102. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.062.

Bava L, Sandrucci A, Zucali M, Guerci M, Tamburini A (2014). How can farming intensification affect the environmental impact of milk production? Journal Dairy Science 97: 1-15. https://doi.org/10.3168/jds.2013-7530.

Berry DP, Crowley JJ (2013). Genetics of feed efficiency in dairy and beef cattle. Journal Animal Science 91: 1594-1613. https://doi.org/10.2527/jas.2012-5862.

Brentrup F, Küsters J, Lammel J, Kuhlmann H (2000). Methods to estimate on-field nitrogen emissions from crop production as an input to LCA studies in the agricultural sector. The International Journal of Life Cycle Asessment 5: 349-357. https://doi.org/10.1007/BF02978670.

Brentrup F, Pallière, C (2008). GHG emissions and energy efficiency in European nitrogen fertiliser production and use. Proceedings No: 639. International Fertiliser Society, York, UK. 28 pp.

Brito AF, Silva LH (2020). Symposium review: Comparisons of feed and milk nitrogen efficiency and carbon emissions in organic *versus* conventional dairy production systems. Journal Dairy Science 103: 5726-5739. https://doi.org/10.3168/jds.2019-17232.

Bos J, de Haan J, Sukkel W, Schils R (2014). Energy use and greenhouse gas emissions in organic and conventional farming systems in the Netherlands NJAS – Wageningen Journal of Life Sciences 68: 61-70. https://doi.org/10.1016/j.njas.2013.12.003.

Britz W, Witzke P (2014). CAPRI Model Documentation. Disponible en: https://www.capri-model.org/docs/capri_documentation.pdf (Consultado: 23 junio 2020).

Capuano E, Elgersma A, Tres A, Ruth SM (2014). Is phytanic acid a suitable marker for authentication of milk and dairy products from grass-fed cows or organic farming systems? EGF at 50: The Future of European Grasslands. Proceedings of the 25th General Meeting of the European Grassland Federation, 7-11 September 2014, Aberystwyth, Wales, pp. 674-676.

Casierra-Posada F, Aguilar-Avendaño O (2007). Estrés por aluminio en las plantas: reacciones en el suelo, síntomas en vegetales y posibilidades de corrección. Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas 1(2): 246-256. https://doi.org/10.17584/rcch.2007v1i2.8701.

Cederberg C, Stadig M (2003). System expansion and allocation in life cycle assessment of milk and beef production. The International Journal of Life Cycle Assessment 8(6): 350-356. https://doi.org/10.1007/BF02978508.

Cederberg C, Flysjö A (2004). Life cycle inventory of 23 dairy farms in South-Western Sweden. SIK-rapport 728.

Chapagain AK, Hoekstra AY (2003). Virtual water flows between nations in relation to trade in livestock and livestock products. Value of water research report series nº 13. UNESCO-IHE. Delft. The Netherlands.

Chapagain A K, Hoekstra AY (2004). Water footprints of nations, Volume 1, Value of water Research Report Series No, 16, UNESCO-IHE. Delft. The Netherlands.

Clay N, Garnett T, Lorimer J (2019). Dairy intensification: Drivers, impacts and alternatives. Ambio 49: 35-48. https://doi.org/10.1007/s13280-019-01177-y.

Christelle R, Pflimlin A, Le Gall A (2006). Optimisation of environmental practices in a network of dairy farms of the Atlantic Area. Proceedings of the final seminar of the Green Dairy Project, 43-65.

Coppa M, Ferlay A, Chassaing C, Agabriel A, Glasser F, Chilliard Y, Borreani G, Barcarolo R, Baars T, Kusche D, Harstad OM, Verbi J, Golecký J, Martin, B (2013). Prediction of bulk milk fatty acid composition based on farming practices collected through on-farm surveys. Journal Dairy Science 96: 4197-4211. https://doi.org/10.3168/jds.2012-6379.

Cosentino C, Adduci F, Musto M, Paolino R, Freschi P, Pecora G, D'Adamo C, Valentini V (2015). Low vs high "water footprint assessment" diet in milk production: A comparison between triticale and corn silage based diets. Emirates Journal Food Agriculture 27(3): 312-317. https://doi.org/10.9755/ejfa.v27i3.19226.

Creemers S, Van Passel S, Vigani M, Vlahos G (2019). Relationship between farmers' perception of sustainability and future farming strategies: A commodity-level comparison. AIMS Agriculture and Food 4(3): 613-642. https://doi.org/10.3934/agrfood.2019.3.613.

De Vries JW, Hoeksma P, Groenestein CM (2011). Levens Cyclus Analyse (LCA) Pilots Mineralen concentraten. Wageningen UR, Livestock Research. Rapport 480, 77 pp.

Del Hierro O, Lizarralde J, Arriaga H. Rosa E, Gallejones P, Merino P (2020). Huella de Carbono y emisiones de amoníaco. Comparación de metodologías IPCC 2006/2019. VIII REMEDIA Workshop, 22 y 23 Septiembre, Elche, Alicante. pp. 88.

Del Prado A, Mas K, Pardo G, Gallejones P (2013). Modelling the interactions between C and N farm balances and GHG emissions from confinement dairy farms in northern Spain. Science Total Enviromental 465: 156-165. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.03.064.

Diehl R, Mateo JM (1982). Fitotecnia General. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 532 pp.

Dijkstra J, Reynolds CK, Kebreab E, Bannink A, Ellis JL, France J, van Vuuren AM (2013). Challenges in ruminant nutrition: towards minimal nitrogen losses in cattle. In: Energy and protein metabolism and nutrition in sustainable animal production (Ed. Oltjen J.W., Kebreab E., Lapierre H), pp. 47-58. EAAP publication No. 134.

Eco-invent (2007). Ecoinvent Data v2.0. Final Reports Ecoinvent 2007. Swiss Centre for Life Cycle Inventories. Dubendorf, Switzerland.

FAO (2009) CROPWAT 8.0 model. Food and Agriculture Organization. Roma, Italia.

FAO (2011). Guide to good dairy farming practice. Animal Production and Health Guidelines No. 8. Food and Agriculture Organization of the United Nations and International Dairy Federation. Roma, Italia.

Flores-Calvete G, Martínez-Fernández A, Doltra J, García-Rodríguez A, Eguinoa-ancho P (2017). Estructura y sistemas de alimentación de las explotaciones lecheras de Galicia, Cornisa Cantábrica y Navarra. Informe Proyecto INIA-RTA 2012-00065-C05, 51 pp.

Gerber PJ, Steinfeld H, Henderson B, Mottet A, Opio C, Dijkman J, Falcucci A, Tempio G (2013). Tackling climate change through livestock – A global assessment of emissions and mitigation opportunities. Food and Agriculture Organisation of the United Nations (FAO), Roma, Italia.

Gislon G, Ferrero F, Bava L, Borreani G, Dal Prà A, Pacchioli MT, Sandrucci A, Zucali M, Tabacco E (2020). Forage systems and sustainability of milk production: Feed efficiency, environmental impacts and soil carbon stocks. Journal of Cleaner Production 260: 121012. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121012.

Giménez M, Bratos J (1985). Análisis de suelos Ed. ERT. España.

Gollnow S, Lundie S, Moore AD, McLaren J, van Buuren N, Sthale P, Christie K, Thylmann D, Rehl T (2014). Carbon footprint of milk production from dairy cows in Australia. International Dairy Journal 37: 31-38. https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2014.02.005.

Goossensen FR, van Den Ham A (1992). Equations to calculate nitrate leaching, Publicatie No. 33, Information and Knowledge Centre, Ede, 30 pp.

Guerci M, Bava L, Zucali M, Sandrucci A, Penati C, Tamburini A (2013). Effect of farming strategies on environmental impact of intensive dairy farms in Italy. Journal Dairy Research 80: 300-308. https://doi.org/10.1017/S0022029913000277.

Horan B, O'Brien D, Wall D (2019). Future systems: growing sustainably. Moorepark '19 Irish Dairying, Growing Sustainably, 3 julio. Teagasc. Animal & Grassland Research and Innovation Centre, Moorepark, Fermoy, Co. Cork, pp 23-31.

Humphreys J, Boland A, Upton J (2015), Improving resource use efficiency on dairy farms in northwest Europe.

Hutchings NJ, Özkan , Haan M, Sandars D (2018). How do farm models compare when estimating greenhouse gas emissions from dairy cattle production? Animal 12(20): 2171-2180. https://doi.org/10.1017/S175173111700338X.

IDF (2010). A common carbon footprint approach for the dairy. The IDF guide to standard lifecycle assessment methodology for the dairy sector. Bulletin 445/2010. The International Dairy Federation. Bruselas, Bélgica. 40 pp.

Ilbery B, Maye D (2005). Food supply chains and sustainability: evidence from specialist food producers in the Scottish/English borders. Land Use Policy 22: 331-344. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2004.06.002.

INRA (1981). Alimentación de rumiantes. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España.

IPCC (2006). Guidelines for national greenhouse gas inventories. Intergovernmental Panel on Climate Change.

Juárez M, Sánchez A, Jordá JD, Sánchez JJ (2004). Diagnóstico del potencial nutritivo del suelo. Publicaciones de la Universidad de Alicante. 100 pp.

Kaspar HF, Tiedje, JM (1981). Dissimilatory reduction of nitrate and nitrite in the bovine rumen: nitrous oxide production and effect of acetylene. Applied and Environmental Microbiology 41: 705-709. https://doi.org/10.1128/AEM.41.3.705-709.1981.

Lampridi M, Sørensen C, Bochtis D (2019). Agricultural Sustainability: A Review of Concepts and Methods. Sustainability 11: 5120. https://doi.org/10.3390/su11185120.

Leip A, Weiss F, Lesschen JP, Wethoek H (2014). The nitrogen footprint of food products in the European Union. Journal of Agricultural Science 152: S20-S33. https://doi.org/10.1017/S0021859613000786.

MAPAMA (2018). Anuario Estadística Agraria 2018. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Madrid, España.

Martínez-Suller L, Provolo G, Brennan D, Howlin T, Carton OT, Lalor STJ, Richards KG (2010). A note on the estimation of nutrient value of cattle slurry using easily determined physical and chemical parameters. Irish Journal of Agricultural and Food Research 49: 93-97.

Mekonnen M, Hoekstra Y (2010). The green, blue and grey water footprint of farm animals and animal products, Volume 1: Main report, UNESCO-IHE Institute for Water Education, Delft, The Netherlands.

Mekonnen M, Hoekstra A (2012). A global assessment of the water footprint of farm animal products. Ecosystems 15: 401-415. https://doi.org/10.1007/s10021-011-9517-8.

Methorst RG, Roep D, Verhees F (2016) Drivers for differences in dairy farmers' preceptions of farm development strategies in an area with nature and landscape as protected public goods. Local Economy 31: 554-571. https://doi.org/10.1177/0269094216655520.

Mombarg HF, Kool A, Corré WJ, Langeveld JW, Sukkel W (2003). Energy and climate yardstick, methologogy and equiations. Wageningen. p. 26.

Murphy E, de Boer IJM, van Middelaar CE, Holden NM, Shalloo L, Curran TP, Upton J (2016). Water footprinting of dairy farming in Ireland. Journal of Cleaner Production 140 (Part 2): 547-555. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.07.199.

Nielsen PH, Nielsen AM, Weidema BP, Dalgaard R, Halberg N (2003). LCA food data base. Disponible en: http://www.lcafood.dk/ (Consultado: 20 marzo 2020).

NRC (2001). Nutrient Requirements for Dairy Cattle, 7th rev. National Academy of Sciences. Washington, D.C., EE.UU. 408 pp.

O'Brien D, Geoghegan A, McNamara K, Shalloo L (2016). How can grass-based dairy farmers reduce the carbon footprint of milk? Animal Production Science 56: 495-500. https://doi.org/10.1071/AN15490.

Oenema O, Velthof G, Kuikman P (2001). Technical and policy aspects of strategies to decrease greenhouse gas emissions from agriculture. Nutrient Cycling in Agroecosystems 60: 301-315. https://doi.org/10.1023/A:1012601113751.

Pauraudeau S, van Der Werf HMG, Vertes F (2006). Evaluation of an operational method for the estimation of emissions of nitrogen compounds for a group of farms. International Journal of Agricultural Resources, Governance and Ecology 5(2/3): 224-245. https://doi.org/10.1504/IJARGE.2006.009165.

Penati C, Tamburini A, Bava L, Zucali M, Sandrucci A (2013). Environmental impact of cow milk production in the central Italian Alps using Life Cycle Assessment. Italian Journal of Animal Science Volume 12:4, e96 584-592. https://doi.org/10.4081/ijas.2013.e96.

Potts SB, Boerman JB, Lock AL, Allen MS VandeHaar MJ (2015). Residual feed intake is repeatable for lactating Holstein dairy cows fed high and low starch diets. Journal Dairy Science 98: 4735-4747. https://doi.org/10.3168/jds.2014-9019.

Powell JM, Rotz CA (2015). Measures of nitrogen use efficiency and nitrogen loss from dairy production systems. Journal Environmental Quality 44: 336-344. https://doi.org/10.2134/jeq2014.07.0299.

Rapetti L, Galassi G, Graziosi A, Crovetto G, Colombini S (2020). The effects of substituting dietary soybean meal with maize grain on milk production in dairy goats. Animals 10(2): 299. https://doi.org/10.3390/ani10020299.

Rotz C, Michael S, Chianese D, Montes F, Hafner S, Colette C (2012). The integrated farm system model. Reference Manual, Version 3.6.

Rotz C, Corson M, Chianese D, Montes F, Hafner S, Bonifacio H, Coiner C (2018). The Integrated Farm System Model: Reference Manual Version 4.4, USDA Agricultural Research Service. University Park. PA.

Rotz C, Stout R, Holly M, Kleinman P (2020). Regional environmental assessment of dairy farms. Journal of Dairy Science 103(4): 3275-3288. https://doi.org/10.3168/jds.2019-17388.

Rotz C (2020). Environmental sustainability of livestock production. Meat and Muscle Biology 4(2): 11. https://doi.org/10.22175/mmb.11103.

Salcedo G (2000). Degrabilidad ruminal de la hierba de en praderas aprovechadas bajo pastoreo rotacional, en la zona costera de Cantabria. Investigación Agraria Producción y sanidad animales 15(3): 125-135.

Salcedo G (2006). Uso sostenible del nitrógeno en la alimentación de vacas lecheras. CIMA. Centro de Investigación de Medio Ambiente Consejería Medio Ambiente del Gobierno de Cantabria. 264 pp.

Salcedo, G (2007). El ensilado en la alimentación del vacuno de leche. Resultados de quince años de experiencias en Cantabria. Pastos 37(1): 81-127.

Salcedo G (2012). Metano entérico en los sistemas lecheros de Cantabria. I REMEDIA Workshop 8 y 9 marzo, Bilbao, España.

Salcedo G (2015). DairyCant: a model for the reduction of dairy farm greenhouse gas emissions. Advances in Animal Biosciences 6: 26-28. https://doi.org/10.1017/S2040470014000466.

Salcedo G (2020). Emisiones en la producción de forrajes de las explotaciones lecheras. ITEA-Información Técnica Económica Agraria 116(4): 311-337. https://doi.org/10.12706/itea.2020.008.

Schil RLM, Oudendag DA, Van der Hoek KW, De Boer JA, Evers AG and De Haan MHA (2006). Climate Change Module BBPR (Broeikasgasmodule BBPR). Practical Report Cattle 90, Animal Sciences Group, Lelystad, the Netherlands, p. 50.

Sjaunja LO, Baevre L, Junkkarinen L, Pedersen J, Setälä J (1990). A Nordic proposal for an energy corrected milk (ECM) formula. 27th session of the International Commission for Breeding and Productivity of Milk Animals, 2-6 de julio, Paris, France.

SPSS (2006). Statistical Package for the Social Sciences. Guía breve de SPSS 15.0, SPSS Inc., Chicago.

Stehfest E, Bouwman L (2006). N_2O and NO emission from agricultural fields and soils under natural vegetation: summarizing available measurement data and modeling of global annual emissions. Nutrient Cycling Agroecosystems 74**:** 207-228. https://doi.org/10.1007/s10705-006-9000-7.

Sultana M, Uddin M, Ridoutt B, Peters K (2014). Comparison of water use in global milk production for different typical farms. Agricultural Systems 129: 9-21. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2014.05.002.

Sutton MA, Billen G, Bleeker A, Erisman JW, Grennfelt P, Grinsven H, Van Grizzetti B, Howard CM, Leip A (2011). Technical summary. En: The European Nitrogen Assessment: Sources, Effects and Policy Perspectives (Eds M.A. Sutton, C.M. Howard, J.W. Erisman, G. Billen, A. Bleeker, P. Grennfelt, H. van Grinsven, B. Grizzetti), pp. 35-52. Cambridge University Press. Cambridge. https://doi.org/10.1017/CBO9780511976988.003

Thoma G, Popp J, Shonnard D, Nutter D, Matlock M, Ulrich R, Kellogg W, Kim DS, Neiderman Z, Kemper N, Adom F, East C (2013). Regional analysis of greenhouse gas emissions from USA dairy farms: a cradle to farm-gate assessment of the American dairy industry circa 2008. International Dairy Journal 31(Suppl. 1): S29-S40 https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2012.09.010.

Thomson AJ, King JA, Smith KA, Tiffin DH (2007). Opportunities for reducing water use in agriculture. Defra Research Project Final Report for WU0101.

Thornthwaite CW (1948). An approach toward a rational classification of climate. Geographical Review 38: 55-94. https://doi.org/10.2307/210739.

Upton J, Humphreys J, Groot P, French P, Dillon P, De Boer I (2013). Energy demand on dairy farms in Ireland. Journal Dairy Science 96: 6489-6498. https://doi.org/10.3168/jds.2013-6874.

Wattiaux MA, Uddin ME, Letelier P, Jackson RD, Larson RA (2019). Invited Review: Emission and mitigation of greenhouse gases from dairy farms: The cow, the manure, and the field. Applied Animal Science 35: 238-254. https://doi.org/10.15232/aas.2018-01803.

Webb J (2001). Estimating the potential for ammonia emissions from livestock excreta and manures. Environmental Pollution 111(3): 395-406. https://doi.org/10.1016/S0269-7491(00)00090-7.

Veltman K, Rotz A, Chase L, Cooper J, Ingraham R, Izaurralde R, Jones CD, Gaillard R, Larson R, Ruark M, Salas W, Thoma G, Jolliet O (2018). A quantitative assessment of beneficial management practices to reduce carbon and reactive nitrogen footprints and phosphorus losses on dairy farms in the US Great Lakes region. Agricultural Systems 116:10-25. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2018.07.005.

Velthof GL, Brader AB, Oenema O (1996). Seasonal variations in nitrous oxide losses from managed grasslands in The Netherlands. Plant and Soil 181: 263-274. https://doi.org/10.1007/BF00012061.

Velthof G, Oenema O (1997). Nitrous oxide emission from dairy farming systems in the Netherlands. Netherland Journal Agriculture Science 45: 347-360. https://doi.org/10.18174/njas.v45i3.510.

Velthof GL, Mosquera J (2011). Calculations of nitrous oxide emissions from agriculture in the Netherlands: update of emission factors and leaching fraction. Alterra report 2151, Alterra, Wageningen, Paises Bajos.

Villar A, Vázquez-González I, Vicente F, Salcedo G, González L, Botana A, Royo LJ, Eguinoa P, Busqué J (2021). Study of the variability in fatty acids and carotenoid profiles: laying the ground for tank milk authentication. Sustainability 13: 4506. https://doi.org/10.3390/su13084506.

Weidema BP, Mortensen B, Nielsen P, Hauschild M (1996). Elements of an impact assessment of wheat production. Institute for Product Development, Technical University of Denmark, pp. 1-12.

Zucali M, Battelli G, Battini M, Bava L, Decimo M, Mattiello S, Povolo M, Brasca M (2016). Multidimensional assessment and scoring system for dairy farms. Italian Journal of Animal Science 15(3): 492-503. https://doi.org/10.1080/1828051X.2016.1218304.

(Aceptado para publicación el 4 de octubre de 2021)

La administración a cerdas de cloprostenol 24 horas después del parto reduce el intervalo destete-cubrición y mejora la tasa de partos en el ciclo siguiente

Sara Crespo[1,2,3,*] y Joaquín Gadea[1,3]

[1] Dept. Fisiología. Universidad de Murcia. 30100 Murcia, España
[2] Dept. Técnico. Cefu S.A. Paraje de la Costera, s/n, 30840 Alhama de Murcia, Murcia. España
[3] Instituto Murciano de Investigaciones Biomédicas Arrixaca (IMIB). 30100 Murcia, España

Resumen

En este estudio se seleccionaron un total de 448 cerdas productivas de diferente paridad (rango de partos del 1 al 7), asignando de forma aleatoria 215 cerdas al grupo control y 233 cerdas al grupo Cloprostenol. A éstas últimas se les inyectaron 2 ml de cloprostenol sódico (87 μg) 24 h postparto. Se registraron los datos productivos individualizados de las cerdas de cada uno de los grupos. El intervalo destete hasta la cubrición fue de 6,20 ± 0,22 días para el grupo Control y 5,72 ± 0,23 días para el grupo Cloprostenol ($P < 0,01$). En el ciclo siguiente el porcentaje de cerdas cubiertas antes de 6 días fue superior para el grupo Cloprostenol frente al control (73,39 % *vs.* 62,33 %; $P = 0,01$) y aumentó la tasa de partos en el grupo Cloprostenol (93,99 % *vs.* 86,51 %; $P < 0,01$), pero no se encontraron diferencias para el tamaño de camada (13,54 ± 0,15 lechones *vs.* 13,53 ± 0,15 lechones; $P = 0,50$). La concentración de progesterona se redujo desde la hora 0 a las 72 h en el grupo Cloprostenol (0,47 ± 0,14 ng/mL *vs.* 0,35 ± 0,13 ng/mL; $P < 0,05$), mientras que la reducción no fue significativa en el grupo control. Los resultados del presente estudio sirven para el control de los parámetros reproductivos mediante la disminución de los días no productivos postparto y el aumento de la fertilidad en el ciclo subsiguiente.

Palabras clave: Fertilidad, producción porcina, prostaglandinas, control reproductivo.

Administration of cloprostenol to sows 24 hours after farrowing improves the subsequent weaning to service interval and farrowing rate

Abstract

In this study, a total of 448 productive sows of different parity (ranging from 1 to 7), including 215 sows of the Control group and 233 sows of the PGF2α group were used. An intramuscular injection of 2 ml of sodium cloprostenol (87 μg) was given 24 h postpartum to the sows of the Cloprostenol group. The individualized productive data of the sows of each group were recorded. Blood progesterone levels decreased from 0 to 72 h post-partum in the Cloprostenol group ($P < 0.05$), but not in the Control group. Weaning to service interval was reduced in the Cloprostenol group (5.72 ± 0.23 days *vs.* 6.20 ± 0.22 days; $P < 0.01$). The percentage of sows inseminated before 6 days after farrowing was higher (73.39 % *vs.*

* Autor para correspondencia: sara.crespo@cefusa.com

Cita del artículo: Crespo S, Gadea J (2022). La administración a cerdas de cloprostenol 24 horas después del parto reduce el intervalo destete-cubrición y mejora la tasa de partos en el ciclo siguiente. ITEA-Información Técnica Económica Agraria 118(3): 427-440. https://doi.org/10.12706/itea.2021.033

62.33 %; $P = 0.01$) in the Cloprostenol group, and there was a tendency for an increase in pregnancy rate (ultrasonography evaluation at 28-30 days port insemination) in the same group (95.28 % *vs.* 90.70 %; $P = 0.06$). The farrowing rate was significantly increased in the PGF2α group (93.99 % *vs.* 86.51 %; $P < 0.01$), although no differences were found for litter size. The application of cloprostenol after farrowing improved fertility rates and reduced non-productive days.

Keywords: Fertility, pig production, prostaglandins, reproductive control.

Introducción

Uno de los principales retos de la industria porcina es mantener el alto nivel de productividad de las explotaciones. Por ello, los parámetros de rendimiento reproductivo son un objetivo de seguimiento y de mejora. Sin embargo, debemos de tener en cuenta que el factor reproductivo a su vez está influenciado por gran variedad de factores como la nutrición, el manejo, el estrés medio ambiental y la selección genética. Actualmente en las granjas de alta productividad la tasa de eliminación de cerdas por problemas reproductivos es de aproximadamente el 16 % (Tummaruk *et al.,* 2009).

Para mejorar el rendimiento reproductivo de la cerda es clave establecer un estricto control sobre el intervalo destete-celo (IDC) que permita mantener elevado el índice de partos por cerda y año, y que posibilite la inseminación del número semanal necesario de cerdas destetadas (Leman, 1992). Mantener el número de cubriciones constante en una explotación es necesario para la consecución de un número constante de partos por cerda/ año y de lechones destetados por cerda/año. Por otra parte, la organización y distribución de los partos y su adecuación con las plazas de parideras disponibles en la explotación debe optimizarse, para evitar sobrecostes económicos para la empresa (Rodríguez-Estévez, 2010).

Este parámetro de IDC, está directamente influenciado por la presencia de anestros postdestete, los cuales son considerados uno de los problemas reproductivos que más afectan económicamente a una explotación, dando lugar a un aumento en los días no productivos (DNP) (Rodríguez-Estévez, 2010). Cuanto menor es la duración del intervalo entre partos, mayor será el número de partos por cerda/año. Por lo que un día no productivo implica la reducción de un 0,007 en el número de camadas por cerda y año (Rodríguez-Estévez, 2010). Un aumento de dicho intervalo no sólo conlleva una mayor acumulación de días no productivos, sino también una asincronía en el momento de la ovulación que, en ausencia de un protocolo de inducción y sincronización del celo y de la ovulación, puede suponer en un descenso de la fertilidad en la cerda (Cassar *et al.*, 2008).

Tras el parto de la cerda, debe producirse la regeneración endometrial e involución uterina en aproximadamente tres semanas para que se inicie un nuevo ciclo estral con elevada capacidad fértil (Björkman *et al.*, 2018; Palmer *et al.*, 1965). En algunos animales se producen retrasos en la involución uterina debidas a infecciones uterinas, acompañados de infecciones mamarias, que provocan una disminución en la fertilidad y prolificidad del siguiente ciclo con graves consecuencias en los rendimientos productivos y económicos (Waller *et al.,* 2002; Glock y Bilkei, 2005). Estas infecciones uterinas son más frecuentes en animales longevos, con un número elevado de partos (Sanders y Bilkei, 2004; Glock y Bilkei, 2005). Por otra parte, la existencia de cuerpos lúteos persistentes ha sido detectada casi en el 8 % de las cerdas postparto (Elbers *et al.,* 1994), lo que implica que estos animales presenten elevadas concentracio-

nes de progesterona y un consiguiente retraso en la involución uterina (Dial *et al.,* 1984; Lopez *et al.,* 2009).

La aplicación de prostaglandinas y sus análogos tras el parto puede facilitar las contracciones uterinas y la eliminación de los loquios postparto, estimulando la involución uterina y reduciendo la incidencia de endometritis (Koketsu y Dial, 2002). Además, con esta aplicación se pretende ejercer un efecto luteolítico que permita reducir los niveles de progesterona hasta valores basales para reiniciar la ciclicidad ovárica. Por tanto, uno de los usos más comunes de la inyección postparto de prostaglandinas es como tratamiento para el síndrome de disgalaxia porcina, pudiéndose explicar este síndrome por una incompleta luteolisis que dará como resultado elevadas concentraciones de progesterona en sangre pudiendo inhibir al mismo tiempo la producción de leche (Kirkwood, 1999).

El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la inyección de cloprostenol sódico, un análogo sintético de la prostaglandina F2α, 24 h postparto sobre los diferentes parámetros reproductivos del ciclo siguiente como el intervalo destete cubrición, tasa de gestación, tasas de abortos y de partos, así como el tamaño de camada (número de lechones nacidos totales, nacidos vivos y nacidos muertos). Como los procesos de regeneración endometrial e involución uterina, y los resultados de la aplicación de prostaglandinas pueden están afectados por la duración de la lactación y la paridad de las cerdas (Morrow *et al.*, 1996; Koketsu y Dial, 2002), se ha tomado especial cuidado en comprobar que los grupos experimentales con un número elevado de animales son similares en estos parámetros, con valores medios de lactación de 27 días y una distribución de frecuencias de paridad equivalente para ambos grupos.

Material y métodos

Animales

El presente estudio fue realizado en una granja porcina situada en el sureste de España y que albergaba madres híbridas Landrance-Large x White y machos finalizadores de raza Duroc. En esta explotación con un censo de 680 cerdas reproductoras, se seleccionaron un total de 448 cerdas productivas de paridad 1-7, identificadas de manera individual mediante un crotal numerado y fueron asignadas al azar en el grupo tratado (233 cerdas grupo Cloprostenol) o Control (215 cerdas).

A las cerdas del grupo Cloprostenol se les aplicó una inyección intramuscular de 2 ml de cloprostenol sódico (87 μg/ml; 175 μg/animal) (Planate ®, MSD Animal Health, Salamanca, España) 24 h postparto, mientras que las cerdas del grupo Control no recibieron tratamiento alguno.

Para confirmar la homogeneidad en ambos grupos se recogió la información del ciclo (paridad) y tamaño de camada del parto previo (lechones nacidos vivos, muertos y totales) y se realizó el seguimiento individualizado de los días de lactación tras el tratamiento.

El manejo de la explotación fue el propio de la cerda no hiperprolífica con un 8 % de cerdas nodrizas en la paridera. La alimentación durante todo el ciclo de la cerda fue en forma de harina con un pienso específico para madres lactantes y un solo pienso para las cerdas gestantes. El manejo de la paridera se realizó en un solo destete semanal, con una edad mínima de los lechones destetados de 21 días, con una media de 27 días y un peso superior a los 6 kg al destete correspondientes a una granja comercial.

Parámetros reproductivos

Tras el destete se registraron los datos siguientes: el intervalo destete/cubrición (días), la tasa de gestación (%) y duración de ésta (días), la tasa de abortos (%), la tasa de partos (%) y el tamaño de camada en el ciclo siguiente, registrando el número total de lechones nacidos vivos (LNV), muertos (LNM) y totales (LNT).

La tasa de gestación se determinó como el número de cerdas con diagnóstico ultrasonográfico de gestación positivo sobre el número de inseminadas, realizado entre los días 28 y 30 postinseminación.

Evaluación del nivel de progesterona en sangre

En un total de 23 animales elegidos al azar se realizó la toma de muestras de sangre en el día del parto y 72 h después para la medición de los valores de progesterona (P4). La medición de P4 se realizó por técnicas de quimioluminiscencia (CONVET. Laboratorio Análisis Veterinarios, Lleida, España), donde el valor de detección mínima fue 0,020 ng/mL. En 5 muestras los valores fueron <0,02 ng/mL por lo que se les asignó de forma arbitraria un valor de 0,01 ng/mL.

En dos muestras se realizaron mediciones duplicadas para conocer el error de la medición del sistema, con valores de 0,69-0,74 ng/mL y 0,51-0,50 ng/mL, dando lugar a un coeficiente de variación de 0,03.

Análisis estadístico

Los datos se muestran como media ± error estándar de la media (sem). Se evaluó la normalidad de las variables comprobando que únicamente el parámetro concentración de progesterona cumplía los requerimientos de normalidad (Test de Shapiro Wilk; $P > 0,05$). Para la evaluación de este parámetro de progesterona se aplicó una prueba de ANOVA, mientras que el resto de los parámetros que no seguían una distribución normal fueron analizados con la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, para comparar los valores de los grupos Cloprostenol y Control, fijando se en 0,05 el valor de significación estadística.

Resultados

Primeramente, se confirmó la homogeneidad de los parámetros reproductivos de los animales asignados al azar a los grupos Cloprostenol y Control, ya que presentaban valores similares tanto en paridad como en el tamaño de camada en el parto antes de la inyección de cloprostenol, así como en la posterior de la duración de la lactación (Tabla 1; $P > 0,05$). El test de Kruskal-Wallis con valores de probabilidad superiores a 0,05 indica que la distribución de frecuencias en ambos grupos estudiados fue similar o equivalente.

No fue posible realizar una asignación de forma estratificada según paridad por las limitaciones técnicas de realizar estudios bajo condiciones comerciales. Al analizar la distribución de frecuencias del ciclo/paridad, así como los parámetros de asimetría y curtosis que definen las mismas, se observa que son muy similares. Esa similitud se confirma al aplicar diversas pruebas no paramétricas, como el mencionado Kruskal-Wallis, U de Mann-Whitney y Kolmogorov-Smirnov. Según estas pruebas estadísticas la distribución de frecuencias de paridad no es diferente significativamente.

Al medir los niveles de progesterona en sangre a las 0 h y 72 h tras el primer parto, se obtuvieron valores en el rango entre 0,10 ng/mL y 0,72 ng/mL, con valores medios de 0,41 ± 0,02 ng/mL a las 0 h, sin diferencias entre los grupos Cloprostenol y Control ($P > 0,05$; Tabla 2, Figura 2). A las 72 h se obtuvieron valores medios de

Tabla 1. Parámetros reproductivos de los animales objeto de estudio (media ± sem) agrupados en grupo Cloprostenol y Control. Paridad, tamaño de camada del ciclo antes del tratamiento y duración de la lactación tras el tratamiento. Se aplicó un test no paramétrico de Kruskal-Wallis para comprobar las posibles diferencias en la distribución de frecuencias, con un nivel de significación estadística *P* = 0,05).
Table 1. Reproductive parameters of the animals (mean ± sem) grouped in Cloprostenol and Control groups. Parity, cycle litter size before treatment and lactation duration after treatment. A non-parametric Kruskal-Wallis test was applied to check the possible differences in the frequency distribution, with a level of statistical significance P = 0.05).

Variable	Control (n = 215)	Cloprostenol (n = 233)	*P* Kruskal-Wallis
Paridad	3,50 ± 0,11	3,36 ± 0,12	0,47
LNV	12,64 ± 0,09	12,60 ± 0,09	0,66
LNM	0,92 ± 0,06	1,03 ± 0,07	0,74
LNT	13,56 ± 0,12	13,63 ± 0,12	0,50
Días lactación	27,19 ± 0,23	26,96 ± 0,30	0,43

LNV: Lechones nacidos vivos. LNM: Lechones nacidos muertos LNT: Lechones nacidos totales.

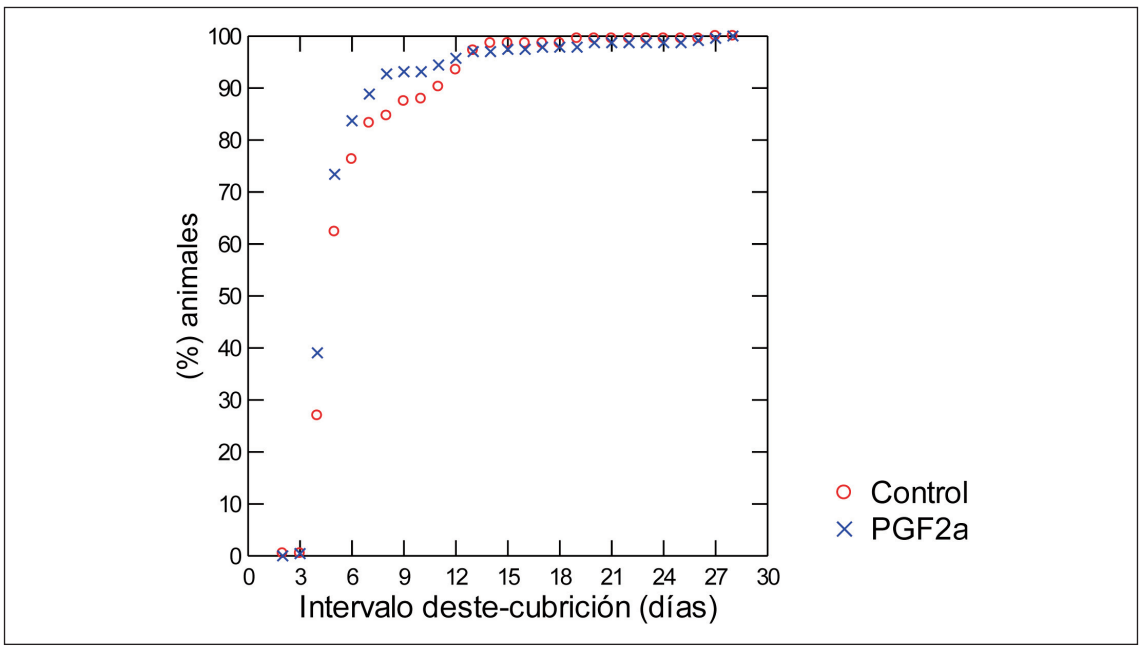


Figura 1. Frecuencias acumuladas de animales que salen en celo, tras sucesivos días de intervalo destete-cubrición en los animales a los que se le inyectó 24 h tras el parto un análogo de prostaglandinas, Cloprostenol (PGF2) o no (Control). La distribución de frecuencias fue significativamente diferente entre grupos (Chi cuadrado *P* = 0,03).
Figure 1. Cumulative frequencies of animals in heat, after successive days of weaning-mating interval in animals that were injected 24 h after parturition with a prostaglandin analog, Cloprostenol (PGF2) or not (Control). The frequency distribution was significantly different between groups (Chi square P = 0.03).

Tabla 2. Valores de progesterona en muestras séricas medidas a las 0 h y 72 h tras el parto en animales a los que se le inyectó 24 h tras el parto un análogo de prostaglandinas Cloprostenol o no (Control). Se muestra la media ± sem (ng/mL).
Table 2. Progesterone (P4) values (ng / mL) in serum samples measured at 0 h and 72 h after parturition in animals that were injected 24 h after parturition with a prostaglandin analog Cloprostenol or not (Control). The mean ± sem is shown.

	Control (n = 11)	Cloprostenol (n = 12)
Paridad	3,08 ± 0,40	3,00 ± 0,47
P4 a 0 h	0,44 ± 0,16	0,47 ± 0,14*
P4 a 72 h	0,38 ± 0,20	0,35 ± 0,13*
Reducción de P4 a las 72 h (%)	8,89 ± 12,04	26,83 ± 6,53

* Diferencia entre el valor de P4 a las 0 h y 72 h. $P = 0,04$.

0,36 ± 0,03 ng/mL que tendían a ser menores a los obtenidos a las 0 h ($P = 0,06$; Tabla 2). Esta disminución a las 72 h con respecto a la de 0 h fue significativa para el grupo de animales inyectados con Cloprostenol ($P = 0,04$; Tabla 2), mientras que no lo fue para el grupo control ($P > 0,05$). La paridad de los animales donde se pudo analizar la progesterona fue equivalente (Control: 3,08 ± 0,40 y Cloprotenol: 3,00 ± 0,47; test de Kruskal Willis P = 0,85; Tabla 2, Figura 2) y no se encontró correlación entre la paridad y los valores de progesterona medidos a las 0 h y 72 h tras el tratamiento ($P > 0,05$).

Al analizar el número de días desde destete hasta la cubrición observamos una reducción significativa desde los 6,20 ± 0,22 días para control hasta los 5,72 ± 0,23 días para el grupo Cloprostenol (Tabla 3; $P < 0,01$). Al observar con más detalle la distribución de los días destete cubrición conjuntamente para ambos grupos se observa como el día de cubrición está adelantado en el grupo Cloprostenol (Figura 1; Prueba de Chi cuadrado $P = 0,03$) y se confirma al observar que el porcentaje de cerdas cubiertas en ≤6 días es superior en el grupo Cloprostenol (73,39 % *vs*. 62,33 %; $P = 0,01$; Tabla 3).

Por otra parte, se observó una tendencia a que la tasa de gestación fuera superior en el grupo Cloprostenol (Tabla 3; 90,7 % *vs*. 95,28 %; $P = 0,06$), y una menor tasa de abortos (Tabla 3; 4,61 % *vs*. 1,36 %; $P = 0,04$), mientras que la tasa de partos fue superior en el grupo Cloprostenol (86,51 % *vs*. 93,99 %; $P < 0,01$; Tabla 3). Por el contrario, no se detectaron diferencias entre los dos grupos en el número de lechones vivos, muertos y totales ($P > 0,05$; Tabla 3 y Figura 3).

Este aumento en la tasa de parto fue especialmente marcado en las cerdas de mayor número de partos, de manera que, para cerdas con 6 y 7 partos, la tasa de partos aumentó del 69,57 % del grupo control al 96 % del grupo PGF2α ($P < 0,01$; Figura 3).

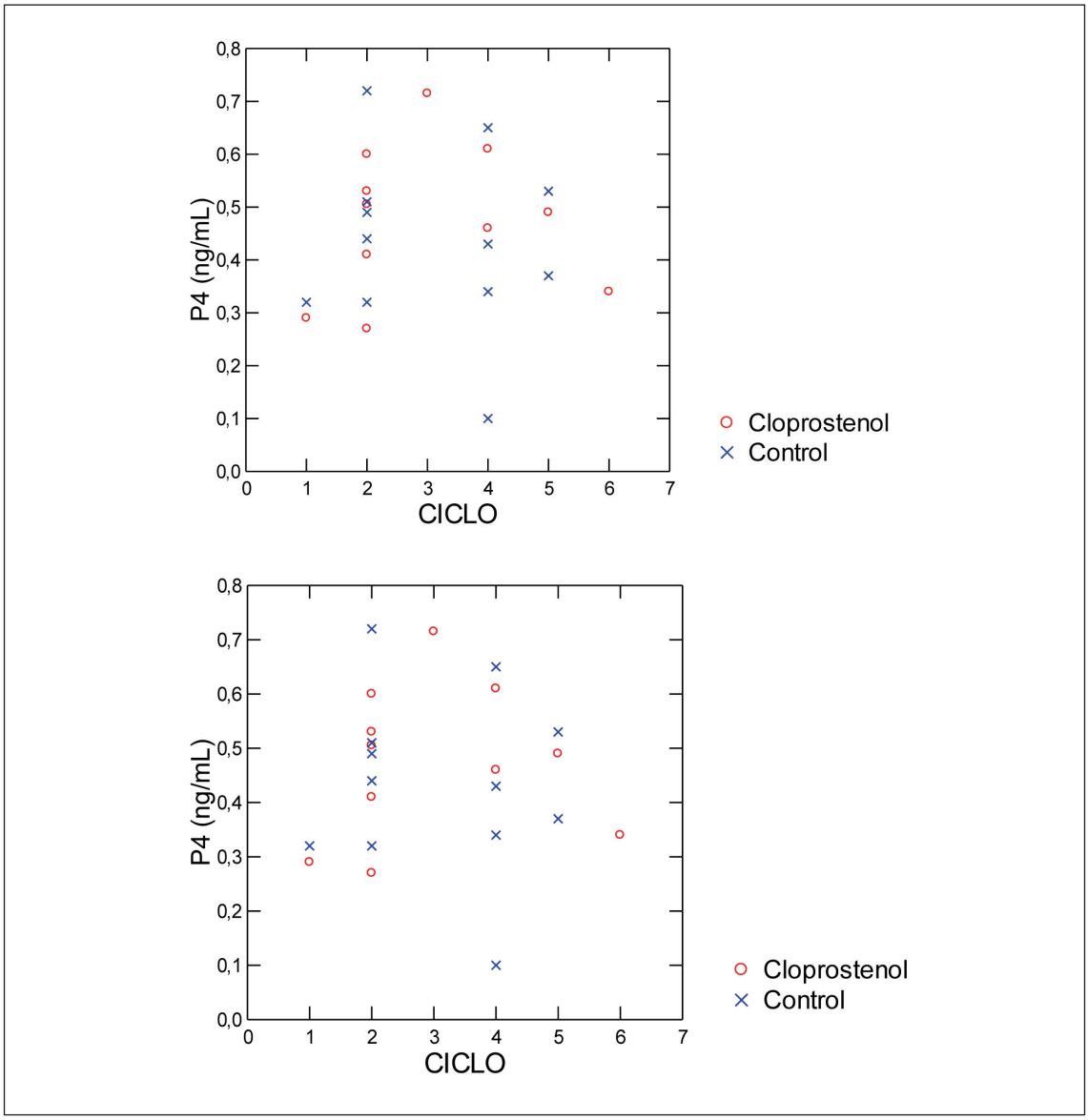


Figura 2. Valores de progesterona (P4; ng/mL) en sangre de los animales en el día 0 del tratamiento. Valores individuales y medias de valores en los grupos Control y Cloprostenol agrupados por paridad.
Figure 2. Progesterone values (P4, ng / mL) in the blood of the animals on day 0 of treatment. Individual values and mean values in the Control and Cloprostenol groups grouped by parity.

Tabla 3. Parámetros reproductivos en el ciclo siguiente al tratamiento de los animales a los que se le inyectó 24 h tras el parto un análogo de prostaglandinas (Cloprostenol) o no (Control). Se muestra la media ± sem.
Table 3. Reproductive parameters in the cycle following the treatment of animals that were injected 24 hours after parturition with a prostaglandin analog (Cloprostenol) or not (Control). The mean ± sem is shown.

Variable	Control (n = 215)	Cloprostenol (n = 233)	*P* Kruskal-Wallis
Días destete-cubrición	6,20 ± 0,22	5,72 ± 0,23	<0,01
% cerdas cubiertas <6 días	62,33	73,39	0,01
Tasa gestación (%)	90,70	95,28	
	(195/215)	(220/233)	0,06
Tasa abortos (%) sobre inseminadas	4,18	1,29	
	(9/215)	(3/233)	0,06
Tasa abortos (%) sobre gestantes	4,61	1,36	
	(9/195)	(3/220)	0,04
Días gestación	115,33 ± 0,14	115,66 ± 0,12	0,07
Tasa de partos (%)	86,51	93,99	0,01
LNV	12,21 ± 0,11	12,29 ± 0,12	0,67
LNM	1,32 ± 0,10	1,26 ± 0,09	0,74
LNT	13,53 ± 0,15	13,54 ± 0,15	0,50

LNV: Lechones nacidos vivos. LNM: Lechones nacidos muertos LNT: Lechones nacidos totales.

Discusión

La aplicación de prostaglandinas es una práctica ampliamente utilizada en el sector porcino con diversas aplicaciones y finalidades (De Rensis *et al.*, 2012). Actualmente se utilizan principalmente dos tipos de compuestos, por una parte, Dinoprost-trometamina (equivalente a la PGF2α natural) y por otra, el análogo sintético cloprostenol sódico, aunque se han utilizado otros compuestos como Luprostriol y Alfaprostol. El Cloprostenol presenta una mayor afinidad que el Dinoprost por los receptores de PGF2α y una mayor vida media en la circulación sanguínea, del orden de 3 h frente a unos pocos minutos de este último (Revisado por De Rensis *et al.*, 2012). Así pues, la efectividad del análogo sintético es superior al compuesto natural.

Una de las aplicaciones de las prostaglandinas y sus análogos está destinada a disminuir el intervalo destete cubrición y acelerar la aparición de un nuevo ciclo estral (Morrow *et al.*, 1996; Kirkwood, 1999; Koketsu y Dial, 2002; Vanderhaeghe *et al*., 2008; Lopez *et al*., 2009; Roongsitthichai *et al.*, 2015). Sin embargo, el efecto de su aplicación sobre la tasa de partos y el tamaño de camada ofrece resultados contradictorios, con estudios que detectan mejoras en el tamaño de camada (Vanderhaeghe *et al.*, 2008) y otros que no encuentran diferencias frente a los grupos control (Morrow *et al.*, 1996; Kirkwood, 1999). En nuestro estudio, la aplicación de prostaglan-

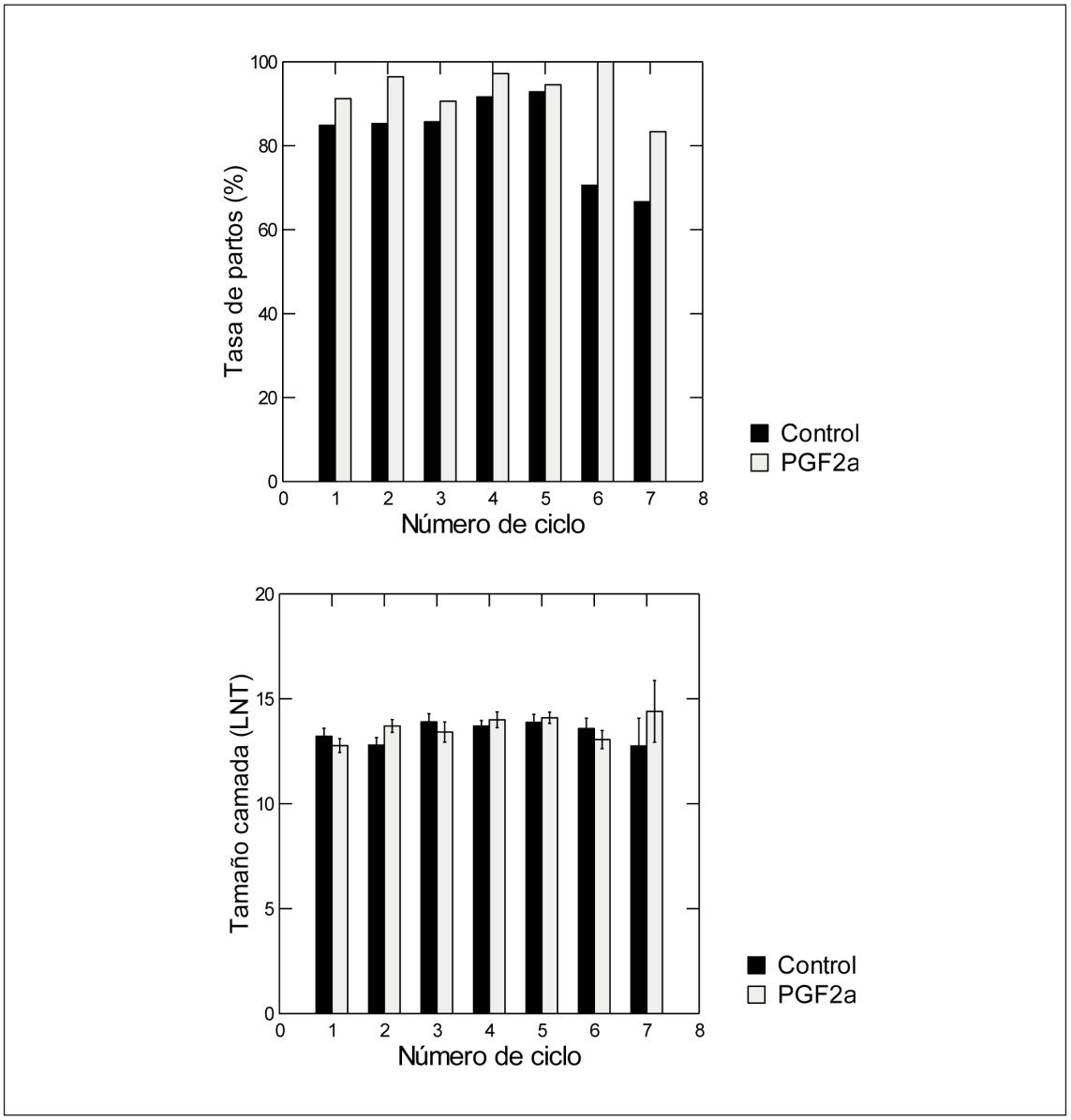


Figura 3. Tasa de partos y tamaño de camada (lechones nacidos totales; LNT) en el ciclo siguiente al tratamiento en los animales a los que se le inyectó 24 h tras el parto un análogo de prostaglandinas Cloprostenol (PGF2) o no (Control).

Figure 3. Parturition rate and litter size (total born piglets; LNT) in the cycle following treatment in animals that were injected 24 h after parturition with a prostaglandin analog Cloprostenol (PGF2) or not (Control).

dinas tras el parto en una explotación sin problemas reproductivos tuvo un efecto positivo sobre diversos parámetros en el ciclo productivo subsiguiente como reducir el intervalo destete cubrición, la reducción de la tasa de abortos y el incremento en la tasa de partos. Aunque no se vio afectado el tamaño de camada.

Por una parte, la acción luteolítica de las prostaglandinas podría haber favorecido el descenso de los niveles de progesterona en sangre en los primeros días del postparto. En nuestro estudio, con un número limitado de muestras (n = 23), se detectaron niveles de progesterona en el primer día post parto inferiores a 0,75 ng/mL en todas las muestras. Estos valores son inferiores al nivel de referencia 1 ng/mL e indican que no se presentaron problemas de cuerpos lúteos persistentes, o casos de liberación excesiva de progesterona por parte de la placenta o procedente de la grasa corporal que se moviliza en las primeras fases de la lactación (de Passillé *et al.*, 1993; Miller *et al.*, 2004). Aun así, la administración de prostaglandinas supuso un descenso significativo de los niveles de progesterona entre el día del parto y 72 h después, mientras que ese descenso no fue significativo para el grupo control, lo que pone de manifiesto la efectividad del tratamiento, aunque quizá por las limitaciones del tamaño muestral no se encontraron diferencias al comparar los valores de progesterona entre los grupos. Estos resultados están en coherencia con los descritos previamente en estudios en los que se inyectaron prostaglandinas en las primeras horas del postparto en condiciones similares (Tarrier *et al.*, 1989; Vanderhaeghe *et al.*, 2008).

Es igualmente probable que la administración de PGF2α acelerase la involución uterina postparto y la eliminación de loquios y células dendríticas inmunitarias. En este sentido, las prostaglandinas inducen un aumento de la frecuencia y la amplitud de las contracciones uterinas en cerdas durante el estro (Langendijk *et al.*, 2002) y estos compuestos podrían tener una actividad similar tras el parto. Diversos estudios muestran que los niveles elevados de progesterona tienen un efecto supresor de los mecanismos de inmunidad innata, lo que hace al útero más susceptible a la infección y endometritis (revisado por Lewis, 2004). La aplicación de PGF2α postparto puede reducir los casos de metritis e inflamaciones mamarias, como se puso de manifiesto al calcular el porcentaje de cerdas que requieren el uso de antibióticos (Izeta-Mayorga *et al.*, 1998). Por el contrario, se ha descrito que la inyección de prostaglandinas tras el parto puede tener como efecto secundario molestias abdominales en una proporción variable de los animales tratados, y que en todo caso son transitorias debido a la reducida vida media de estos compuestos (Widowski y Curtis, 1989).

Los efectos de la administración de la prostaglandina durante las primeras horas postparto se pueden comprobar de forma diferida aproximadamente un mes después cuando se valora el intervalo destete celo. En el presente estudio se pone de manifiesto que se adelanta la curva de la presentación del estro tras el destete al aplicar prostaglandina (Figura 1; $P < 0,05$) y aumenta el porcentaje de cerdas que salen en celo en los primeros 6 días postdestete ($P = 0,01$; Tabla 3), y una reducción de los valores medios de intervalo celo ($P < 0,01$; Tabla 3). Estudios previos han mostrado resultados variables para este parámetro; por una parte, algunos detectan una reducción en el intervalo destete celo (Chenault *et al.*, 1996; Izeta-Mayorga *et al.*, 1998) mientras que otros estudios no detectaron diferencias significativas (Morrow *et al.*, 1996; Kirkwood, 1999; Koketsu y Dial, 2002; Keita *et al.*, 2008; Vanderhaeghe *et al.*, 2008).

Por otro parte, la mejora observada en la tasa de abortos, siendo superior en el grupo control (Tabla 3; $P = 0,04$) y en la tasa de partos, siendo superior en el grupo PGF2α ($P < 0,01$;

Tabla 3) puede explicarse de la siguiente manera: debemos tener en cuenta que después del parto la regeneración endometrial y la involución uterina ocurre aproximadamente entre los 15 y 21 días (Bazer *et al.,*1993) condicionada por un aumento en las concentraciones de PGF2α endógena, al realizar el aporte exógeno de prostaglandinas conseguiríamos una mejor involución uterina y por consiguiente una mejora en las condiciones de alojamiento de los embriones (Vanderhaeghe *et al.,* 2008).

La falta de resultados concluyentes o divergencia en los mismos puede ser debida en parte por el uso de diferentes tipos de compuestos análogos de las prostaglandinas (entre otros Dinoprost, Cloprostenol, Luprostriol y Alfaprostol) con características y eficiencias diferentes o bien debidas a la aplicación del tratamiento en con características productivas y sanitarias diferentes, especialmente la incidencia de problemas reproductivos como las descargas vaginales como sugiere Kirkwood (1999). Este estudio se ha realizado con un número elevado de animales, realizado en una granja sin problemas productivos, y asegurando la homogeneidad de los grupos a comparar que se han distribuido al azar. Por lo que los resultados y conclusiones alcanzados pueden ser referencia para su aplicación en el sector porcino, bajo condiciones comerciales, y basados en un número elevado de animales que aseguran la potencia estadística.

Las diferencias encontradas en la bibliografía sobre los resultados de la aplicación de prostaglandinas en el postparto pueden también estar influenciadas por diferencias experimentales, entre ellas la duración de lactación y la distribución de las cerdas por paridad (Morrow *et al.*, 1996; Koketsu y Dial, 2002). De manera que, estos autores encontraron efectos positivos en la aplicación de las prostaglandinas sobre el tamaño de camada cuando la duración de la lactación fue menor de 17 días, pero no detectaron un efecto del tratamiento cuando la duración de la lactación fue mayor (Koketsu y Dial, 2002). Teniendo en cuenta que la cerda alcanza el pico de lactación hacia el día 15, momento a partir del cual disminuye la demanda metabólica de la lactación hasta alcanzar el final de ésta (Bruun *et al.*, 2016), un aumento del periodo de lactancia, manteniendo una ingesta adecuada puede suponer una mejora el estado metabólico y corporal de la hembra al destete, con la consiguiente mejora de su función ovárica y posterior fertilidad (Cassar *et al.*, 2008).

Se ha demostrado que los niveles de progesterona descienden tras la inyección de PGF2α tras el parto (Liptrap, 1980), provocando la regresión completa del cuerpo lúteo. Insuficientes cantidades de PGF2α pueden producir una luteolisis incompleta (Liptrap, 1980; Vanderhaeghe *et al.,* 2008) o el mantenimiento de cuerpos lúteos persistentes que podrían explicar una disminución en la tasa de partos de las cerdas de mayor paridad (Koketsu y Dial, 2002; Vanderhaeghe *et al.*, 2008). En nuestro estudio, el aumento en la tasa de parto fue especialmente marcado en las cerdas con mayor número de partos (6 y 7 partos) ($P < 0,01$; Figura 2). Por ello, diversos autores han puesto de manifiesto que la efectividad de los tratamientos con prostaglandinas es más eficiente conforme aumenta el número de ciclos reproductivos (Koketsu y Dial, 2002; Vanderhaeghe *et al.*, 2008). Esto pudiera estar relacionado con que las cerdas de más ciclos además de presentar una capacidad de involución uterina más baja pudieran presentar cuerpos lúteos persistentes con mayor frecuencia (Vanderhaeghe *et al.*, 2008).

En términos productivos y económicos la aplicación de este tratamiento de Cloprotenol en nuestras condiciones experimentales supuso una producción adicional de 0,99 LNV en el grupo frente al control, ya que en el grupo Cloprostenol, se alcanzó un 93,99 % de tasa de partos y 12,29 LNV, lo que supone un total

de 11,55 LNV por cerda inseminada mientras que en el grupo Control se obtuvieron 10,56 LNV por cerda inseminada, resultante de un 86,51 % de tasa de partos y 12,21 LNV. Esta mejora en la producción justificaría el coste de la aplicación del fármaco (aproximadamente 1,10-1,50 €/inyección), especialmente en cerdas de mayor paridad. Para determinar con precisión las estrategias de uso de estos fármacos sería de interés aplicar análisis de curvas ROC, como hemos aplicado previamente para otros parámetros productivos (Crespo y Gadea, 2021), para determinar los puntos de corte en paridad a partir del cual es rentable el uso de este tratamiento al superar el beneficio productivo el coste del tratamiento.

Conclusiones

La inyección de cloprostenol tras el parto en cerdas con una lactación media de 27 días permite una mejora en los parámetros reproductivos de una explotación reduciendo los días no productivos y mejorando los índices de fertilidad en el ciclo productivo siguientes. Estos efectos positivos son más evidentes en animales con elevada paridad.

Agradecimientos

Agradecemos el trabajo y dedicación del equipo de operarios de la explotación.

Referencias bibliográficas

Bazer FW, Geisert RD, Zavy MT (1993). Fertilization, Cleavage, and implantation. En: Reproduction in farm animals (Ed. Hafez ESE), p. 188-212. Lea & Febiger, Philadelphia.

Björkman S, Oliviero C, Kauffold J, Soede NM, Peltoniemi OAT (2018). Prolonged parturition and impaired placenta expulsion increase the risk of postpartum metritis and delay uterine involution in sows. Theriogenology 106: 87-92. https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2017.10.003.

Bruun TS, Amdi C, Vinther J, Schop M, Strathe AB, Hansen CF (2016). Reproductive performance of "nurse sows" in Danish piggeries. Theriogenology 86: 981-987. https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2016.03.023.

Cassar G, Kirkwood RN, Seguin MJ, Widowski TM, Farzan A, Zanella AJ, Friendship RM (2008). Influence of stage of gestation at grouping and presence of boars on farrowing rate and litter size of group-housed sows. Journal of Swine Health and Production 16: 81-85.

Chenault J, Hanson B, Gilette G, Lasvergeres F (1996). Reduction in the days from weaning to oestrus and fertile service in sows following a single post-partum injection of lutalyse®/dinolytictm sterile solution. 14th International pig veterinary society congress, 7-10 julio, Bologna, Italy, p. 628.

Crespo S, Gadea J (2021). Relación entre el peso al nacimiento de los lechones de cerdas hiperprolíficas y los parámetros productivos y económicos en los cerdos de engorde. ITEA-Información Técnica Económica Agraria 117: 173-190. https://doi.org/10.12706/itea.2020.022.

de Passillé AM, Rushen J, Foxcroft GR, Aherne FX, Schaefer A (1993). Performance of young pigs: Relationships with periparturient progesterone, prolactin, and insulin of sows. Journal of Animal Science 71: 179-184. https://doi.org/10.2527/1993.711179x.

De Rensis F, Saleri R, Tummaruk P, Techakumphu M, Kirkwood RN (2012). Prostaglandin F2α and control of reproduction in female swine: A review. Theriogenology 77: 1-11. https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2011.07.035.

Dial GD (1984). Clinical applications of prostaglandins in swine. Journal of the American Veterinary Medical Association 185: 1523-1530.

Elbers ARW, Van Rossem H, Schukken YH, Martin SW, Van Exsel AdCA, Friendship RM, Tielen MJM (1994). Return to oestrus after first insemination in sow herds (incidence, seasonality, and association with reproductivity and some blood parameters). Veterinary Quarterly 16: 100-109. https://doi.org/10.1080/01652176.1994.9694428.

Glock XT, Bilkei G (2005). The effect of postparturient urogenital diseases on the lifetime reproductive performance of sows. Canadian Veterinary Journal 46: 1103-1107.

Izeta-Mayorga J, Terminal O, Soto M, Ramos R, Ramirez F (1998). PGF2α (dinoprost tromethamine) 24 hrs post-farrowing and its effects on the weaning to service interval, fertility and the effects of antibiotic treatments in sows of different parities. En Proceedings 15th International Pig Veterinary Society Congress, 5-9 julio, Birmingham, UK. pp. 89.

Keita A, Pagot E, Pommier P (2008). Field evaluation of the effect of one injection of cloprostenol (planate®) to sows 24-48 hours post-partum. En Proceedings 20th International Pig Veterinary Society Congress, 22-26 junio, Durban, South Africa. pp. 208.

Kirkwood RN (1999). Influence of postpartum cloprostenol injection on sow and litter performance. Swine Health and Production 7: 121-122.

Koketsu Y, Dial GD (2002). Administration of prostaglandin F2α after farrowing alters the association between lactation length and subsequent litter size in mid- or old-parity sows. Theriogenology 57: 837-843. https://doi.org/10.1016/s0093-691x(01)00678-1.

Langendijk P, Bouwman EG, Kidson A, Kirkwood RN, Soede NM, Kemp B (2002). Role of myometrial activity in sperm transport through the genital tract and fertilisation in sows. Reproduction 123: 683-690.

Leman AD (1992). Optimizing farrowing rate and litter size and minimizing nonproductive sow days. Veterinary Clinics of North America. Food Animal Practice 8: 609-621. https://doi.org/10.1016/s0749-0720(15)30707-6.

Lewis GS (2004). Steroidal regulation of uterine immune defenses. Animal Reproduction Science 82-83: 281-294. https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2004.04.026.

Liptrap R (1980). Prostaglandin F2α and progesterone in experimental hypogalactia in sows. Research in Veterinary Science 29: 240-247. https://doi.org/10.1016/S0034-5288(18)32670-5.

Lopez JV, Ptaszynska M, Gonzalez P, Jiménez M, Martens MR (2009). Beneficial effects on the reproductive performance of sows of administering prostaglandin analogues after farrowing. Veterinary Record 164: 807-809. https://doi.org/10.1136/vr.164.26.807.

Miller HM, Foxcroft GR, Aherne FX (2004). Increasing feed intake in late gestation does not affect plasma progesterone concentration in the sow. Theriogenology 62: 1618-1626. https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2004.03.002.

Morrow WM, Britt J, Belschner A, Neeley G, O'-Carroll J (1996). Effect of injecting sows with prostaglandin F2α immediately postpartum on subsequent reproductive performance. Swine Health Production 4: 73-78.

Palmer WM, Teague HS, Venzke WG (1965). Macroscopic observations on the reproductive tract of the sow during lactation and early postweaning. Journal of Animal Science 24: 541-545. https://doi.org/10.2527/jas1965.242541x.

Rodríguez-Estévez V (2010). El anestro y la infertilidad estacional de la cerda. Editorial Server. 208 pp.

Roongsitthichai A, Tummaruk P, Am-in N (2015). Postparturient administration of prostaglandin F2 alpha facilitates weaning-to-service interval in primiparous Sows. Thai Journal of Veterinary Medicine 45: 279-282.

Sanders LM, Bilkei G (2004). Urogenital diseases and their effect on reproductive performance in high-parity sows. Tijdschrift Voor Diergeneeskunde 129: 108-112.

Tarrier MP, Kattesh HG, Gillespie BE (1989). Progesterone levels and litter performance of sows following postpartum administration of prostaglandin F2α. Theriogenology 31: 393-398. https://doi.org/10.1016/0093-691x(89)90545-1.

Tummaruk P, Kesdangsakonwut S, Kunavongkrit A (2009). Relationships among specific reasons for culling, reproductive data, and gross morphology of the genital tracts in gilts culled due to reproductive failure in Thailand. Theriogenology 71(2): 369-375. https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2008.08.003.

Vanderhaeghe C, Dewulf J, Daems A, Van Soom A, de Kruif A, Maes D (2008). Influence of postpartum cloprostenol treatment in sows on subsequent reproductive performance under field conditions. Reproduction In Domestic Animals 43: 484-489. https://doi.org/10.1111/j.1439-0531.2007.00942.x.

Waller CM, Bilkei G, Cameron RD (2002). Effect of periparturient diseases accompanied by excessive vulval discharge and weaning to mating interval on sow reproductive performance. Australian Veterinary Journal 80: 545-549. https://doi.org/10.1111/j.1751-0813.2002.tb11033.x.

Widowski TM, Curtis SE (1989). Behavioral responses of periparturient sows and juvenile pigs to prostaglandin F2 alpha. Journal of Animal Science 67: 3266-3276. https://doi.org/10.2527/jas1989.67123266x.

(Aceptado para publicación el 13 de octubre de 2021)

Costo y efecto del Virus de la Diarrea Epidémica Porcina en el desempeño (re)productivo de una granja de ciclo completo en México

Nathaniel A. Rogers-Montoya[1], Francisco E. Martínez-Castañeda[2] y María E. Trujillo-Ortega[1,*]

[1] Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional Autónoma de México, Av. Universidad 3000. Coyoacán. 04510 Ciudad de México, México

[2] Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales, Universidad Autónoma del Estado de México, Estado de México, Instituto Literario 100, Centro, Toluca. 50000, México

Resumen

Se analizaron 483 servicios y 403 partos para determinar el desempeño productivo, así como el costo por lechón destetado, de una granja comercial de ciclo completo en el altiplano del estado de México, afectada por primera vez por el Virus de la Diarrea Epidémica Porcina. Se utilizó un Modelo de medidas repetidas para determinar la duración del brote y un análisis de varianza basado en un modelo de un solo criterio de clasificación para comparar el desempeño (re)productivo de las cerdas de la granja. El costo por lechón destetado se estimó utilizando una formula general de costos, con los siguientes periodos de análisis: 1) global de 52 semanas; 2) 22 semanas antes del brote; 3) las 8 semanas que duró el brote; y 4) 22 semanas después del brote. La tasa de mortalidad alcanzó un 16,60 % para las 52 semanas, además alcanzó un 11,70 %, 52,20 % y 14,90 %; antes, durante y después del brote, respectivamente. Se observó una diferencia en el número de lechones destetados, duración de la lactancia y número de días para recibir el primer servicio postdestete. El costo por lechón destetado fue mayor durante las 8 semanas del brote (USD 29,02), con una ganancia promedio de USD 18,66, mientras que el menor costo (USD 23,02) se registró en el periodo anterior al brote, con una ganancia promedio de USD 24,66. A pesar de que el desempeño de la granja regresó a los niveles productivos anteriores al brote, tanto el costo de producción por lechón destetado como la tasa de mortalidad se mantuvieron más elevados después del brote.

Palabras clave: Enfermedades, economía, porcinocultura, productividad.

Cost and effect of Porcine Epidemic Diarrhea Virus on the (re)productive performance of a farm in Mexico

Abstract

Analysis of 483 services and 403 farrowings were carried out in order to determine the (re)productive performance, as well as the cost per weaned piglet, of a naïve semi-technified, full-cycle farm in the highland area of the State of Mexico affected by a PED outbreak. A repeated-measurement design was used to ascertain the duration of the outbreak and a one-way analysis of variance to compare (re)productive

* Autor para correspondencia: elenam@unam.mx

Cita del artículo: Rogers-Montoya NA, Martínez-Castañeda FE, Trujillo-Ortega ME (2022). Costo y efecto del Virus de la Diarrea Epidémica Porcina en el desempeño (re)productivo y reproductivo de una granja de ciclo completo en México. ITEA-Información Técnica Económica Agraria 118(3): 441-452. https://doi.org/10.12706/itea.2021.034

performance. The cost per weaned piglet was determined using a general cost formula, with the following four periods being established and studied: 1) a global period 52 weeks that included the outbreak; 2) a pre-outbreak period of 22 weeks; 3) the 8-week period that the outbreak lasted, and 4) a post-outbreak period of 22 weeks. Piglet mortalities reached 16.60 % for the global period that was studied, and 11.70 %, 52.20 % and 14.90 % respectively for the periods before, during and after the outbreak. Differences in the number of weaned piglets, lactation length and the number of first post-farrowing service days were observed. The average cost per weaned piglet was highest during the period of the outbreak (USD 29.02), with an average profit of USD 18.66, while the lowest cost (USD 23.02) was recorded during the 22 weeks before the said period, with an average profit of USD 24.66. Although performance on the farm returned to pre-disease levels, both the cost per weaned piglet and the pre-weaning mortality levels, remained higher than they had been before the outbreak for at least 22 weeks after it.

Keywords: Diseases, economy, swine production, productivity.

Introducción

La Diarrea Epidémica Porcina (DEP) es una enfermedad viral altamente contagiosa que afecta a los cerdos en todas sus etapas productivas (Jung *et al.*, 2020). Después de los brotes masivos con cepas altamente patogénicas, ocurridos en China en 2010 y posteriormente en Estados Unidos en el 2013 (Huang *et al*., 2013), el Virus de la Diarrea Epidémica Porcina (VDEP) atrajo atención global por las enormes pérdidas económicas que generó en el sector porcino (Schulz y Tonsor, 2015).

La DEP se caracteriza por producir diarrea acuosa y vómitos en cualquier edad del animal (Stevenson *et al*., 2013) y tiene un efecto devastador en lechones neonatos, con pérdidas de alrededor de 1.688 lechones por cada 1.000 cerdas en producción (Goede y Morrison, 2016). El impacto de la enfermedad a nivel de granja depende en gran medida del estado inmunológico y epidemiológico de la piara y de la región, así como la previa exposición de los animales al virus (Schulz y Tonsor, 2015).

El VDEP presenta una alta morbilidad en todas las etapas productivas del cerdo pero con una tasa de mortalidad del 80 % al 100 % en lechones neonatos (Niederwerder y Hesse, 2018), tasa que disminuye drásticamente en camadas de mayor edad. Aunque no provoca la muerte en lechones próximos al destete, su crecimiento se puede ver afectado por el virus (Shibata *et al*., 2000; Curry *et al*., 2017). Los signos clínicos reportados en animales adultos son fiebre, deshidratación y anorexia (Jung y Saif, 2015), mientras que a nivel de piara se reporta agalactia y ciclos reproductivos anormales (Song *et al*., 2015). Las cerdas infectadas durante el primer tercio de la gestación, principalmente nulíparas, pueden tener camadas más pequeñas (Olanratmanee *et al*., 2010). La tasa de mortalidad en camadas de cerdas infectadas durante el último tercio de la gestación o durante la lactancia es mayor, por la falta de inmunidad pasiva materna (Langel *et al*., 2016; Furutani *et al*., 2017). El VDEP no lesiona el aparato reproductivo de la cerda ni a sus productos pero puede alterar la tasa de fertilidad y retorno al estro, efecto que puede ser más severo en hembras nulíparas afectando su desempeño subsecuente (Sasaki *et al*., 2017).

El VDEP es un Alfacoronavirus, miembro del orden Nidovirales y perteneciente a la familia Coronaviridae (Jung y Saif, 2015). Actualmente VDEP, PDCoV y SDAP-CoV son considerados Coronavirus emergentes (Wang *et al*., 2019).

En la década de los ochenta ocurrieron brotes esporádicos de la DEP en Europa y la enfermedad se volvió endémica en el continente

asiático (Pensaert y Martelli, 2016). Después de los brotes de DEP en China en el 2010, se comprobó que las mismas cepas causaron los brotes masivos en Estados Unidos en 2013 (Chen *et al*., 2016), los cuales se diseminaron rápidamente a lo largo de América del Norte y México (Trujillo-Ortega *et al*., 2016). Asimismo se encontraron también cepas de PDCoV circulando (Pérez-Rivera *et al*., 2019).

La exposición controlada con el virus de campo (autoinóculación o feedback) continúa siendo la estrategia más efectiva para reducir el impacto de la enfermedad a nivel de granja. La investigación ha sido dirigida para diseñar una vacuna efectiva que desarrolle una inmunidad mucosal, a través del eje intestino-glándula mamaria-inmunoglobulinas A secretoras (sIgA) (Langel *et al*., 2020). Debido a que aún no existe vacuna comercial que confiera una protección efectiva a la hembra y su camada, la DEP continua causando pérdidas económicas en el sector porcino (Lin *et al*., 2016; Amador *et al*., 2017). El objetivo del presente estudio fue evaluar los efectos de la DEP en el desempeño de las variables (re)productivas de una granja comercial de mediana escala de ciclo completo, afectada por primera vez con el virus y determinar el costo para producir un lechón destetado.

Material y métodos

Descripción de la granja

El estudio se realizó en una granja de ciclo completo localizada en el altiplano del estado de México, a una altura de 1.670 m.s.n.m. La unidad de producción contaba con 170 hembras cruza Landrace x Yorkshire, con un ciclo reproductivo de 116 días de gestación, 21 días de lactancia y 7 días para el primer servicio postdestete, 2,36 partos por hembra y año, y una fertilidad del 84 %. Los parámetros productivos se obtuvieron directamente de la base de datos de la granja.

Toda la piara se vacunó contra el Virus del Síndrome Respiratorio y Reproductivo Porcino (PRRSV). Además, las hembras nulíparas se vacunaron contra influenza, rinitis atrófica (*Pasteurella multocida* tipo D y *Bordetella bronchiseptica*), Parvovirus, Leptospira y Erisipela entre los 140-200 días de edad. Después del primer parto, las hembras se vacunaron en sabana cada 6 meses contra Influenza y cada 4 meses contra Parvovirosis, Leptospirosis y Erisipelas.

El brote comenzó alrededor del 22 de marzo del 2014, con casos de diarrea y vómito en las naves de gestación y de engorda. Los primeros días de abril, un elevado número de lechones presentaron diarrea, vómito y signos de deshidratación, siendo la última la principal causa de mortalidad. Se realizaron necropsias en lechones recién muertos para confirmar la presencia del VDEP basándose en las lesiones, las cuales incluyeron: pérdida de masa muscular, deshidratación, ileítis, enteritis y adelgazamiento de la pared intestinal. Posteriormente se realizó diagnóstico confirmatorio de VDEP con la prueba de reacción en cadena de la polimerasa (Hernández-Trujillo *et al*., 2018).

Una vez presentados los signos clínicos en las salas de maternidad, se tomaron las siguientes medidas de control: destete temprano, inmunización, limpieza y desinfección rigurosa de las instalaciones. Además, se implementó un protocolo para desinfectar al personal y vehículos cuando entraban o salían de la granja. Una semana después de la presentación de los signos clínicos, se inmunizó a toda la piara reproductora con un inóculo producido a partir de intestinos macerados de lechones infectados (feedback), los cuales fueron mezclados en una solución para ser administrada vía oral diariamente durante 13 días. Se administraron 10 ml diariamente a todas las hembras reproductoras; reemplazos, nulíparas y multíparas.

Análisis estadístico

Desempeño (re)productivo de la cerda

La primera parte del análisis consistió en determinar el efecto de la DEP en el desempeño (re)productivo de las cerdas al parto, antes y durante el brote. Este efecto se evaluó considerando los siguientes grupos: 1) Antes del brote; 2) 0-38 días de gestación durante el brote; 3) 39-76 días de gestación durante el brote; 4) 77-116 días de gestación durante el brote; y 5) lactancia durante el brote. Los datos se analizaron mediante un análisis de varianza basado en un modelo de un solo criterio de clasificación. Las medias fueron comparadas con la prueba de Tukey ($P < 0,05$) y se estimaron intervalos de confianza. Se evaluaron las siguientes variables: total de lechones nacidos, lechones nacidos vivos, lechones nacidos muertos, lechones momificados, lechones destetados, duración de la lactancia, días para el primer servicio después del destete y tasa de fertilidad.

Duración del brote y lechones destetados

La segunda parte del análisis consistió en determinar la duración del brote. Se estableció como unidad de medida las camadas al momento del destete. Se utilizó un modelo de medidas repetidas (Park *et al.*, 2009). Se comprobó la duración del brote analizando estadísticamente cada semana hasta el punto en donde no se encontró diferencia ($P > 0,05$). Se fijó la mejor estructura de covarianza y se usó una prueba de Tukey ajustada (Kramer, 1956). La variable analizada fue el número de lechones destetados de los siguientes momentos: 1) Anual; 2) Antes del brote; 3) Durante el brote; y 4) Después del brote (Goede y Morrison, 2016).

Análisis de costos

Una vez determinada la duración del brote, se realizó un análisis de costos por lechón destetado considerando los siguientes momentos: 1) Costo total anual; 2) Costo antes del brote; 3) Costo durante el brote; y 4) Costo después del brote (Goede y Morrison, 2016). Se utilizó la metodología de Muñoz Luna y Rouco Yáñez (1995). La fórmula general fue: C = F + V; dónde C = costo del lechón destetado, F = costo fijo y V = costo variable. El costo fijo se calculó de la siguiente manera: F = L + S+ Co + R+ A+ Fi + Ot; dónde L = costo de mano de obra, S = costo de suministros, Co = costo de energía y combustible, R = costo de reparación y mantenimiento, A = costo de amortización de activos fijos, Fi = costo fijo de oportunidad (son generados por utilizar los recursos capitales en determinada alternativa económica, por lo tanto, renunciando a otra alternativa, se consideró colocar los recursos en una entidad financiera con un interés de 5,43 %) y Ot= otros costos. El costo variable se calculó con la fórmula: V = [(AC + CAT + IA + AL + M + MoT + T + Vo/ (TOTCER×W)] × z, dónde AC = amortización de la cerda, CAT = costo alimento de la cerda, IA = costo inseminación artificial, AL = costo alimento para lechón, M = costo medicamento, MoT = costo de mano de obra temporal, T = costo de transporte, Vo = costo variable de oportunidad (son generados por utilizar los recursos capitales en determinada alternativa económica, por lo tanto, renunciando a otra alternativa, se consideró colocar los recursos en una entidad financiera con un interés de 5,43 %), TOTCER = número total de cerdas, W = factor de ponderación para los lechones y z = número de lechones destetados. La amortización de la cerda (AC)[1] se calculó con la fór-

1. La unidad básica de producción es el lechón comercial, asimismo el número de lechones será función del número de cerdas productivas que en una explotación porcina serán las cerdas dadas de alta como reproductoras, de tal forma que el cálculo de dicho número para un año contable se realiza tomando la media aritmética de los censos al final de cada mes de ese año. De todos los parámetros que intervienen en la configuración del coste variable, el que está sometida a una mayor incertidumbre económica derivada de la eficiencia en la gestión técnica de la explotación es el cálculo de la cuota de amortización anual de las reproductoras (Muñoz Luna y Rouco Yáñez, 1995).

mula: AC = [PH – (PD – (1– MORR))] / (PARM/ PAR) – REP; dónde PH = precio por hembra, PD = precio por hembra desechada, MORR = % de mortalidad de las cerdas, PARM = número total promedio de partos por hembra, PAR = partos promedio por hembra y año y REP = cerdas reemplazadas.

PARM = ∑(CER × n) / TOTCER; dónde CER = número de hembras, n = número de partos. Esto permitió calcular el número de partos sin importar la etapa fisiológica de las cerdas. PAR = 365 / [(116 + LAC + INT) × (1 – NAB + VAC/ CUB)], dónde LAC = duración de la lactancia, INT = intervalo del destete a servicio fértil, NAB = número de abortos, VAC= número de cerdas no productivas, y CUB = número de servicios realizados. El factor de ponderación w = PAR × VIV × (1 – MOR), dónde VIV = número de lechones nacidos vivos por parto, y MOR = mortalidad en lactancia. Los valores monetarios están en Dólares Americanos con una tasa de cambio dólar: peso, 1:16,7789 publicada por el Banco de México (2014) en el mes de agosto.

Cada concepto considerado en la estructura de costos se obtuvo directamente de los datos productivos y financieros de la granja estudiada, considerando el salario mínimo de la región y el precio por lechón destetado el cual no varió durante el periodo del estudio.

Resultados

Desempeño (re)productivo de la cerda

Las variables productivas: lechones nacidos totales, lechones nacidos vivos y lechones momificados no se vio afectada por la DEP (Tabla 1). El número de lechones destetados, la duración de la lactancia y el número de días de destete a primer servicio fueron diferentes ($P < 0,05$).

El grupo de hembras que se infectó durante los 77-116 días de gestación fue el más afectado en cuanto al número de lechones destetados ($P < 0,05$), con un promedio de 1,76 lechones destetados y un intervalo de confianza (IC) de 0,65 lechones a 2,87 lechones destetados. Seguido por el grupo de hembras en lactancia, las cuales destetaron en promedio 5,32 lechones con un IC de 3,36 lechones a 7,28 lechones (Tabla 1).

Las hembras infectadas entre los 77-116 días de gestación fueron diferentes ($P < 0,05$) en la duración de su lactancia y días de destete a primer servicio (Tabla 1).

Duración del brote y lechones destetados

La duración del brote fue de 8 semanas y los periodos de análisis quedaron: 1) Costo total anual (52 semanas); 2) Costo antes del brote (22 semanas); 3) Costo durante el brote (8 semanas); y 4) Costo después del brote (22 semanas).

El número de lechones destetados para las 52 semanas fue de 9,17; 22 semanas antes del brote de 11,70; 8 semanas de brote de 4,50; y para las 22 semanas después del brote de 9,34. La tasa de mortalidad para los mismos periodos fue de 16,60 %; 11,70 %; 52,20 % y 14,90 %; respectivamente.

Análisis de costos

La DEP no afectó a la partida de AMG. Por el contrario, el AML presentó una reducción después del aumento en la mortalidad de lechones cuando comenzó el brote y el AMD se incrementó. La marcada reducción en el concepto AL está relacionado directamente con la muerte de los lechones durante el brote, sin embargo, también se vio afectado por la cantidad de lechones producidos en los momentos analizados. El costo de tratamientos (M) incrementó durante el brote porque la granja se enfocó en recuperar a las hembras gestantes los antes posible. La mano de obra temporal se incrementó por las medidas de control tomadas durante el brote de DEP (Tabla 2).

Tabla 1. Numero de observaciones (n), intervalo de confianza límite inferior (IC-I), media (M), intervalo de confianza límite superior (IC-S) para lechones nacidos totales (LNT), lechones nacidos vivos (LNV), lechones nacidos muertos (LNM), lechones momificados (LNMo), lechones destetados (LD), duración de la lactancia (DLact) y días para el primer servicio postdestete (DPSD) de las hembras 1 año antes del brote con Virus de la Diarrea Epidémica Porcina (VDEP) y por etapa productiva cuando el brote fue diagnosticado en la granja.
Table 1. Number of observations (n), lower confidence interval mean (IC-I), mean (M) and upper confidence interval mean (IC-S) for total piglets born (LNT), live-born piglets (LNV), stillborn piglets (LNM), mummified piglets (LNMo), weaned piglets (LD), length of lactation (DLact) and first post-farrowing service (DPSD) of the sows 1 year before the PEDV outbreak and by productive stage when the outbreak began.

Grupo	Antes del brote de VDEP			Días de gestación cuando las hembras se infectaron									Lactancia		
				0-38			39-76			77-116					
n	393			50			37			34			25		
	IC-I	M	IC-S	IC-I	M	IC-S	IC-I	M	IC-S	IC-I	M	IC-S	IC-I	M	IC-S
LNT	11,46	11,99	12,51	11,14	12,22	13,30	11,32	12,22	13,11	11,15	12,26	13,38	11,57	12,96	14,35
LNV	10,75	11,21	11,68	10,09	11,12	12,15	10,43	11,30	12,16	10,17	11,29	12,42	10,72	12,00	13,28
LNM	0,28	0,40	0,51	0,40	0,64	0,88	0,35	0,65	0,94	0,24	0,56	0,88	0,14	0,52	0,90
LNMo	0,27	0,38	0,49	0,21	0,46	0,71	0,08	0,27	0,46	0,11	0,41	0,71	0,12	0,44	0,76
LD	9,66	10,04	10,42	8,68	9,36	10,04	6,97	8,08	9,19	0,65	1,76	2,87	3,36	5,32	7,28
Dlact	19,41	20,22	21,03	17,91	19,16	20,41	19,14	20,43	21,72	6,98	10,65	14,32	19,52	22,92	26,32
DPSD	5,79	7,09	8,38	4,64	6,83	9,01	4,32	7,15	9,98	14,16	18,13	22,11	3,59	8,22	12,86

Tabla 2. Estructura de costos en dólares Americanos durante las 52 semanas analizadas, antes del brote con Virus de la Diarrea Epidémica Porcina (VDEP) (22 semanas), durante el brote (8 semanas) y después del brote (22 semanas).
Table 2. Cost structure in American Dollars during the 52 weeks analysed; before the Porcine Epidemic Diarrhea virus (PEDV) outbreak (22 weeks); during the outbreak (8 weeks); and after it (22 weeks).

Concepto	52 semanas	Antes	Durante	Después
Costos fijos				
Mo (mano de obra)	11.776,70	11.776,70	11.776,70	11.776,70
I (Insumos)	7.151,84	7.151,84	7.151,84	7.151,84
Ec (Energía y combustible)	2.479,30	2.479,30	2.479,30	2.479,30
R (Reparación y mantenimiento)	595,99	595,99	595,99	595,99
Fi (Fijo de oportunidad)	1.210,99	1.210,99	1.210,99	1.210,99
Costo total fijo	23.214,82	23.214,82	23.214,82	23.214,82
Costos variables				
AC (Amortización de la cerda)	1.172,61	1.172,61	1.172,61	1.172,61
AMG (Alimento gestación)	26.627,27	26.627,27	26.627,27	26.627,27
AML (Alimento lactancia)	22.814,81	25.007,11	19.061,88	23.395,79
AMD (Alimento destete)	1.997,05	1.570,09	3.709,45	1.976,39
AMTot (Alimento total cerda)	51.439,13	53.204,47	49.398,60	51.999,45
AL (Alimento lechones)	2.631,16	2.877,93	1.291,19	2.679,94
IA (Inseminación artificial)	2.313,05	2.313,05	2.313,05	2.313,05
M (Medicamentos)	4.789,37	5.140,86	5.927,29	5.051,20
MOt (Mano de obra temporal)	0	0	1.132,37	0
Vo (Variable de oportunidad)	3.397,43	3.513,69	3.259,68	3.430,69
Costo total variable	65.742,75	68.222,61	64.494,79	66.646,94
Costo total variable*	63.168,36	69.118,47	28.330,67	64.304,51
Costo total	86.703,52	92.631,28	53.005,92	87.817,32
Costo por lechón destetado	23,57	23,02	29,02	23,44

*Incluyendo: /(TOTCER × W) × z.

La diferencia observada en el costo total variable, cuando se incluyó el factor de ponderación para el número de lechones, demostró que el efecto más importante de la enfermedad en el costo fue la muerte de los lechones neonatos.

Discusión

Desempeño (re)productivo de la cerda

La DEP tiene un efecto devastador en lechones neonatos (Goede y Morrison, 2016) y puede afectar a cerdos de cualquier edad (Stevenson *et al.*, 2013). Al no lesionar el aparato reproductivo de la cerda, no deben presentarse variaciones en la cantidad de lechones nacidos o sus variables, durante o después del brote.

Las camadas más afectadas durante el brote fueron aquellas que nacieron de hembras en la etapa de lactancia o en último tercio de la gestación al momento de la infección con VDEP, por lo que el número de lechones destetados fue menor. Jung *et al.,* (2020) mencionan que el VDEP afecta con más severidad a lechones de menos de 2 semanas de edad, por la falta de anticuerpos maternos y su reducida capacidad de intercambiar enterocitos.

A nivel de hato, Diel *et al*. (2016) reportan que los signos clínicos como diarrea o vómito son más evidentes entre los 5 días y 10 días después de iniciado el brote, y es hasta el décimo día o más que comienzan a aparecer los anticuerpos neutralizantes, junto con las inmunoglobulinas-A-secretoras que son esenciales para la protección del lechón neonato a través de la leche de su madre. Por otro lado, en las naves de maternidad, se reporta que los signos clínicos y la mortalidad empieza a disminuir entre el día 21 y 28 después de iniciado el brote, sin embargo, en la granja estudiada la tasa de mortalidad se mantuvo elevada por más tiempo que lo reportado.

Respecto al acortamiento de lactancia, el grupo de hembras que se infectó entre los 77 días y 116 días de gestación presentó la lactancia más corta, esto se debe a que perdieron sus camadas o estas fueron destetadas antes de tiempo. Según van Wettere *et al*. (2017), al acortarse la lactancia, los días de destete a primer servicio se incrementan debido a que la involución uterina no ha finalizado. Sasaki *et al*. (2017) reportan que las hembras próximas a parir cuando inicia un brote con DEP tardan más días en recibir su próximo servicio postdestete. Olanratmanee *et al*. (2010) concuerdan que la reducción de la lactancia aumenta el número de repeticiones, incrementa el intervalo destete primer servicio y se reporta una mayor mortalidad en sus camadas, resultados similares con los del presente estudio.

Duración del brote y lechones destetados

La duración del brote fue de 8 semanas y la tasa de mortalidad promedio fue del 52,20 %. Furutani *et al*. (2017) y Jung *et al*. (2020) mencionan que a pesar de que la tasa de mortalidad puede alcanzar un 95 % durante el pico de la epidemia, en promedio alcanza niveles del 40-50 % en el transcurso del brote. De acuerdo con Goede y Morrison (2016), hasta 1.688 lechones pueden morir por cada 1.000 cerdas en producción. Basándose en sus estimaciones, en el presente estudio se debieron perder alrededor de 300 lechones, cuando en realidad murieron 864 lechones durante las 8 semanas del brote con DEP. Puranaveja *et al.* (2009), Goede y Morrison (2016), Weng *et al.* (2016) y Furutani *et al.* (2019) concuerdan en que la duración y el impacto económico de la enfermedad depende también, de la medidas de control tomadas, la probable interacción con otros agentes infecciosos, el estado general de salud del hato y el sistema de producción y manejo de la explotación (Jung y Saif, 2015).

Análisis de costos

El costo de producción por lechón fue más alto durante las 8 semanas del brote (USD 29,02), USD 6,00 más elevado comparado con el costo antes del brote y USD 5,58 comparado con el costo después del brote.

La literatura científica relacionada con el impacto económico de la DEP es limitada, asimismo, estimar el impacto de una enfermedad en ganado es una tarea complicada, debido a las diferentes formas en las que se puede evaluar su efecto (mortalidad, aumento en días improductivos, más días para alcanzar un peso). En el presente estudio, un aumento considerable en la tasa de mortalidad de lechones neonatos provocó una disminución en la productividad (lechones destetados), lo que se considera como el principal impacto económico de la enfermedad en la granja estudiada. Además, hubo un aumento considerable en días improductivos, acompañado de una reducción en la duración de la lactancia, lo que causó que el costo de alimentación para la cerda improductiva aumentara. De igual manera, la implementación de medidas de control aumentó los costos de producción por el concepto de mano obra adicional y medicamentos para tratar a las hembras y lechones. Weng *et al*. (2016) describen un comportamiento similar, dónde mencionan que el aumento en el costo de alimentación se debe a que hay una alteración en el tiempo que permanecen las hembras en las distintas etapas productivas. Schulz y Tonsor (2015) reportan que la DEP es una enfermedad caracterizada por la muerte de lechones de menos de 2 semanas de edad, el principal efecto económico está vinculado al número de lechones vendidos por camada.

Weng *et al*. (2016) reportan pérdidas económicas a causa de la DEP de 452 dólares Canadienses (CAD) por cerda y año (USD 414), mientras que Provis (2014) reporta pérdidas de los CAD 234 (USD 181,77) a los CAD 432 (USD 323,15). En el presente estudio la pérdida total de lechones fue de 864, considerando un precio por lechón destetado de USD 47,68 (precio de venta en la región) = USD 41.152,52. Si este monto se divide entre el número de cerdas (170) la pérdida aproximada por cerda y año sería de USD 242,33. Goede y Morrison (2016) destacan la importancia de evaluar el efecto de la enfermedad en todas las etapas productivas, para determinar la relación costo-beneficio.

Una vez terminado el brote de la DEP, el costo por lechón después del brote fue de USD 23,44, es decir, 42 centavos más elevado que antes del brote. Una explicación para el incremento se puede deber a la sinergia con otros agentes infecciosos o a la demora en implementar medidas de control, ya que, de acuerdo con Provis (2014) se pueden alcanzar tasas de mortalidad del 100 % hasta por 7 semanas, dependiendo la calidad del programa de control implementado. En el presente análisis se alcanzaron mortalidades del 100 % en 2 de las 8 semanas del brote. Sin embargo, Goede y Morrison (2016) y Schulz y Tonsor (2015) mencionan que el tiempo que transcurre para la estabilización de los niveles productivos depende de factores como la ubicación de la granja, las condiciones sanitarias, factores genéticos, prácticas de manejo y costos de producción.

En México, Rodríguez y Díaz (2013) mencionan que el 30 % de la producción de cerdo se lleva a cabo en sistemas de mediana escala, los cuales comparten similitudes en el tamaño de hato, prácticas de manejo, infraestructura, ciclo reproductivo, genética, alimentación, entre otros, con la granja estudiada.

Conclusión

El grupo de hembras más afectado fue el infectado durante los 77 días y 116 días de gestación, mientras que el segundo grupo más

afectado fue el que se infectó con el virus durante la lactancia. Las variables que presentaron diferencia fueron: número de lechones destetados, duración de la lactancia y el intervalo destete primer servicio.

El brote de la DEP duró 8 semanas con un efecto negativo en el número de lechones destetados, afectando por consiguiente los ingresos de la granja.

El costo por lechón destetado antes del brote fue de USD 23,02; durante el brote fue de USD 29,02 y después del brote de USD 23,44.

Agradecimientos

Los autores agradecen al proyecto PAPIIT No. IN220525 de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca No. 451633 otorgada a Nathaniel Alec Rogers Montoya para llevar a cabo sus estudios de Maestría.

Referencias bibliográficas

Amador J, Trujillo ME, Mendoza SE, Herrera J, Martínez FE (2017). Efecto de la Diarrea Epidémica Porcina (PED) en el número de lechones en granjas porcinas de México. LI Congreso de la Asociación de Médicos Especialistas en cerdos (AMVEC), 19-22 de julio, pp. 230-231.

Chen Q, Gauger PC, Stafne MR, Thomas JT, Madson DM, Huang H, Zheng Y, Li G, Zhang J (2016). Pathogenesis comparison between the United States porcine epidemic diarrhoea virus prototype and S-INDEL-variant strains in conventional neonatal piglets. Journal of General Virology 97(5): 1107-1121. https://doi.org/10.1099/jgv.0.000419.

Curry SM, Schwartz KJ, Yoon KJ, Gabler NK, Burrough ER (2017). Effects of porcine epidemic diarrhea virus infection on nursery pig intestinal function and barrier integrity. Veterinary Microbiology 211: 58-66. https://doi.org/10.1016/j.vetmic.2017.09.021.

Diel DG, Lawson S, Okda F, Singrey A, Clement T, Fernandes MHV, Christopher-Hennings J, Nelson EA (2016). Porcine epidemic diarrhea virus: An overview of current virological and serological diagnostic methods. Virus Research 226: 60-70. https://doi.org/10.1016/j.virusres.2016.05.013.

Furutani A, Kawabata T, Sueyoshi M, Sasaki Y (2017). Impact of porcine epidemic diarrhea on herd and individual Berkshire sow productivity. Animal Reproduction Science 183: 1-8. https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2017.06.013.

Furutani A, Sekiguchi S, Sueyoshi M, Sasaki Y (2019). Effect of intervention practices to control the porcine epidemic diarrhea (PED) outbreak during the first epidemic year (2013-2014) on time to absence of clinical signs and the number of dead piglets per sow in Japan. Preventive Veterinary Medicine 169: 104710. https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2019.104710.

Goede D, Morrison RB (2016). Production impact & time to stability in sow herds infected with porcine epidemic diarrhea virus (PEDV). Preventive Veterinary Medicine 123: 202-207. https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2015.11.010.

Hernández-Trujillo E, Bolaños-López D, Beltrán-Figueroa R, Sarmiento-Silva RE, Juárez-López N, Trujillo-Ortega ME (2018). Characterization of acute phase proteins associated with a porcine epidemic diarrhea virus outbreak in suckling piglets and sows in Mexico. TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas 21: 5-12. https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2019.1.140.

Huang YW, Dickerman AW, Piñeyro P, Li L, Fang L, Kiehne R, Opriessning T, Meng XJ (2013). Origin, evolution, and genotyping of emergent porcine epidemic diarrhea virus strains in the United States. mBio 4(5): 1-8. https://doi.org/10.1128/mBio.00737-13.

Jung K, Saif LJ (2015). Porcine epidemic diarrhea virus infection: Etiology, epidemiology, patho-

genesis and immunoprophylaxis. Veterinary Journal 204(2): 134-143. https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2015.02.017.

Jung K, Saif LJ, Wang Q (2020). Porcine epidemic diarrhea virus (PEDV): An update on etiology, transmission, pathogenesis, and prevention and control. Virus Research 286: 198045. https://doi.org/10.1016/j.virusres.2020.198045.

Kramer CY (1956). Extension of Multiple range tests to group means with unequal numbers of replications. Biometrics 12: 307-310. https://doi.org/10.2307/3001469.

Langel SN, Chimelo Paim F, Lager KM, Vlasova AN, Saif LJ (2016). Lactogenic immunity and vaccines for porcine epidemic diarrhea virus (PEDV): Historical and current concepts. Virus Research 226: 93-107. https://doi.org/10.1016/j.virusres.2016.05.016.

Langel SN, Wang Q, Vlasova AN, Saif LJ (2020). Host factors affecting generation of immunity against porcine epidemic diarrhea virus in pregnant and lactating swine and passive protection of neonates. Pathogens 9(2): 130. https://doi.org/10.3390/pathogens9020130.

Lin JD, Lin CF, Chung WB, Chiou MT, Lin CN (2016). Impact of mated female nonproductive days in breeding herd after porcine epidemic diarrhea virus outbreak. PLoS ONE 11(1): 1-12. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0147316.

Niederwerder MC, Hesse RA (2018). Swine enteric coronavirus disease: A review of 4 years with porcine epidemic diarrhoea virus and porcine deltacoronavirus in the United States and Canada. Transboundary and Emerging Diseases 65(3): 660-675. https://doi.org/10.1111/tbed.12823.

Muñoz Luna A, Rouco Yáñez A (1995). Análisis de costes de producción de lechón comercial en explotaciones tipo de la Región de Murcia. Archivos de Zootecnia 44: 391-402.

Olanratmanee E, Kunavongkrit A, Tummaruk P (2010). Impact of porcine epidemic diarrhea virus infection at different periods of pregnancy on subsequent reproductive performance in gilts and sows. Animal Reproduction Science 122(1-2): 42-51. https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2010.07.004.

Park E, Cho M, Ki CS (2009). Correct use of repeated measures analysis of variance. Korean Journal of Laboratory Medicine 29(1): 1-9. https://doi.org/10.3343/kjlm.2009.29.1.1.

Pensaert MB, Martelli P (2016). Porcine epidemic diarrhea: A retrospect from Europe and matters of debate. Virus Research 226: 1-6. https://doi.org/10.1016/j.virusres.2016.05.030.

Pérez-Rivera C, Ramírez-Mendoza H, Mendoza-Elvira S, Segura-Velázquez R, Sánchez-Betancourt JI (2019). First report and phylogenetic analysis of porcine deltacoronavirus in Mexico. Transboundary and Emerging Diseases 66(4): 1436-1441. https://doi.org/10.1111/tbed.13193.

Provis P (2014). Presentation in 2014 Manitoba Producer Meeting, hosted by Prairie Swine Centre (co-sponsored by Elanco Animal Health). William Glesby Centre, Portage la Prairie, Manitoba.

Puranaveja S, Poolperm P, Lertwatcharasarakul P, Kesdaengsakonwut S, Boonsoongnern A, Urairong K, Kitikoon P, Choojai P, Kedkovid R, Teankum K, Thanawongnuwech R (2009). Chinese-like strain of porcine epidemic diarrhea virus, Thailand. Emerging Infectious Diseases 15(7): 1112-1115. https://doi.org/10.3201/eid1507.081256.

Rodríguez G, Díaz M (2013). Situación de la porcicultura porcina en México. En: Porcicultura mexicana: auge y crisis de un sector (Ed. Bobadilla E, Martínez FE), p. 53-81. Universidad Autónoma del Estado de México, México.

Sasaki Y, Kawabata T, Noguchi M (2017). The effect of porcine epidemic diarrhea (PED) on ovarian function and reproductive performance after weaning in Berkshire sows. Tropical Animal Health and Production 49(4): 879-882. https://doi.org/10.1007/s11250-017-1257-0.

Schulz LL, Tonsor GT (2015). Assessment of the economic impacts of porcine epidemic diarrhea virus in the United States. Journal of Animal Science 93(11): 5111-5118. https://doi.org/10.2527/jas.2015-9136.

Shibata I, Tsuda T, Mori M, Ono M, Sueyoshi M, Uruno K (2000). Isolation of porcine epidemic diarrhea virus in porcine cell cultures and ex-

perimental infection of pigs of different ages. Veterinary Microbiology 72(3-4): 173-182. https://doi.org/10.1016/S0378-1135(99)00199-6.

Song D, Moon H, Kang B (2015). Porcine epidemic diarrhea: a review of current epidemiology and available vaccines. Clinical and Experimental Vaccine Research 4(2): 166-176. https://doi.org/10.7774/cevr.2015.4.2.166.

Stevenson GW, Hoang H, Schwartz KJ (2013). Emergence of Porcine epidemic diarrhea virus in the United States: Clinical signs, lesions, and viral genomic sequences. Journal of Veterinary Diagnostic Investigation 25(5): 649-654. https://doi.org/10.1177/1040638713501675.

Trujillo-Ortega ME, Beltrán-Figueroa R, García-Hernández ME, Juárez-Ramírez M, Sotomayor-González A, Hernández-Villegas EN, Becerra-Hernández JF, Sarmiento-Silva RE (2016). Isolation and characterization of porcine epidemic diarrhea virus associated with the 2014 disease outbreak in Mexico : case report. BMC Veterinary Research 12: 132. https://doi.org/10.1186/s12917-016-0763-z.

van Wettere WHEJ, Weaver AC, Greenwood EC, Terry R, Hughes PE, Kind KL (2017). Controlling lactation oestrus: The final frontier for breeding herd management. Molecular Reproduction and Development 84(9): 883-896. https://doi.org/10.1002/mrd.22838.

Wang Q, Vlasova AN, Kenney SP, Saif LJ (2019). Emerging and re-emerging coronaviruses in pigs. Current Opinion in Virology 34: 39-49. https://doi.org/10.1016/j.coviro.2018.12.001.

Weng L, Weersink A, Poljak Z, de Lange K, von Massow M (2016). An economic evaluation of intervention strategies for Porcine Epidemic Diarrhea (PED). Preventive Veterinary Medicine 134: 58-68. https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2016.09.018.

(Aceptado para publicación el 22 de octubre de 2021)

La responsabilidad social empresarial y el desempeño financiero en el sector agroalimentario: efecto mediador de la imagen y reputación

Antonio Martos-Pedrero[1,*], David Jiménez-Castillo[2] y Francisco Joaquín Cortés-García[3]

[1] Facultad de Humanidades, Universidad de Almería. Ctra. Sacramento, s/n, 04120 La Cañada, Almería, España
[2] Departamento de Economía y Empresa, Centro de Investigación CIMEDES, Universidad de Almería (ceiA3). Ctra. Sacramento, s/n, 04120, La Cañada, Almería, España
[3] Facultad de Administración y Negocios, Universidad Autónoma de Chile. 7500912 Santiago, Chile

Resumen

Las claras implicaciones económicas, sociales y medioambientales del sector agroalimentario, y el importante escrutinio público al que está sometido, evidencian la necesidad de promover y fortalecer las prácticas de responsabilidad social empresarial en dicho sector. El presente trabajo analiza la relación entre la responsabilidad social empresarial y el desempeño financiero de las empresas del sector agroalimentario, con un interés específico en comprender el papel que desempeña la imagen y reputación en esta relación. Utilizando la teoría de los *stakeholders*, se considera la responsabilidad social empresarial como un concepto amplio y multidimensional que incluye las siguientes dimensiones: empleados, socios, clientes, agricultores, medioambiente, comunidad y competencia. Se utiliza como contexto de estudio el sector agroalimentario almeriense y se contrasta el modelo aplicando la técnica de mínimos cuadrados parciales (PLS-SEM) sobre datos recogidos a través de una encuesta realizada a una muestra de 107 empresas comercializadoras. Los resultados muestran que la responsabilidad social corporativa tiene un efecto positivo en el desempeño financiero de las empresas del sector. Dicho efecto se produce, en gran medida, como consecuencia del importante impacto positivo que tiene sobre la imagen y reputación.

Palabras clave: Responsabilidad social empresarial, imagen, reputación, desempeño financiero, mediación.

Corporate social responsibility and financial performance in the agri-food sector: mediating effect of image and reputation

Abstract

The clear economic, social and environmental implications of the agri-food sector, and the significant public scrutiny to which it is subjected, highlight the need to promote and strengthen corporate social responsibility practices in this sector. This paper analyses the relationship between corporate social responsibility and the financial performance of companies in the agri-food sector, with a specific interest

* Autor para correspondencia: a-martos@hotmail.com

Cita del artículo: Martos-Pedrero A, Jiménez-Castillo D, Cortés-García FJ (2022). La responsabilidad social empresarial y el desempeño financiero en el sector agroalimentario: efecto mediador de la imagen y reputación. ITEA-Información Técnica Económica Agraria 118(3): 453-475. https://doi.org/10.12706/itea.2021.035

in understanding the role of image and reputation in this relationship. Using the stakeholder theory, corporate social responsibility is considered as a broad and multidimensional concept that includes the following dimensions: employees, partners, customers, farmers, environment, community and competition. The Almeria agri-food sector is used as the context of study and the model is tested by applying the partial least squares technique (PLS-SEM) on data collected through a survey of a sample of 107 marketing companies. The results show that corporate social responsibility has a positive effect on the financial performance of companies in the sector. This effect is largely due to the significant positive impact it has on image and reputation.

Keywords: Corporate social responsibility, image, reputation, financial performance, mediation.

Introducción

La responsabilidad social empresarial (RSE) aplicada al sector agroalimentario está ganando una atención creciente en los últimos años. Cada día es mayor el número de empresas que se esfuerzan por incorporar prácticas de RSE en sus estrategias. Según el último informe sobre la evolución de la RSE en España elaborado por la Fundación SERES (Sociedad y Empresa Responsable) (2020), la inversión y el número de proyectos de RSE acometidos por empresas españolas se ha triplicado en el período 2013-2019. Esta evolución se ha acentuado, además, en el año 2020 como consecuencia de la COVID-19 (Fundación SERES, 2020). Empresas como "Mercadona" y su política empresarial enfocada a las personas o el medio ambiente, o "EBRO" y sus proyectos formativos a agricultores en India para la producción de un arroz sostenible, son ejemplos destacados del compromiso, cada vez mayor, de las empresas con la RSE. Se trata, además, de un fenómeno que afecta a todas las empresas, independientemente de su tamaño. Un ejemplo claro de ello es el caso de la PYME española del sector agroalimentario "Harineras Villamayor" destacada por la Comisión Europea en 2020 como ejemplo por sus prácticas en línea con los principios de RSE.

Aunque la mayoría de los trabajos sobre la RSE de la literatura se han centrado en otros sectores industriales, en los últimos años está ganando una atención creciente el estudio de la RSE en el sector agroalimentario (Heyder y Theuvsen, 2009; Ross *et al.*, 2015; Luhmann y Theuvsen, 2016; Zaman *et al.*, 2020). Desde hace algunas décadas el sector agroalimentario se desenvuelve en mercados cada vez más globales, informados y exigentes (Heyder, 2010), enfrentándose a la presión de una sociedad más sensibilizada que demanda comportamientos que van más allá de las exigencias legales en materia de seguridad alimentaria, transparencia o impacto ambiental (Jansen y Vellema, 2004). A esta presión hay que añadir la que ejercen las instituciones públicas mediante el desarrollo de normativas, así como la de los propios agentes que operan en el mercado.

Desatender estas exigencias y expectativas sociales puede suponer una amenaza para la legitimidad tanto de las empresas individuales, como de toda la cadena alimentaria (Luhmann y Theuvsen, 2016). La imagen y la reputación (IR) son, pues, elementos claves para el sector agroalimentario tanto a nivel de las empresas individuales, como a nivel del propio sector. Una forma de proteger la IR o licencia social para operar de las empresas es mediante la aplicación de políticas de RSE que hagan que la empresa se preocupe no sólo por los aspectos económico-financieros sino, también, por las externalidades sociales y medioambientales de su actividad (Palazzo y Scherer, 2006).

Otra de las motivaciones de las empresas del sector para implementar prácticas de RSE son los beneficios que pueden derivarse de su implementación en forma de mayor desempeño financiero (DF). La RSE ofrece a las empresas una oportunidad de diferenciación tanto en el ámbito del producto, como en el ámbito de la empresa, y contribuye a posicionarlas como social y medioambientalmente responsables ante sus clientes, proveedores y otros *stakeholders*, lo cual incrementa su competitividad en el mercado y su DF (Yim y Park, 2019). Sin embargo, a pesar de los numerosos estudios que han analizado la relación entre la RSE y el DF, lo cierto es que no se puede afirmar que los resultados sean concluyentes. Si bien la mayoría de ellos confirman una asociación positiva entre ambas variables (Margolis y Walsh, 2003; Peloza y Shang, 2011; Maqbool y Zameer, 2018), existen otros que sugieren que no existe dicha relación e incluso que es negativa (Aupperle *et al.*, 1985; Teoh *et al.*, 1999; Wang y Bansal, 2012). Existen varios motivos que pueden explicar esta diferencia en los resultados tales como la utilización de diferentes enfoques teóricos y metodologías para medir la RSE o el desempeño empresarial o la omisión de los potenciales efectos mediadores que determinadas variables pueden ejercer sobre esta relación (Wang y Sarkis, 2017).

En el presente estudio se adopta una concepción amplia y multidimensional de la RSE, con base en la teoría de los *stakeholders* (Freeman, 1984), contemplando, en línea con trabajos previos (Dopico *et al.*, 2012; Öberseder *et al.*, 2014), siete dimensiones para este constructo: socios, empleados, clientes, agricultores, medioambiente, comunidad y competencia. A partir de esta conceptuación, se analiza la relación de la RSE con el DF de las empresas y con la IR como un activo intangible clave para cualquier negocio. Por último, se propone un modelo integral en el que se incorpora a la IR como variable mediadora entre la RSE y el DF.

Cabe esperar que exista una asociación positiva entre la RSE y la IR, en la medida en que los comportamientos socialmente responsables de las empresas influyen positivamente en las opiniones de sus *stakeholders*, opiniones que conforman la base de su IR (Fombrun y Shanley, 1990). A su vez, la IR es un activo intangible que confiere a las empresas unas ventajas competitivas, basadas en la diferenciación, que pueden traducirse en un incremento de su DF (Surroca *et al.*, 2010). Partiendo de estas dos relaciones, es decir, la relación positiva entre la RSE y la IR, así como los efectos positivos de la IR sobre el DF, el presente trabajo sugiere que puede existir un efecto mediador de la IR en la asociación entre la RSE y el DF.

El objetivo, pues, de la presente investigación es doble. En primer lugar, analizar en qué medida la RSE tiene un impacto positivo sobre el DF de las empresas del sector agroalimentario. En segundo lugar, comprender el papel que desempeña la IR, analizando si actúa como variable mediadora en esta asociación. Para comprobar empíricamente estas relaciones se ha analizado una muestra de 107 empresas del sector agroalimentario en Almería (España), una de las zonas de mayor concentración empresarial en el ámbito agroalimentario de Europa. Este sector ha sido ampliamente utilizado como contexto de investigación en trabajos previos sobre RSE (Galdeano-Gómez *et al.*, 2017) por la relevancia que han tenido en su desarrollo los aspectos sociales y medioambientales.

Material y métodos

Marco teórico

El concepto RSE: Definición y dimensiones

Existe cierta confusión conceptual en torno a la RSE, no habiéndose alcanzado un consenso respecto a su significado y a la forma

de trasladarla al terreno de la gestión empresarial. En el presente trabajo se adopta la definición propuesta por Aguinis (2011), utilizada posteriormente por numerosos autores en sus estudios empíricos, según la cual la RSE es el conjunto de "acciones y políticas organizativas específicas para cada contexto que tienen en cuenta las expectativas de las partes interesadas y el triple resultado económico, social y medioambiental". La RSE se asume por la empresa de forma consciente y voluntaria (Van Marrewijk, 2003), considerando, en la toma de decisiones, las expectativas e intereses de todos los agentes que afectan o son afectados por su actividad (Ferrón Vílchez *et al.*, 2017), creando valor para todos ellos (dimensión económica), participando en la mejora del bienestar social (dimensión social) y preservando el medioambiente (dimensión medioambiental) (Elkington, 1998). Implica un compromiso constante en el tiempo que genera competitividad y valor compartido (Inyang *et al.*, 2011; Porter y Kramer, 2011) y que está ligado a la misión y visión de la empresa.

Aunque existe un amplio consenso en considerar a la RSE como un constructo multidimensional, hay varios marcos de referencia para explicar sus dimensiones. Los más utilizados en la mayoría de los estudios empíricos son el basado en la teoría de Carroll (1979), el elaborado desde la perspectiva del desarrollo sostenible (Elkington, 1998) y el enfoque desde la teoría de los *stakeholders* (Freeman, 1984). Por una parte, Carroll (1979) define cuatro dimensiones que dependen sucesivamente unas de otras y que recogen las expectativas de la sociedad de que las empresas sean rentables (dimensión económica), que estén sujetas al marco jurídico establecido (dimensión legal), que sus prácticas empresariales satisfagan ciertas normas éticas (dimensión ética) y que se impliquen voluntariamente en actividades que satisfagan las necesidades sociales (dimensión discrecional). Por otra parte, desde la perspectiva del desarrollo sostenible (Elkington, 1998), el comportamiento responsable de la empresa implica la creación de valor para los socios, clientes, proveedores y empleados (dimensión económica), participando de forma activa en la mejora del bienestar general de la sociedad (dimensión social), y respondiendo por las externalidades generadas en el medioambiente (dimensión medioambiental). Elkington (1998) acuñó el concepto de "triple bottom line" para evaluar el desempeño empresarial, incluyendo las dimensiones social y medioambiental a las medidas tradicionales de beneficios, rendimiento de la inversión y valor para los socios.

En este trabajo se opta por la teoría de los *stakeholders* como marco de referencia para explicar las dimensiones de este constructo, por ser la más utilizada para el desarrollo de propuestas de RSE y la asumida por numerosos organismos que la regulan o promueven. Dicha teoría presenta a la empresa como una organización compuesta por una pluralidad de agentes (*stakeholders*) que intervienen en ella o son afectados por sus decisiones de gestión y cuyas expectativas e intereses deben ser tenidos en cuenta (Freeman, 1984). Sobre la base de esta teoría, y en línea con investigaciones previas (Dopico *et al.*, 2012; Öberseder *et al.*, 2014; Luo *et al.*, 2017), este trabajo considera la RSE un constructo con siete dimensiones: socios, empleados, clientes, agricultores, comunidad, competencia y medioambiente. La dimensión medioambiental se incluye en esta conceptuación dada su especial relevancia en el sector agroalimentario.

Hipótesis de la investigación

RSE y DF

Una de las cuestiones relacionadas con la RSE más debatidas en la actualidad tanto en el ámbito académico como empresarial, es hasta qué punto y de qué manera influye su

implantación en el DF de las empresas. En la presente investigación se define el DF como el nivel de satisfacción de la empresa con la evolución de sus ventas, cuota de mercado, rentabilidad y productividad (Kandemir *et al.*, 2006; Delgado-Ferraz y Gallardo-Vázquez, 2016). A nivel teórico, se ha estudiado el impacto positivo de la RSE sobre determinados elementos de la competitividad de las empresas que pueden favorecer su DF, tales como la posibilidad de diferenciarse en los mercados, la mejora en la relación con los clientes, la atracción de nuevos inversores o la mejora en la innovación y desarrollo de productos (Carroll y Shabana, 2010). La denominada "hipótesis de Porter" (Porter y Van der Linde, 1995) indica que la ventaja competitiva alcanzada a través de las prácticas avanzadas de gestión medioambiental (que pueden ser entendidas, también, como prácticas de RSC, en tanto que son voluntarias y promueven el bien común) puede deberse tanto a las mejoras basadas en la disminución del coste, como en las mejoras basadas en la posibilidad de diferenciarse de la competencia. El presente estudio se centra, fundamentalmente, en las consecuencias derivadas de la diferenciación obtenida a través de la RSC.

De acuerdo con la teoría de los *stakeholders*, actuar de modo responsable con todos los grupos de interés, teniendo en cuenta sus expectativas e intereses, conduce a los mejores resultados a largo plazo. Una orientación a la RSE implica modificar las políticas, objetivos y prioridades de las empresas para adaptarse a dichas expectativas. Exige, asimismo, una mayor transparencia en las relaciones con sus *stakeholders* y una dirección y gestión más flexible y participativa (Freeman, 1984). Como contrapartida a este comportamiento, la empresa puede conseguir diversos beneficios, entre ellos, una mayor lealtad de sus clientes, un aumento de las ventas o una mejora en la satisfacción laboral, lo cual puede influir positivamente en su DF (Barakat *et al.*, 2016; Luo y Bhattacharya, 2006).

Existen diversos trabajos previos que han estudiado la relación entre la RSE y el DF de las empresas y cuál es la secuencia causal entre ambas variables. Si bien en su mayor parte sugieren una relación positiva entre ambas variables (Margolis y Walsh, 2003; Peloza y Shang, 2011; Maqbool y Zameer, 2018), incluyéndose algunos estudios desarrollados en el ámbito agroalimentario (Resmi *et al.*, 2018), no podemos afirmar que este resultado sea totalmente concluyente. Varios trabajos concluyen que dicha relación no es significativa e incluso que es negativa (Wang y Bansal, 2012). Algún trabajo incluso sugiere que, en esta relación, la RSE es la variable dependiente, es decir, que solo la existencia de un buen DF permite a la empresa disponer de los fondos necesarios para invertir en RSE (Preston y O'Bannon, 1997). En opinión de algunos autores (McWilliams y Siegel, 2000; Margolis y Walsh, 2003), una de las razones por las que los resultados de los estudios no son concluyentes es que en su mayoría se omite un posible mecanismo de mediación o moderación de otras variables. Contribuye, también, a esta falta de consenso el uso de diferentes enfoques para conceptuar y medir la RSE, de ahí la necesidad de adoptar un enfoque multidimensional que procure recoger la complejidad del constructo.

A partir de la discusión anterior y en línea con el grueso de trabajos que confirman una relación positiva entre las dos variables, se propone la siguiente hipótesis:

H1: La orientación a la RSE se relaciona positivamente con su DF.

RSE e IR

A nivel teórico, la mayoría de las definiciones de los conceptos de imagen y reputación señalan, como uno de sus elementos básicos, la percepción, en términos de imagen, notoriedad y comportamiento ético, que los *stakeholders* tienen de la empresa. Así, la imagen empresarial hace referencia al conjunto de

impresiones, percepciones, expectativas, actitudes y creencias que los distintos *stakeholders* tienen sobre las características y actividades de la empresa. Villafañe Gallego (2004) la define como "la integración en la mente de sus públicos de todos los *inputs* emitidos por una empresa en su relación ordinaria con ella". Por su parte, Post y Griffin (1997) definen la reputación como "una síntesis de opiniones, percepciones y actitudes de los grupos de interés de una organización, incluyendo empleados, clientes, proveedores, inversores y la comunidad". Aunque son dos conceptos muy vinculados y considerados en muchos casos sinónimos, algunos elementos los diferencian. La imagen tiene un carácter más coyuntural, volátil y se puede cambiar a través de la acción publicitaria. La reputación, sin embargo, es un concepto relativamente más estable que se va configurando a largo plazo y, por tanto, es difícilmente manipulable por la propia empresa (Olcese *et al.*, 2008).

La IR son dos de los activos intangibles más valiosos para las empresas, a las que otorga importantes ventajas competitivas. De ahí que una de las principales motivaciones de las empresas para llevar a cabo iniciativas de RSE sea la mejora de su IR. La RSE redundará en una mejora de la IR de la empresa al ser considerada por sus *stakeholders* como una señal de que se comportará de acuerdo con sus expectativas. El comportamiento socialmente responsable de las empresas influye en las opiniones de sus *stakeholders*, opiniones que, como se ha dicho, conforman la base de su IR (Fombrun y Shanley, 1990).

Existen estudios previos, centrados en empresas del sector agroalimentario, que sugieren una relación positiva de la RSE con la IR (Heyder, 2010). En línea con estos trabajos, se propone la siguiente hipótesis:

H2: La orientación a la RSE se relaciona positivamente con su IR.

IR y DF

Como se ha indicado, una de las principales motivaciones de las empresas para llevar a cabo iniciativas de RSE es la mejora de su IR (Porter y Kramer, 2006; López-Pérez *et al.*, 2017), dos activos intangibles que pueden otorgarle ventajas competitivas sólidas y sostenibles en el tiempo. Si bien el planteamiento teórico principal de este trabajo es la teoría de los *stakeholders,* en este punto, es importante, también, considerar la Teoría de Recursos y Capacidades (Barney, 1991). Según esta teoría, la IR son recursos que reúnen las propiedades para ser considerados una fuente de ventajas competitivas sostenibles en el tiempo que pueden traducirse en un mayor DF. Son recursos valiosos (posibilitan menores costes, mayores precios y generan barreras de entrada a la competencia), escasos (no están en posesión de muchas empresas), imperfectamente imitables (se generan a lo largo del tiempo a través de un proceso que es difícil de imitar) y difícilmente sustituibles (no existe otro recurso que sea estratégicamente equivalente) (Barney, 1991).

Una buena IR permite a las empresas incrementar su base de clientes, así como su lealtad y nivel de satisfacción (Rose y Thomsen, 2004), reducir los costes de transacción y de adquisición de recursos materiales y financieros (Roberts y Dowling, 2002), facilitar el acceso al mercado de capitales y la llegada de nuevos inversores (Milgrom y Roberts, 1986), incrementar la lealtad, motivación y productividad de sus empleados (Rose y Thomsen, 2004), crear de barreras de entrada a la competencia (Fombrun y Shanley, 1990) y facilitar la entrada en nuevos mercados (Roberts y Dowling, 2002).

Numerosos trabajos empíricos previos sugieren la existencia de una relación positiva entre la IR y el DF de las empresas (Roberts y Dowling, 2002; Branco y Rodrigues, 2006; Sroufe y Gopalakrishna-Remani, 2019). Algunos de estos estudios se han centrado en el sector

agroalimentario. Así, por ejemplo, Castilla-Polo *et al.* (2018), utilizando como muestra 76 cooperativas de aceite de oliva de España, demuestran que la reputación está directa y positivamente relacionada con el desempeño cooperativo.

Con base en estas argumentaciones teóricas y estudios empíricos, se propone la siguiente hipótesis:

H3: La IR de las empresas se relaciona positivamente con su DF.

Mediación de la IR en la relación entre la RSE y DF

Uno de los objetivos del presente estudio es comprender los mecanismos mediante los cuales la RSE favorece el DF de las empresas del sector agroalimentario y, en concreto, qué papel desempeña la IR en dicha relación. El estudio de los mecanismos de mediación ha sido descuidado en muchos de los trabajos sobre la relación entre la RSE y el desempeño empresarial. No obstante, en las últimas décadas, algunos de estos trabajos se han centrado en analizar el papel de determinadas variables como mediadoras en dicha relación, comprobando que la RSE no ejerce un efecto directo sobre el DF de las empresas, sino que dicho efecto es indirecto y se produce como consecuencia del impacto positivo que la RSE tiene sobre algunas variables mediadoras como la innovación (Surroca *et al.*, 2010). Algunos de estos trabajos (Yang *et al.*, 2017; Ali *et al.*, 2020) han comprobado que la RSE no ejerce un efecto directo sobre el DF de las empresas, sino que dicho efecto es indirecto o inducido, a través de la mejora en la IR. Sin embargo, hasta nuestro conocimiento, no existen estudios que hayan analizado esta mediación en el sector agroalimentario, conceptualizando, además, la RSE como una construcción amplia y multidimensional. El presente estudio propone un modelo en el que un recurso intangible como la IR es una variable mediadora que explica los efectos de la RSE sobre el DF de las empresas del sector agroalimentario. Así, es de esperar que la IR aumente con la RSE (Hipótesis 2) y que dicho incremento en la IR se traduzca, a su vez, en una mejora en el DF de las empresas (Hipótesis 3), potenciando, de esta forma, el efecto que ejerce la RSE por sí misma en el DF. En definitiva, se pretende comprobar si el efecto de la RSE sobre el DF se debe parcial o totalmente a la mediación de la IR, por lo que se propone la siguiente hipótesis:

H4: La IR media la relación entre la RSE y el DF de las empresas.

Contexto de estudio, procedimiento para la obtención de datos y muestra

El presente trabajo utiliza como contexto de estudio el sector agroalimentario. Para entender la importancia de la RSE en este sector es necesario destacar su carácter multifuncional. Si bien la función principal de este sector es la producción y distribución de materias primas y alimentos en condiciones competitivas, también desarrolla una función medioambiental, en la medida en que las decisiones de sus agentes tienen una incidencia clara en el medio natural y la preservación de los ecosistemas. Asimismo, desarrolla una función social en la medida en que contribuye a la viabilidad de las áreas rurales, preservando el patrimonio cultural en dichos ámbitos y evitando los desequilibrios territoriales que se originan como consecuencia de su despoblación. Además, la conformación de un sistema productivo local de base agrícola tiene un impacto positivo en las condiciones económicas y sociales del entorno en el que se desarrolla y constituye una herramienta eficaz para promover y fomentar el desarrollo rural y regional (Aznar-Sánchez, 2011).

Para garantizar la seguridad alimentaria en un contexto en el que la población y la demanda de alimentos se disparan tanto cuan-

titativa como cualitativamente, el sector se ha visto inmerso en una verdadera revolución tecnológica que le ha permitido incrementar la productividad de las explotaciones, evitando, así, un aumento descontrolado de precios y el desabastecimiento de alimentos en los lugares más vulnerables. Sin embargo, y a pesar de que, sobre todo en las últimas décadas, se han desarrollado determinadas tecnologías y prácticas agrícolas con el objeto de preservar el medioambiente (e.g., producción integrada, producción ecológica, sistemas de ahorro de agua, sistemas de conservación del suelo, gestión integrada de plagas), lo cierto es que dicha revolución tecnológica ha generado, también, un gran impacto negativo. Como consecuencia de ello ha aumentado la preocupación del conjunto de la sociedad por el impacto ambiental y social de la actividad de las empresas de este sector (Luhmann y Theuvsen, 2016). La sociedad, en general, espera que la apuesta por el desarrollo tecnológico se lleve a cabo aplicando prácticas agrarias que reduzcan los impactos negativos sobre el medioambiente, procurando, al mismo tiempo, un desarrollo local o regional equilibrado. En definitiva, las implicaciones económicas, sociales y medioambientales del sector y el continuo examen público al que se ve sometido, evidencian la importancia y la necesidad de promover y fortalecer las prácticas de RSE en la actividad empresarial agroalimentaria.

El proceso de recopilación de datos se llevó a cabo a través de una encuesta dirigida a las empresas comercializadoras del sector agroalimentario de Almería, basado en la horticultura intensiva. Se trata de un sector con una clara naturaleza social y cuya evolución en las últimas décadas viene marcada por una tendencia hacia la agricultura ecológica o producción integrada que contribuye a disminuir el impacto sobre el medioambiente. Ha sido estudiado extensamente en numerosos trabajos previos desde un punto de vista socioeconómico y de la sostenibilidad (Galdeano-Gómez *et al.*, 2017). Existen en el sector un total de 287 empresas comercializadoras (información extraída de la base de datos SABI –Sistema de Análisis de Balances Ibéricos–). Con el objeto de asegurar que las empresas de la muestra tuvieran una mínima infraestructura organizativa, se preseleccionó un subconjunto de 164 empresas con facturación superior a 5 M de euros, a las que se les envió un cuestionario en línea autoadministrado. Se obtuvieron un total de 107 respuestas válidas (65,2 % de nivel de respuesta), contestadas en un 61 % por el presidente o gerente de la empresa, un 25 % por los responsables de recursos humanos y el resto por otros responsables de la empresa.

Medición de las variables

Para medir las variables del modelo se llevó a cabo una revisión de la bibliografía de la investigación empírica y teórica existente, generándose una batería de ítems que fue revisada por un panel compuesto por 13 expertos (siete investigadores, cinco representantes del mundo empresarial y un representante del sector público). Para la medición de la RSE se utilizó una metodología basada en la teoría de los *stakeholders,* identificándose como dimensiones del constructo las siguientes: empleados, socios, clientes, agricultores, medioambiente, comunidad y competencia. Para medir dichas dimensiones se utilizan un total de 34 ítems adaptados de los utilizados en trabajos previos (Öberseder *et al.*, 2014; Luo *et al.*, 2017). Para medir la IR se revisaron y adaptaron las escalas utilizadas por otros autores (Ahearne *et al.*, 2005; Alvarado y Schlesinger, 2008). Respecto al DF, no existe un claro consenso sobre qué instrumento aplicar para su medición, lo cual complica la comparación de los resultados de los diferentes estudios. La literatura ha definido una serie de variables que aproximan el DF tales como el ROA, ROI, EBITDA, cuota de mercado o crecimiento de las ventas. En el presente estudio se mide el DF en base a la percepción

de los gerentes sobre el logro de los objetivos financieros de la empresa, adaptando las escalas utilizadas por otros autores (Kandemir *et al.*, 2006; Delgado-Ferraz y Gallardo-Vázquez, 2016).

Se utilizó un modelo de medición subjetivo basado en criterio experto, es decir, en la percepción de los encuestados. Se procuró evitar los posibles sesgos de este tipo de medidas, para lo cual se optó por una encuesta autoadministrada que garantizara el anonimato de los encuestados y se aseguró que el encuestado tuviera un conocimiento amplio y transversal de la empresa. Se aplicó una escala Likert de siete puntos enumerando las posiciones ofrecidas al entrevistado entre los extremos: 1 = "totalmente en desacuerdo" y 7 = "totalmente de acuerdo", para los ítems que miden las dimensiones de la RSE. Para los ítems correspondientes a la IR y al DF se fijaron los extremos: 1 = "en ninguna medida" y 7 = "en grado máximo".

En la Tabla 1 se recogen los diferentes ítems utilizados para la medición de las variables del modelo.

Resultados

Para la validación del modelo se aplica el procedimiento de modelo de ecuaciones estructurales, utilizando la técnica de PLS, recomendada en investigaciones con muestras relativamente pequeñas, aunque representativas, y en modelos en los que se incluyen tanto indicadores reflectivos como formativos (Hair *et al.*, 2014a), como es el caso de la presente investigación. Se utilizó el software Smart PLS para llevar a cabo el análisis.

Identificación del modelo

El modelo teórico (véase la Figura 1) se compone de 45 ítems que miden un total de nueve variables de primer orden, siete de las cuales se corresponden con las dimensiones de la variable RSE, contemplada como variable de segundo orden. Se considera que los ítems mantienen una relación reflectiva con sus correspondientes variables, salvo en el caso de los que miden las dimensiones de la RSE. En este último caso se considera que la relación de los ítems con su variable es una relación formativa, ya que hacen referencia cada uno de ellos a aspectos diferentes del concepto recogido en cada dimensión, no son necesariamente intercambiables y no se espera que estén correlacionados entre sí (Diamantopoulos y Winklhofer, 2001).

Evaluación del modelo de medida

Se evalúa el modelo de medida utilizando la técnica *Build-Up approach*, sugerida por Aldás-Manzano (2013) para aquellos modelos que incorporan constructos de segundo orden, como es el caso. Dicha técnica propone, como primer paso, eliminar el factor de segundo orden (RSE) y relacionar todas sus dimensiones con todos los otros constructos con los que se relacionarían dichos factores de segundo orden.

Para las variables con indicadores reflectivos (IR y DF), se evalúa el modelo de medida valorando las cargas de los ítems con su respectiva variable latente (son todas significativas y superan el umbral de 0,505 sugerido como criterio de admisión de cargas por Falk y Miller, 1992); su consistencia interna, mediante el alfa de Cronbach y la fiabilidad compuesta (en todas las variables superan el umbral del 0,80 establecido por Nunnally, 1978); y la validez convergente (en todos los casos la varianza extraída media –AVE– supera el umbral del 0,50 establecido por Fornell y Larcker, 1981). Se comprueba, asimismo, que no existen problemas de validez discriminante. La raíz cuadrada del AVE es superior a la correlación entre ambas variables (criterio de Fornell y Larcker, 1981) y la ratio Heterotrait-Monotrait (HTMT) no supera el umbral de 0,90 (criterio de Henseler *et al.*, 2015).

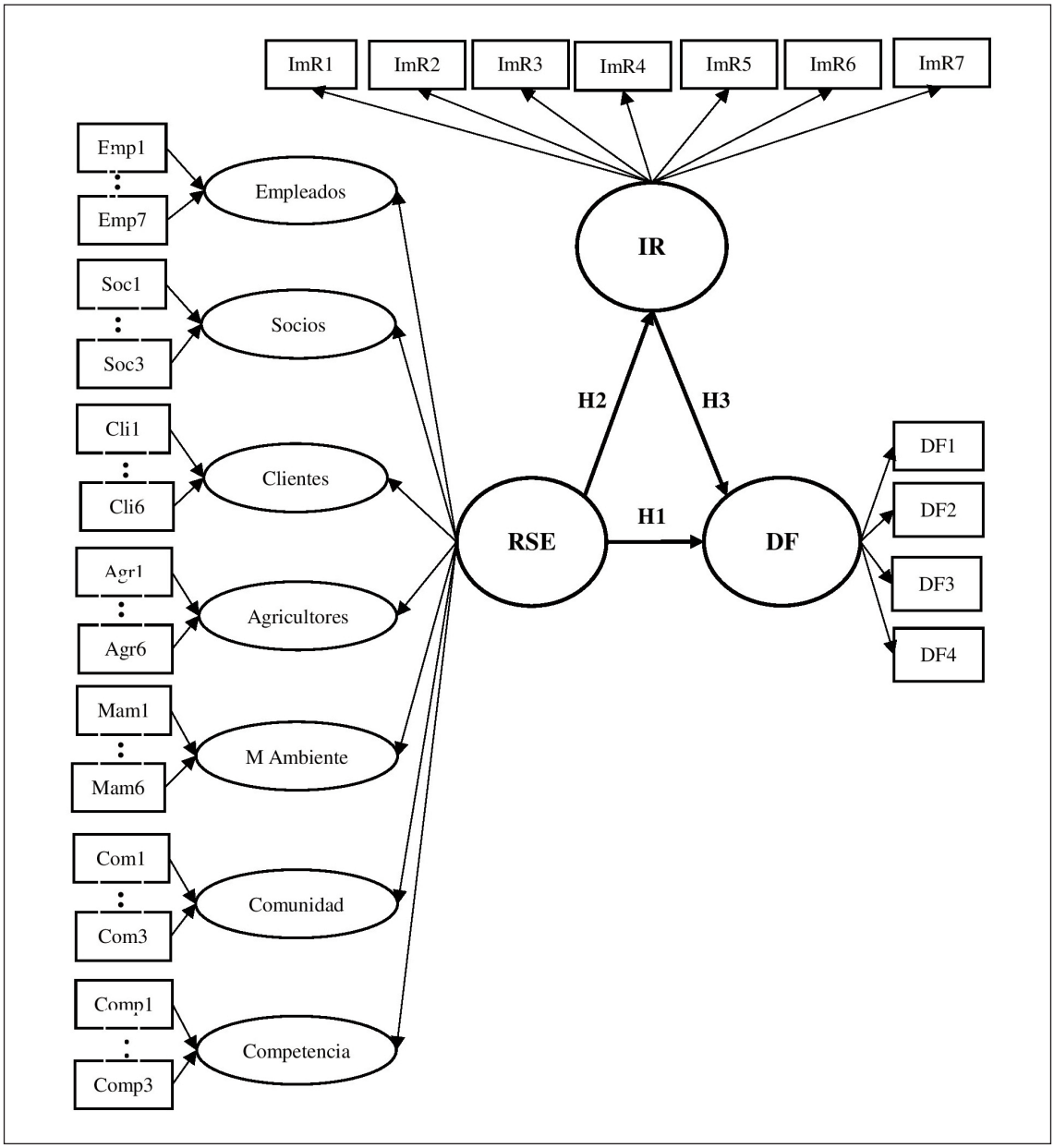


Figura 1. Diagrama estructural de relaciones entre las variables del modelo teórico.

Nota: H4, no reflejada en la figura, hipotetizaría la mediación de la variable IR (Imagen y Reputación) en la relación RSE-DF (Responsabilidad Social Empresarial-Desempeño financiero).

Figure 1. Structural diagram of relationships between the variables of the theoretical model.

Note: H4, not reflected in the figure, would hypothesise the mediation of the IR (image and reputation) variable in the CSR-DF relationship(corporate social responsibility-financial performance).

Para las variables con indicadores formativos (empleados, socios, clientes, agricultores, medioambiente, comunidad y competencia), se comprobó que no existe colinealidad entre ellos (el índice de tolerancia –VIF– se sitúa en todos los casos por debajo del umbral máximo de 5 definido por Hair *et al.* (2011). La aplicación del criterio establecido por Hair *et al.* (2014b) para comprobar la relevancia relativa de dichos indicadores recomienda la eliminación de los indicadores "Com1", "Emp 4" y "Mam1" al presentar pesos no significativos, siendo sus cargas inferiores a 0,50 y, además, no significativas (véase Tabla 1).

El segundo paso de la referida técnica *Build-Up approach* consiste en convertir el factor de segundo orden original (RSE) a factor de primer orden, de forma que sea medido por sus dimensiones que ahora se convierten en indicadores (véase Figura 2).

De nuevo se valoran las cargas de los indicadores con su respectiva variable (son todas significativas y superan el umbral de 0,505 sugerido como criterio de admisión de cargas por Falk y Miller, 1992); su consistencia interna a través del alfa de Cronbach y la fiabilidad compuesta (en todas las variables superan el umbral del 0,80 establecido por Nunnally, 1978). La varianza extraída media (AVE) supera el umbral del 0,50 establecido por Fornell y Larcker, 1981, salvo para la variable RSE, que se sitúa levemente por debajo de dicho umbral (0,497). Hay que recordar, sin embargo, que los indicadores de dicha variable provienen de la sustitución antes indicada. Se puede asegurar, por lo tanto, la validez convergente del modelo de medida (véase Figura 2). La aplicación del criterio de Fornell y Larcker (1981) muestra problemas de validez discriminante de la variable RSE respecto a la variable IR, sin embargo, el criterio de las correlaciones Heterotrait-Monotrait (HTMT) propuesto por Henseler *et al.* (2015), indica que no existen problemas de validez discriminante, al presentar, en todos los casos, valores por debajo del umbral de 0,90 (Teo *et al.*, 2008).

Evaluación del modelo estructural

Se evalúa el modelo estructural a través de los coeficientes estandarizados (β), el tamaño del efecto (f2) que valora si la influencia de una variable sobre otra dependiente es o no sustantiva, el estadístico "R^2" que indica la cantidad de varianza de cada variable explicada por el modelo y los estadísticos "Q^2" y "Q^2 predictivo" que valoran su relevancia predictiva. Los resultados de dichos parámetros indican que la relación directa entre la RSE y el DF no es significativa (β = 0,114; t = 0,817; f2 = 0,008), por lo que se rechaza la hipótesis H1. Sin embargo, la relación de la RSE con la IR es positiva, elevada y estadísticamente significativa (β = 0,795; t = 24,980; f2 = 1,722), por lo que se confirma la hipótesis H2. Por su parte, la relación de la IR con el DF es positiva, moderada y estadísticamente significativa (β = 0,529; t = 3,844; f2 = 0,168), por lo que se confirma la hipótesis H3. La Figura 2 muestra estos resultados. Por su parte, los valores de los estadísticos "R^2", "Q^2" y "Q^2 predictivo" indican que el modelo tiene capacidad o relevancia predictiva para todas las variables dependientes ($R^2 > 0,10$; $Q^2 > 0$).

Mediación de la IR en la relación RSE-DF

Para comprobar si la mediación de la IR en la relación RSE-DF es estadísticamente significativa se utiliza el procedimiento propuesto por Baron y Kenny (1986). Se comprueba que el efecto directo de la RSE sobre la variable DF, en ausencia de la mediación de la variable IR, es significativo (β = 0,539; t = 9,513). Se comprueba, asimismo, que la variable independiente (RSE) influye significativamente en la variable mediadora (IR) (β12 = 0,795; t = 24,980) y ésta, a su vez, influye significativamente sobre la variable dependiente (DF) (β23 = 0,529; t = 3,844) (véase Figura 2). Se comprueba, finalmente, que la variable independiente (RSE) deja de influir significativamente sobre la variable dependiente (DF)

Tabla 1. Fiabilidad y validez convergente.
Table 1. Reliability and convergent validity.

Variables e ítems	VIF	Peso	Carga	Fiabilidad
Empleados				
(Emp1) Nuestra empresa implanta políticas flexibles para proporcionar un buen equilibrio entre el trabajo y la vida de sus empleados.	1,917	–0,077	0,462***	N/A
(Emp2) Nuestra empresa implanta programas de formación y desarrollo personal para los trabajadores.	1,502	0,414**	0,726***	
(Emp3) En general, nuestra empresa fomenta programas de discriminación positiva a favor de las mujeres y personas con discapacidad.	1,443	0,624***	0,725***	
(Emp4) Nuestra empresa promueve el empleo estable y reconoce la importancia del mismo para sus empleados y para la sociedad.	1,863	–0,295	0,333	
(Emp5) Nuestra empresa dispone de un canal de comunicación con sus empleados y es receptiva a sus propuestas y quejas.	1,653	0,141	0,416***	
(Emp6) Nuestra empresa evalúa el clima laboral y satisfacción de sus empleados de forma periódica.	1,568	0,318	0,573***	
(Emp7) Nuestra empresa tiene políticas internas que impiden la discriminación de las minorías extranjeras.	1,518	0,289	0,484***	
Socios				
(Soc1) Nuestra empresa siempre intenta obtener el máximo beneficio de su actividad.	1,044	0,408**	0,579***	N/A
(Soc2) Nuestra empresa facilita a sus socios información clara, completa y precisa de sus políticas, decisiones y actividades.	1,923	0,128	0,699***	
(Soc3) Nuestra empresa dispone de un canal de comunicación adecuado con sus socios y es receptiva a sus propuestas.	1,967	0,739***	0,912***	

Tabla 1. Fiabilidad y validez convergente (continuación).
Table 1. Reliability and convergent validity (continuation).

Variables e ítems	VIF	Peso	Carga	Fiabilidad
Clientes				
(Cli1) Nuestra empresa dispone de una amplia capacidad de suministro a sus clientes durante todo el año.	1,619	0,335***	0,697***	N/A
(Cli2) Nuestra empresa dispone de una amplia oferta de productos, estandarizada en calidad y precios.	1,753	–0,006	0,632***	
(Cli3) Nuestra empresa realiza estudios sobre la satisfacción de sus clientes.	1,357	0,120	0,594***	
(Cli4) Nuestra empresa proporciona información completa y precisa sobre sus productos a sus clientes.	1,714	–0,050	0,585***	
(Cli5) Nuestra empresa establece procedimientos previos de control para garantizar el cumplimiento con los clientes.	2,468	0,677***	0,933***	
(Cli6) Nuestra empresa da respuesta a las quejas de los clientes.	2,135	0,129	0,751***	
Agricultores				
(Agr1) Nuestra empresa contribuye al crecimiento de los agricultores/productores y al mantenimiento de la rentabilidad de sus explotaciones.	3,406	0,155	0,738***	N/A
(Agr2) Nuestra empresa cuenta con procedimientos para controlar las condiciones laborales y la política de contratación de sus proveedores.	1,345	0,320*	0,662***	
(Agr3) Nuestra empresa dispone de un canal de comunicación con sus agricultores/productores, y es receptiva a sus propuestas y quejas.	1,461	0,313	0,680***	
(Agr4) Nuestra empresa coopera con sus agricultores/productores, prestando asesoramiento técnico para la mejora de sus productos.	2,808	0,010	0,602***	
(Agr5) Nuestra empresa promueve la producción ecológica y/o integrada entre sus agricultores/productores.	1,460	0,177	0,593***	
(Agr6) Nuestra empresa considera indispensable que sus agricultores/productores dispongan de certificación de buenas prácticas agrícolas, certificación de seguridad alimentaria y certificación ambiental.	1,464	0,445**	0,786***	

Tabla 1. Fiabilidad y validez convergente (continuación).
Table 1. Reliability and convergent validity (continuation).

Variables e ítems	VIF	Peso	Carga	Fiabilidad
Medioambiente				
(Mam1) Nuestra empresa gestiona adecuadamente los residuos.	1,345	–0,264	0,178	
(Mam2) Nuestra empresa dispone de un programa de ahorro energético.	2,726	0,396*	0,751***	
(Mam3) Nuestra empresa adopta programas para el uso de energías alternativas.	2,482	–0,160	0,595***	
(Mam4) Nuestra empresa tiene implantado un programa de reducción del consumo de agua.	1,993	0,594***	0,905***	N/A
(Mam5) Nuestra empresa realiza periódicamente auditorías medioambientales.	1,616	0,246*	0,630***	
(Mam6) Nuestra empresa promueve entre sus agricultores/productores un uso eficiente de los insumos (agua, fertilizantes y fitosanitarios), así como un adecuado tratamiento a los residuos agrícolas.	1,605	0,226	0,674***	
Comunidad				
(Com1) Nuestra empresa da prioridad a la contratación de empleados de su municipio o comarca.	1,730	-0,456	0,202	
(Com2) Nuestra empresa da prioridad a la contratación de proveedores de suministros de la comarca.	1,738	0,644**	0,603***	N/A
(Com3) Nuestra empresa dedica parte de su presupuesto a donaciones a los más desfavorecidos y patrocina o financia activamente eventos sociales (deportes, música, etc.)	1,130	0,808***	0,870***	
Competencia				
(Comp1) Nuestra empresa promueve la libre competencia entre las empresas de su sector.	1,163	0,379**	0,644***	
(Comp2) Nuestra empresa promueve la cooperación (alianzas, asociaciones) con las empresas de su sector con fines comerciales.	2,046	0,110	0,757***	N/A
(Comp3) Nuestra empresa lleva a cabo iniciativas de cooperación (alianzas, asociaciones) con fines de innovación.	1,957	0,729***	0,923***	

Tabla 1. Fiabilidad y validez convergente (continuación).
Table 1. Reliability and convergent validity (continuation).

Variables e ítems	VIF	Peso	Carga	Fiabilidad
Imagen y Reputación (IR)				
(ImR1) Nuestra empresa es una empresa dinámica.			0,873***	
(ImR2) Nuestra empresa es una empresa innovadora.			0,827***	
(ImR3) Nuestra empresa es una empresa con altos estándares de calidad.			0,819***	CA = 0,936
(ImR4) Nuestra empresa es una empresa eficiente.	N/A	N/A	0,804***	CR = 0,948
(ImR5) Nuestra empresa es una empresa reconocida.			0,862***	AVE = 0,722
(ImR6) Nuestra empresa es una empresa admirada.			0,849***	
(ImR7) Nuestra empresa es una empresa con prestigio.			0,911***	
Desempeño financiero (DF)				
(DF1) Se han incrementado las ventas.			0,913***	CA = 0,853
(DF2) Se ha incrementado la cuota de mercado.	N/A	N/A	0,890***	CR = 0,902
(DF3) Se ha incrementado la rentabilidad.			0,781***	AVE = 0,698
(DF4) Se ha incrementado la productividad.			0,747***	

VIF: Índice de tolerancia; CA: Alfa de Cronbach; CR: Fiabilidad compuesta; AVE: Varianza extraída media.
N/A: No aplicable. *** $p < 0,01$; ** $p < 0,05$; * $p < 0,10$.

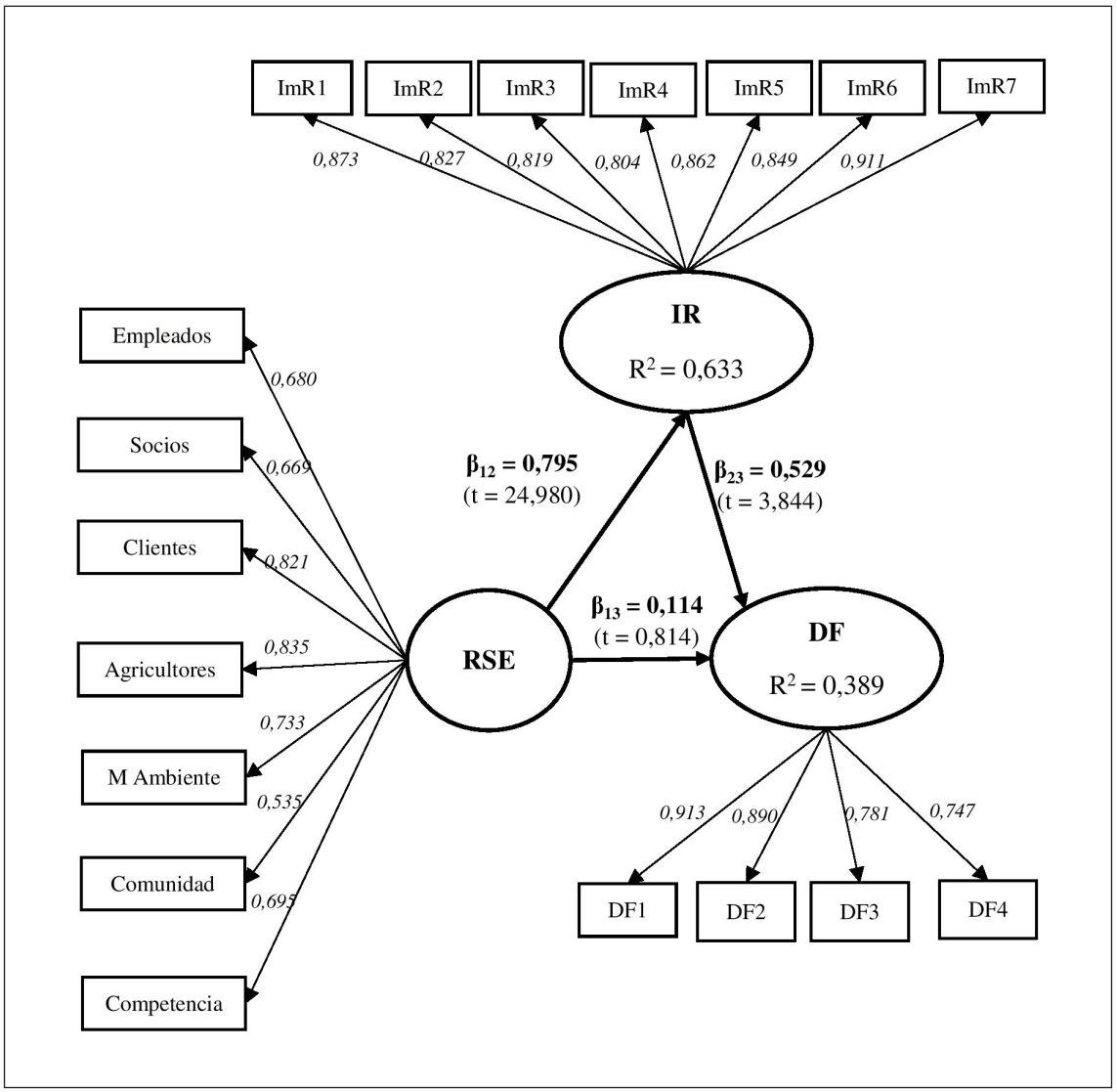


Figura 2. Diagrama estructural tras la aplicación de la técnica *Build-Up approach.*
IR: Imagen y Reputación; RSE: Responsabilidad Social Empresarial; DF: Desempeño financiero).

Figure 2. Structural diagram after the application of the Build-Up approach.
IR: Limage and reputatio; RSE: corporate social responsibility; DF: financial performance.

al incorporar la variable mediadora (IR) (β13 = 0,114; t = 0,814). Por tanto, se puede concluir que existe una mediación completa de la IR en la relación entre la RSE y el DF.

Para valorar qué parte del efecto total de la RSE sobre el DF se debe a la mediación de la IR se utiliza el criterio de la *Variance Accounted For* (VAF) (Hair *et al.*, 2014b). El valor del VAF evidencia que existe una mediación completa de la IR en la relación entre la RSE y el DF, es decir, prácticamente la totalidad (78,6 %) del efecto de la RSE sobre el DF se explica por la mediación de la IR. Se confirma, por tanto, la hipótesis H4 de esta investigación.

Discusión

Implicaciones teóricas

Este estudio analiza el impacto de la RSE de las empresas sobre su DF, con un interés específico en comprender el papel que desempeña la IR en dicha relación. Hasta nuestro conocimiento, la mediación de la IR en la relación RSE-DF en el ámbito agroalimentario ha sido poco estudiada. El presente trabajo contribuye a mejorar la comprensión de los mecanismos a través de los cuales la RSE se relaciona con el DF de las empresas en este sector.

Los resultados nos indican que existe un estrecho vínculo entre la RSE y la IR de las empresas, lo que está en línea con las conclusiones de trabajos previos (Fombrun y Shanley, 1990; Surroca *et al.*, 2010; Heyder, 2010). Este estrecho vínculo con la IR pone de relieve el potencial de la RSE para contribuir a la legitimidad de las empresas y del sector agroalimentario en su conjunto, garantizando su supervivencia en el largo plazo (Palazzo y Scherer, 2006). Se evidencia, también, a tenor de los resultados de esta investigación, la existencia de una relación positiva entre la IR y el DF de las empresas. Si bien este hallazgo está en línea con los resultados de estudios previos en diversos contextos (Roberts y Dowling, 2002; Branco y Rodrigues, 2006; Surroca *et al.*, 2010; Sroufe y Gopalakrishna-Remani, 2019), se confirma en el caso del sector agroalimentario que la IR son dos recursos valiosos que pueden otorgar a las empresas un conjunto de ventajas competitivas sólidas y sostenibles en el tiempo que pueden traducirse, a su vez, en un una mejora de su DF.

Los resultados nos indican, a su vez, que no existe una relación directa entre la RSE y el DF, evidencia empírica contraria a la formulación de la hipótesis 1. El efecto de la RSE sobre el DF de las empresas se explica, prácticamente en su totalidad, por la mediación de la IR. La existencia de una mediación de la IR está en línea con otros trabajos previos (Yang *et al.*, 2017; Ali *et al.*, 2020). Se trata de un efecto indirecto o inducido, de forma que la RSE tiene un impacto positivo sobre el DF de las empresas agroalimentarias en la medida en que favorece la mejora de su IR. Por ende, supone que el desarrollo de estos activos intangible es capital, en las empresas agroalimentarias que adoptan prácticas de RSE, para obtener un buen DF. Como ya se ha avanzado, los estudios empíricos sobre la relación entre la RSE y el DF no son concluyentes, ya que han obtenido resultados positivos, negativos y neutros. El presente trabajo, en línea con investigaciones previas ((McWilliams y Siegel, 2000; Yang *et al.*, 2017; Ali *et al.*, 2020), viene a confirmar que aquellos estudios que analizan la relación entre ambas variables, sin tener en cuenta factores que se ha demostrado empíricamente que son determinantes en el DF de las empresas tales como la IR, pueden desvirtuar los resultados y dar lugar a estimaciones sesgadas al alza del impacto directo de la RSE en el DF.

Implicaciones prácticas

Los resultados del presente estudio sugieren que la RSE puede ser utilizada por las empresas del sector agroalimentario como una

herramienta para mejorar su DF y asegurar su viabilidad y competitividad en el tiempo. Esto es así debido al importante impacto positivo de la RSE sobre uno de los principales activos intangibles de las empresas, como es la IR. La RSE es, pues, una herramienta a disposición de los gerentes de las empresas del sector, para eliminar o disminuir el riesgo reputacional y sus consecuencias negativas. A través de la RSE las empresas individuales y el sector en su conjunto pueden disminuir o incluso eliminar los impactos negativos derivados de determinados eventos sociales y de una mala publicidad durante una crisis.

Este trabajo ofrece a los gerentes un instrumento de medición de la RSE, fiable y válido, que puede ser de considerable utilidad para la gestión de las empresas que decidan implantar la RSE. Conocer y entender la influencia que la RSE ejerce sobre la IR y el DF de las empresas puede servir de guía a los gerentes para la toma de decisiones relevantes y para desarrollar estrategias que permitan orientar a sus empresas hacia prácticas responsables. Los resultados del trabajo también sugieren que la RSE es un elemento clave a utilizar por los gerentes en la estrategia de diferenciación de sus empresas. Dicha estrategia de diferenciación debería centrarse no sólo a nivel de producto (utilizando las características sociales y medioambientales de sus productos como elemento diferenciador respecto a los de sus competidores) sino, también, a nivel de empresa (procurando que sea reconocida por sus *stakeholders* como una empresa social y medioambientalmente responsable, como resultado de las acciones sociales y ambientales que lleva a cabo). Algunos atributos de la RSE del producto son fácilmente observables (a través de las certificaciones relacionadas con la RSE o de las características visibles de los productos), siendo, sin embargo, más difícil que los *stakeholders* evalúen una estrategia de diferenciación a nivel de empresa. Para ello es necesario aplicar los recursos necesarios en la elaboración de una estrategia de comunicación centrada tanto en temas ambientales (e.g., eficiencia energética, uso eficiente de agua, fertilizantes y fitosanitarios, tratamiento de residuos), como sociales (e.g., contribución de la empresa a la satisfacción de sus clientes, empleados y agricultores), que ponga en valor el compromiso de la empresa con la RSE tanto a nivel interno, como externo. Dichas inversiones, a nivel de empresa, son especialmente importantes en los casos en los que los mercados a los que se dirigen mantienen normas sociales y medioambientales estrictas, como es el caso de las empresas del sector agroalimentario.

La necesidad de diseñar esta política de comunicación que traslade a la opinión pública los logros conseguidos en materia de RSE, por parte de las empresas y del sector en su conjunto, se hace aún más evidente al tener en cuenta las diversas directrices y normativas que vienen promulgándose por organismos e instituciones públicas y privadas en demanda de una mayor transparencia como, por ejemplo, la Ley 11/2018 de 28 de diciembre, que obliga a divulgar informes de RSE a determinadas empresas. A modo de recomendación tras los resultados obtenidos, cabe indicar que las certificaciones en el ámbito de la RSE son una buena herramienta de comunicación ya que brindan la oportunidad a las empresas de demostrar su compromiso con la RSE de forma clara y fiable. Hay que destacar las grandes ventajas que ofrece internet como medio de comunicación y difusión en la actualidad de prácticas de RSE.

En el proceso de implantación de la RSE en las empresas es importante que los gerentes consideren la RSE como un compromiso estratégico y permanente de las empresas. Este proceso en las empresas lleva consigo una serie de cambios organizativos y de gestión que requiere la implicación de los propietarios y alta dirección.

Limitaciones de la investigación

La presente investigación no está exenta de limitaciones. El modelo se ha contrastado en un sector específico, por lo que la generalización de los resultados está condicionada a sectores con características similares al contexto estudiado. Se ha utilizado un diseño de investigación transversal y no longitudinal, lo cual nos impide estudiar la relación entre las variables del modelo a lo largo del tiempo. Por último, las hipótesis se han probado con datos basados en las percepciones de los gerentes de las empresas, las cuales pueden estar condicionadas por sesgos que desvirtúen los resultados.

Conclusiones

Se presenta en este estudio una conceptualización amplia y multidimensional de la RSE que incluye dimensiones internas (empleados y socios), externas (clientes, agricultores, comunidad y competencia), así como la dimensión medioambiental. Los resultados confirman, para el contexto del sector agroalimentario, las conclusiones de trabajos anteriores sobre el efecto positivo de la RSE sobre el DF de las empresas. Se concluye, además, que dicho efecto se debe, en su práctica totalidad, a la mediación de la IR en dicha relación, apoyándose así la idea de que las prácticas de RSE por sí solas no están directamente conectadas con las mejoras en el DF de las empresas, sino que se requiere la mediación de la IR.

Agradecimientos

Esta investigación ha contado con el apoyo de la Junta de Andalucía [Proyecto de Investigación PAIDI 2018 P18-RT-4663].

Referencias bibliográficas

Aguinis H (2011). Organizational responsibility: Doing good and doing well. En: APA handbook of industrial and organizational psychology, Vol. 3. Maintaining, expanding, and contracting the organization (Ed. S. Zedeck), pp. 855-879. American Psychological Association. https://doi.org/10.1037/12171-024.

Ahearne M, Bhattacharya CB, Gruen T (2005). Antecedents and consequences of customer-company identification: Expanding the role of relationship marketing. Journal of Applied Psychology 90(3): 574-585. https://doi.org/10.1037/0021-9010.90.3.574.

Aldás-Manzano J (2013). Partial least squares path modelling in marketing and management research: An annotated application. En: Quantitative Modelling in Marketing and Management (Ed. Moutinho L, Huarng KH), pp. 43-78. https://doi.org/10.1142/9789814407724_0003.

Ali HY, Danish RQ, Asrar ul Haq M (2020). How corporate social responsibility boosts firm financial performance: The mediating role of corporate image and customer satisfaction. Corporate Social Responsibility and Environmental Management 27(1): 166-177. https://doi.org/10.1002/csr.1781.

Alvarado A, Schlesinger MW (2008). Dimensionalidad de la Responsabilidad Social Empresarial percibida y sus efectos sobre la Imagen y la Reputación: una aproximación desde el modelo de Carroll. Estudios Gerenciales 24(108): 37-59. https://doi.org/10.1016/S0123-5923(08)70043-3.

Aupperle KE, Archie B, Carroll AB, Hatfield JD (1985). An empirical examination of the relationship between corporate social responsibility and profitability. Academy of Management Journal 28(2): 446-463. https://doi.org/10.5465/256210.

Aznar-Sánchez JA (2011). Análisis sobre sistemas productivos locales agroindustriales. Cuadernos de estudios agroalimentarios (2): 7-10.

Barakat SR, Isabella G, Boaventura JMG, Mazzon JA (2016). The influence of corporate social responsibility on employee satisfaction. Management Decision 54(9): 2325-2339. https://doi.org/10.1108/MD-05-2016-0308.

Barney J (1991). Firm resources and sustained competitive advantage. Journal of management 17(1): 99-120. https://doi.org/10.1177/014920639101700108.

Baron RM, Kenny DA (1986). The moderator-mediator variable distinction in social psychological research: Conceptual, strategic, and statistical considerations. Journal of Personality and Social Psychology 51(6): 1173-1182. https://doi.org/10.1037/0022-3514.51.6.1173.

Branco MC, Rodrigues LL (2006). Corporate social responsibility and resource-based perspectives. Journal of Business Ethics 69: 111-132. https://doi.org/10.1007/s10551-006-9071-z.

Carroll AB (1979). A three dimensional conceptual model of corporate social performance. Academy of Management Review 4(4): 497-505. https://doi.org/10.5465/amr.1979.4498296.

Carroll AB, Shabana KM (2010). The business case for corporate social responsibility: A review of concepts, research and practice. International Journal of Management Reviews 12(1): 85-105. https://doi.org/10.1111/j.1468-2370.2009.00275.x.

Castilla-Polo F, Gallardo-Vázquez D, Sánchez-Hernández MI, Ruiz-Rodríguez MC (2018). An empirical approach to analyse the reputation-performance linkage in agrifood cooperatives. Journal of Cleaner Production 195: 163-175. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.210.

Delgado-Ferraz FA, Gallardo-Vázquez D (2016). Measurement tool to assess the relationship between corporate social responsibility, training practices and business performance. Journal of Cleaner Production 129: 659-672. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.03.104.

Diamantopoulos A, Winklhofer HM (2001). Index construction with formative indicators: An alternative to scale development. Journal of Marketing Research 38(2): 269-277. https://doi.org/10.1509/jmkr.38.2.269.18845.

Dopico A, Rodríguez R, González E (2012). La responsabilidad social empresarial y los *stakeholders*: un análisis clúster. Revista Galega de Economía 21(1): 1-17.

Elkington J (1998). Partnerships from cannibals with forks: The triple bottom line of 21st century business. Environmental Quality Management 8(1): 37-51. https://doi.org/10.1002/tqem.3310080106.

Ferrón Vilchez V, Darnall N, Aragón Correa JA (2017). Stakeholder influences on the design of firms' environmental practices. Journal of Cleaner Production 142: 3370-3381. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.10.129.

Fombrun C, Shanley M (1990). What's in a name? Reputation building and corporate strategy. Academy of Management Journal 33(2): 233-258. https://doi.org/10.5465/256324.

Fornell C, Larcker DF (1981). Evaluating structural equation models with unobservable variables and measurement error. Journal of Marketing Research 18(1): 39-50. https://doi.org/10.1177/002224378101800104.

Freeman RE (1984). Strategic Management : A Stakeholder Approach. Pitman, Boston, MA.

Fundación SERES (2020). La evolución de la RSC en España a través del impacto social de nuestras empresas. Disponible en: https://www.fundacionseres.org/BlogSeres/index.php/la-evolucion-la-rsc-espana-traves-del-impacto-social-nuestras-empresas/ (Consultado: 20 de julio de 2020).

Galdeano-Gómez E, Aznar-Sánchez JA, Pérez-Mesa JC, Piedra-Muñoz L (2017). Exploring synergies among agricultural sustainability dimensions: an empirical study on farming system in Almería (Southeast Spain). Ecological Economics 140: 99-109. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.05.001.

Hair JF, Ringle CM, Sarstedt M (2011). PLS-SEM: indeed a silver bullet. Journal of Marketing Theory & Practice 19(2): 139-152. https://doi.org/10.2753/MTP1069-6679190202.

Hair JF, Sarstedt M, Hopkins L, Kuppelwieser VG (2014a). Partial least squares structural equation modeling (PLS-SEM): An emerging tool in business research. European Business Review 26(2): 106-121. https://doi.org/10.1108/EBR-10-2013-0128.

Hair JF, Hult GTM, Ringle CM, Sarstedt M (2014b). A Primer on Partial Least Squares Structural Equation Modeling (PLS-SEM). Sage, Thousand Oaks, CA, USA.

Henseler J, Ringle CM, Sarstedt M (2015). A new criterion for assessing discriminant validity in variance-based structural equation modeling. Journal of the Academy of Marketing Science 43(1): 115-135. https://doi.org/10.1007/s11747-014-0403-8.

Heyder M, Theuvsen L (2009). Corporate social responsibility im agribusiness. En: Die Erna¨ hrungswirtschaft im Scheinwerferlicht der O¨ffentlichkeit (Eds. J. Bo¨hm, F. Albersmeier, A. Spiller), pp. 47-73. Lohmar: Eul Verlag.

Heyder M (2010). Strategien und Unternehmensperformance im Agribusiness. Goettingen: Cuvillier Verlag.

Inyang BJ, Awa HO, Enuoh RO (2011). CSR-HRM Nexus: Defining the Role Engagement of the Human Resources Professionals. International Journal of Business and Social Science 2(5): 118-126.

Jansen K, Vellema S (2004). Agribusiness and environmentalism: the politics of technology innovation and regulation. En: Agribusiness and society: corporate responses to environmentalism, market opportunities and public regulation (Eds. Jansen K, Vellema S), pp 1-22. Zedbooks, London, UK.

Kandemir D, Yaprak A, Cavusgil ST (2006). Alliance orientation: conceptualization, measurement, and impact on market performance. Journal of the Academy of Marketing Science 34(3): 324-340. https://doi.org/10.1177/0092070305285953.

López Pérez ME, Melero I, Sese FJ (2017). Management for sustainable development and its impact on firm value in the SME context: Does size matter?. Business Strategy and the Environment 26(7): 985-999. https://doi.org/10.1002/bse.1961.

Luhmann H, Theuvsen L (2016). Corporate social responsibility in agribusiness: literature review and future research directions. Journal of Agricultural and Environmental Ethics 29(4): 673-696. https://doi.org/10.1007/s10806-016-9620-0.

Luo X, Bhattacharya CB (2006). Corporate social responsibility, customer satisfaction, and market value. Journal of Marketing 70(4): 1-18. https://doi.org/10.1509/jmkg.70.4.001.

Luo JM, Lam CF, Chau KY, Shen HW, Wang X (2017). Measuring corporate social responsibility in gambling industry: Multi-items stakeholder based scales. Sustainability 9(11): 2012. https://doi.org/10.3390/su9112012.

Maqbool S, Zameer MN (2018). Corporate social responsibility and financial performance: An empirical analysis of Indian banks. Future Business Journal 4(1): 84-93. https://doi.org/10.1016/j.fbj.2017.12.002.

Margolis JD, Walsh JP (2003). Misery loves companies: Rethinking social initiatives by business. Administrative Science Quarterly 48(2): 268-305. https://doi.org/10.2307/3556659.

McWilliams A, Siegel D (2000). Corporate social responsibility and financial performance: correlation or misspecification? Strategic Management Journal 21(5): 603-609. https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0266(200005)21:5<603::AID-SMJ101>3.0.CO;2-3.

Milgrom P, Roberts J (1986). Relying on the information of interested parties. The RAND Journal of Economics 17: 18-32.

Nunnally JC (1978). Psychometric theory 2ª Edición; McGraw -Hill: Nueva York.

Öberseder M, Schlegelmilch BB, Murphy PE, Gruber V (2014). Consumers' Perceptions of Corporate Social Responsibility: Scale Development and Validation. Journal of Business Ethics 124(1): 101-115. https://doi.org/10.1007/s10551-013-1787-y.

Olcese A, Rodríguez MA, Alfaro, J. (2008). Manual de la Empresa Responsable y Sostenible. Conceptos, ejemplos y herramientas de la Responsabilidad Social Corporativa o de la Empresa; McGraw Hill: Madrid, España. 357 pp.

Palazzo G, Scherer AG (2006). Corporate legitimacy as deliberation: A communicative framework. Journal of Business Ethics 66(1): 71-88. https://doi.org/10.1007/s10551-006-9044-2.

Peloza J, Shang J (2011). How can corporate social responsibility activities create value for stake-

holders? A systematic review. Journal of the Academy of Marketing Science 39(1): 117-135. https://doi.org/10.1007/s11747-010-0213-6.

Porter ME, Van der Linde C (1995). Toward a new conception of the environment-competitiveness relationship. Journal of Economic Perspectives 9(4): 97-118. https://doi.org/10.1257/jep.9.4.97.

Porter ME, Kramer M (2006). Estrategia y sociedad. Harvard business review 84(12): 42-56.

Porter ME, Kramer MR (2011). Creating shared value: how to reinvent capitalism - and unleash a wave of innovation and growth. Harvard Business Review 89(1-2): 62-77.

Post JE, Griffin JJ (1997). Part VII: Managing Reputation: Pursuing Everyday Excellence. Corporate Reputation and External Affairs Management Corporate Reputation Review 1(1-2): 165-171. https://doi.org/10.1057/palgrave.crr.1540038.

Preston LE, O'Bannon DP (1997). The corporate social-financial performance relationship: A typology and analysis. Business & Society 36(4): 419-429. https://doi.org/10.1177/000765039703600406.

Resmi SI, Begum NN, Hassan MM (2018). Impact of CSR on firm's financial performance: a study on some selected agribusiness industries of Bangladesh. American Journal of Economics, Finance and Management 4(3): 74-85.

Roberts PW, Dowling GR (2002). Corporate reputation and sustained superior financial performance. Strategic Management Journal 23(12): 1077-1093. https://doi.org/10.1002/smj.274..

Rose C, Thomsen S (2004). The Impact of Corporate Reputation on Performance: Some Danish Evidence. European Management Journal 22(2): 201-210. https://doi.org/10.1016/j.emj.2004.01.012.

Ross RB, Pandey V, Ross KL (2015). Sustainability and strategy in U.S. agri-food firms: An assessment of current practices. International Food and Agribusiness Management Review 18(1): 17-48. https://doi.org/10.22004/ag.econ.197762.

Sroufe R, Gopalakrishna-Remani V (2019). Management, social sustainability, reputation, and financial performance relationships: An empirical examination of US firms. Organization & Environment 32(3): 331-362. https://doi.org/10.1177/1086026618756611.

Surroca J, Tribó JA, Waddock S (2010). Corporate responsibility and financial performance: The role of intangible resources. Strategic Management Journal 31(5): 463-490. https://doi.org/10.1002/smj.820.

Teo T, Srivastava S, Jiang L (2008). Trust and Electronic Government Success: An Empirical Study. Journal of Management Information Systems 25(3): 99-131. https://doi.org/10.2753/MIS0742-1222250303.

Teoh SH, Welch I, Wazzan CP (1999). The effect of socially activist investment policies on the financial markets: Evidence from the South African boycott. Journal of Business 72(1): 35-89. https://doi.org/10.1086/209602.

Van Marrewijk M (2003). Concepts and Definitions of CSR and Corporate Sustainability: Between Agency and Communion. Journal of Business Ethics 44(2): 95-105. https://doi.org/10.1023/A:1023331212247.

Villafañe Gallego J (2004). La buena reputación: Claves del valor intangible de las empresas. Pirámide, Madrid, España.

Wang T, Bansal P (2012). Social responsibility in new ventures: Profiting from a long term orientation. Strategic Management Journal 33(10): 1135-1153. https://doi.org/10.1002/smj.1962.

Wang ZH, Sarkis J (2017). Corporate social responsibility governance, outcomes, and financial performance. Journal of Cleaner Production 162: 1607-1616. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.142.

Yang L, Yaacob Z, Teh SY (2017). Does reputation mediate the relationship between corporate social responsibility and performance of SMEs in China. International Journal of Economics & Management 11(2): 335-354.

Yim MC, Park HS (2019). Why legitimacy matters in crisis communication: A case study of the "Nut Rage" incident on Korean Air. Journal of Business and Technical Communication 33(2): 172-202. https://doi.org/10.1177/10506519188 16360.

Zaman G, Panait MC, Voica MC, Ene C (2020). Corporate Social Responsibility in the Agri-Food Sector. En: Recent Advancements in Sustainable Entrepreneurship and Corporate Social Responsibility (Ed. Gurtu A), pp. 37-68. IGI Global. https://doi.org/10.4018/978-1-7998-2347-6.ch003.

(Aceptado para publicación el 2 de noviembre de 2021)

Transferencia, Innovación y Agricultura: El caso de la difusión del cultivo del almendro en el sur de España

Francisco Cárdenas-Polonio[1,*], Javier Martínez-Dalmau[1,2] y Julio Berbel-Vecino[1,2]

[1] Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y de Montes (ETSIAM), Departamento de Economía y Sociología Agraria. Universidad de Córdoba, 14071 Córdoba, España

[2] Water, Environmental and Agricultural Resources Economics Research Group (WEARE), Universidad de Córdoba, 14014 Córdoba, España

Resumen

Las plantaciones de almendro se han convertido en una de las opciones más interesantes para los inversores del sector primario. La importancia de realizar una proyección en un horizonte temporal determinado, de la evolución de la superficie cultivada estriba en razones de índole micro y macroeconómica.

El objetivo de este trabajo es analizar el proceso de difusión del cultivo con la finalidad de realizar pronósticos sobre la evolución de la superficie cultivada, que puedan ayudar en el proceso de toma de decisiones de los agricultores. Para alcanzar este objetivo, se desarrollan cuatro modelos. Los dos primeros están basados en la metodología propuesta por Giovanis y Skiadas (1999) y de Bass (2004). Los modelos tres y cuatro persiguen la construcción de un patrón de influencia de los factores exógenos del cultivo (precio). Se propone la formulación desarrollada por Jarvis (1981).

Los resultados respecto al primer grupo indican que el proceso de difusión del cultivo se ajusta a una curva logística de forma sigmoidal, con una fase inicial de pequeña tasa de crecimiento, una fase intermedia de rápido crecimiento y una fase final o de saturación, con un crecimiento prácticamente inexistente. Los resultados respecto a los modelos tres y cuatro, demuestran que la curva es, como en el primer caso, sigmoidal y que los niveles del precio del fruto tienen una influencia decisiva en el proceso de difusión. A mayor precio del fruto aumenta el nivel de saturación del sistema y también se prolonga la duración del proceso de difusión.

Palabras clave: Innovación, modelo de difusión, curva logística, ventaja competitiva, cultivos permanentes.

Transfer, Innovation and Agriculture: The case of the diffusion of almond cultivation in southern Spain

Abstract

The almond tree has become one of the most interesting options for investors in the primary sector. The importance of making a projection in a certain time horizon of the evolution of the cultivated area is based on micro- and macroeconomic reasons.

* Autor para correspondencia: z12capof@uco.es

Cita del artículo: Cárdenas-Polonio F, Martínez-Dalmau J, Berbel-Vecino J (2022). Transferencia, Innovación y Agricultura: El caso de la difusión del cultivo del almendro en el sur de España. ITEA-Información Técnica Económica Agraria 118(3): 476-492. https://doi.org/10.12706/itea.2021.037

The objective of this work is to analyse the process of diffusion of the crop in order to make forecasts about the evolution of the cultivated area, which can help in the decision-making process of farmers. To achieve this goal, four models are developed. The first two are based on the models proposed by Giovanis and Skiadas (1999) and Bass (2004). Models three and four pursue the construction of a pattern of influence of the exogenous factors of the crop (price). The formulation developed by Jarvis (1981) is proposed.

The results regarding the first group of models indicate that the diffusion process conforms to a sigmoidal logistic curve, with an initial phase of small growth rate, an intermediate phase of rapid growth and a final phase or saturation, with a virtually non-existent growth. The results regarding models three and four show that the curve is, as in the first case, sigmoidal and that the price levels of the fruit have a decisive influence on the diffusion process. The higher the price of the fruit, the level of saturation of the system increases and the duration of the diffusion process is also prolonged.

Keywords: Innovation, diffusion model, logistic curve, competitive advantage, permanent crops.

Introducción

El proceso de toma de decisiones de los agricultores se realiza en un entorno de incertidumbre. En la búsqueda de una rentabilidad que garantice la permanencia de las explotaciones agrarias, los agricultores pueden optar por cultivos cuyo mercado esté saturado, máxime cuando la producción se difiere unos años desde que se toma la decisión, caso del almendro.

El cultivo del almendro se posiciona con sensibles ventajas competitivas respecto al olivar y los cereales, a los que está sustituyendo gracias a sus altos rendimientos de producción (incluso en condiciones de riego deficitario o de secano), la cotización del precio de la almendra, el alto grado de mecanización alcanzado, la rapidez de la recuperación de la inversión inicial, aspectos agronómicos como su resistencia y adaptación al clima continental andaluz, así como en la búsqueda de la diversificación del monocultivo de olivar por parte de algunos empresarios agrícolas.

El olivo (*Olea europaea* L.) representa el agro-sistema que caracteriza al campo andaluz y ocupa el 29 % de la superficie agraria de la Comunidad Autónoma (Anuario de estadísticas agrarias y pesqueras, 2020). Los nuevos sistemas de cultivo, en cuanto a marcos de plantación y sistemas de riego, desarrollados para el olivar desde comienzos de la década de los años 90, se intentan trasladar al almendro a partir de 2010. El almendro (*Prunus dulcis*) es una especie típicamente mediterránea, condicionada por este tipo de clima, inviernos suaves y húmedos y veranos secos y calurosos (Muncharaz-Pou, 2017). También en esta ocasión, las consultoras especializadas y centros de investigación han encontrado un amplio abanico de variedades y patrones que hacen posible el sistema de cultivo del almendro en marcos de alta densidad. Variedades autofértiles y con distinto periodo de floración como 'Avijor', 'Laurane', 'Soleta'®, 'Marta'®, 'Antoñeta'® y 'Penta'® y patrones como Rootpac, GF-677 y GxN permiten establecer marcos de hasta 3,5 × 1,5 m donde las técnicas y maquinaria desarrolladas para el caso del olivar, pueden adaptarse fácilmente, consiguiendo mecanizar la explotación, adelantar el inicio de producción y, por tanto, favorecer un mayor y más rápido retorno de la inversión inicial. De esta manera, lo que hasta ahora se consideraba un cultivo marginal destinado a tierras de secano y baja calidad, se ha transformado en una nueva alternativa rentable que está desplazando a cultivos como el olivo en marco tradicional o los cereales.

Son varias las causas que han motivado al agricultor a modificar o diversificar el cultivo de su explotación en la última década. La reforma de la Política Agraria Comunitaria de 2013, que sustituyó los "pagos únicos" históricos por otros basados en variables vinculadas a la actividad y sostenibilidad, e incluidas en el primer pilar (Instrumentos de la PAC y sus reformas, 2020), tales como el pago base, pago verde, pagos acoplados, pagos a jóvenes agricultores, pago a zonas con limitaciones específicas, régimen especial para pequeños agricultores y sistema de modulación, así como otras vinculadas al segundo pilar del desarrollo rural.

Junto a esta reforma de la PAC, la evolución de los precios de mercado del aceite de oliva cotizando a la baja y haciendo inviable explotaciones tradicionales, muchas de ellas centenarias, con altísimos costes de mano de obra (sobre todo en la recolección) son, sin duda, las dos causas más significativas que han empujado a los agricultores a modernizar sus explotaciones, abandonando cultivos/sistemas obsoletos que sólo se mantenían gracias a la ayuda comunitaria o a unos precios de mercado que no se esperan volver a alcanzar en un horizonte temporal razonable.

Existen tres zonas en Andalucía donde la difusión del cultivo del almendro en regadío se ha hecho especialmente significativa: Sevilla, Córdoba y en menor medida Granada. En la tabla 1 se muestra la evolución del porcentaje de superficie de almendro regadío en estas provincias.

Tabla 1. Evolución del porcentaje de superficie de almendro bajo riego.
Table 1. Evolution of the percentage of irrigated almond tree area.

Año	Sevilla	Córdoba	Granada
2010	44%	9,27%	2,9%
2018	77%	69%	7,4%

Fuente: Elaboración propia a partir del Anuario de Estadísticas Agrarias y Pesqueras (2020).

Niveles de rentabilidad del cultivo del Almendro versus Olivar y cereales

En la Tabla 2 se detallan los márgenes netos percibidos por el agricultor de almendro en secano (Baile-Bravo, 2020), los márgenes netos percibidos, en Andalucía, por los agricultores de los principales cereales (ECREA-MAPA, 2016) y los márgenes netos de aceituna de almazara en secano y en regadío (ECREA-MAPA, 2016). Por otro lado, la máxima productividad del olivar (EUR/ha) se produce para valores en las aportaciones de agua de riego de unos 2.500-2.700 mm, lo que resulta en unos beneficios de 2.100-2.300 EUR/ha en olivar (Expósito y Berbel, 2016). En el caso del almendro, la máxima productividad se produce para valores en las aportaciones de agua de riego de unos 900-1.000 mm, y se obtienen beneficios de 13.000-13.500 EUR/ha (Expósito y Berbel, 2020).

Por otra parte, en la figura 1 se detalla la evolución del precio de la almendra en pepita (FAOSTAT, 2020) frente a la evolución del precio del aceite de oliva (Observatorio de Precios y Mercados, 2020).

Estos datos evidencian las ventajas competitivas del cultivo del almendro frente los cultivos con los que compite (olivar y cereales más generalizados). Especialmente significativo es el diferencial del precio de la almendra frente al de aceite de oliva (véase figura 1).

Debido a ello, en el periodo 2010 a 2019 la superficie de regadío dedicada al cultivo del almendro en Andalucía se ha multiplicado por 5,6 (Anuario de estadísticas agrarias, 2020), mediante un proceso paulatino de transmisión y difusión tanto de los resultados esperados, como de las nuevas variedades, técnicas de manejo y "know how" desarrollados previamente.

Todo proceso innovador, requiere de otro posterior de difusión. Se entiende por innovación todo aquello que supone novedad, cambio o transformación (Marrón-Gaite, 2001). La

Tabla 2. Márgenes netos percibidos por agricultores de cereales, aceituna de almazara en secano y regadío, y almendro en secano (EUR/ha).
Table 2. Net margins received by farmers of rainfed and irrigated cereals, olives, and rainfed almonds (EUR/ha).

Cultivo	2013	2014	2015	2016	2017
Avena secano	3	52	-75	-134	
Maíz regadío	-367	-161	-627	-167	
Trigo blando secano	-121	-126	-218	-170	
Trigo duro secano	-232	13	173	18	
Aceituna almazara secano		249	627	543	799
Aceituna almazara regadío		-296	727	972	746
Almendro secano (media de los años analizados)		419			

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de ECREA-MAPA (2013-2017).
Fuente de almendro en secano: Baile-Bravo (2020).

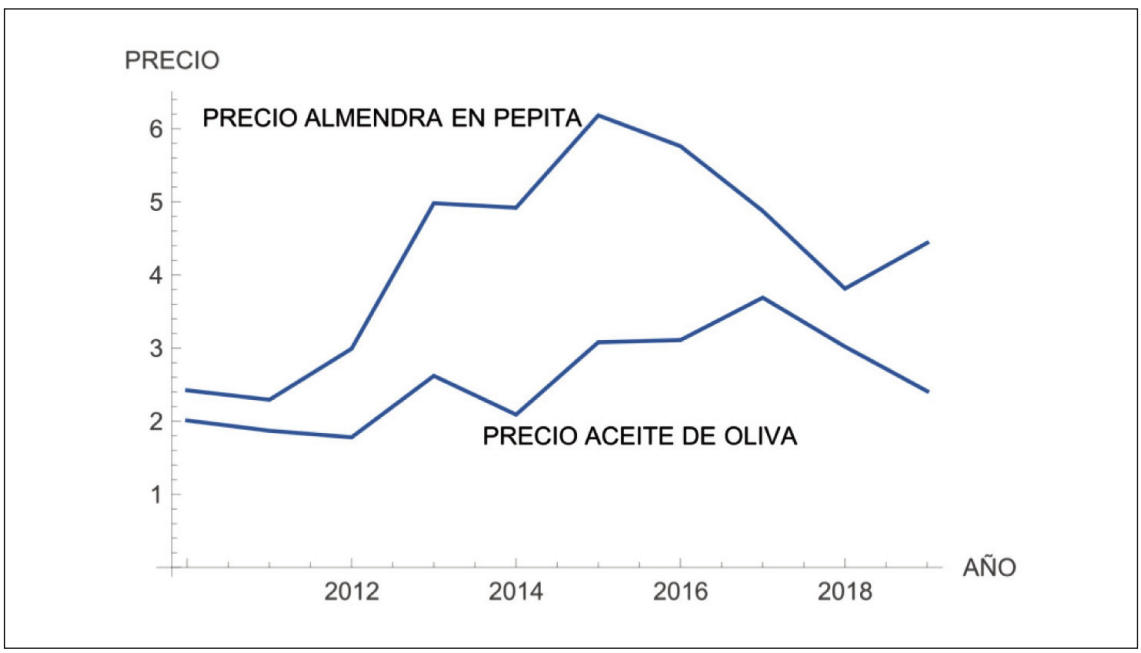


Figura 1. Evolución de los precios de la almendra en pepita* y del aceite de oliva (EUR/kg).
Fuente: FAOSTAT (2020) y Observatorio de Precios y Mercados (2020).
* El precio de la almendra en pepita se ha obtenido a partir de los datos FAOSTAT para la almendra en cáscara, considerando un rendimiento medio del 30 %.
Figure 1. Price evolution of seed almonds and olive oil (EUR/kg).

investigación de la difusión de la innovación se desarrolló como una disciplina con entidad propia a partir de la Segunda Guerra Mundial (Rogers, 1976). Numerosos estudios proponen diversos modelos de difusión para estudiar los aspectos temporales del proceso de crecimiento en el campo de la innovación (Floyd, 1968; Easingwood *et al*., 1981; Skiadas, 1985; Bass, 2004). En el sector industrial, se han establecido patrones de desarrollo mediante análisis econométrico sobre la innovación tecnológica (Mansfield, 1968). En el ámbito agrícola, se ha descrito el cambio tecnológico producido por la introducción de semillas de maíz híbrido en los Estados Unidos de América (Griliches, 1957). También en el terreno agrícola hay que citar los trabajos sobre la difusión del riego localizado en el campo de Cartagena (Alcón-Provencio *et al*., 2006), la difusión de la agricultura ecológica (Carmona Martínez *et al*., 2005), la difusión de la siembra directa en Argentina (Durán *et al*., 2011) y los trabajos sobre la difusión de la agricultura de precisión (Corró-Molas, 2007).

Difusión es un proceso en el cual una innovación es comunicada a lo largo del tiempo, a través de ciertos canales, entre los miembros de un sistema social (Rogers, 1995). Las innovaciones, nuevos productos, nuevos procesos o nuevos métodos en la gestión se propagan dentro y a través de un sistema productivo, con lo que la influencia del cambio sobre el estado del sistema, depende del grado en el cual se difunden las innovaciones, siendo la difusión la causante principal del crecimiento económico (Stoneman, 1986). Por otro lado, la adopción de la innovación es un proceso dinámico (Alcón *et al*., 2019), ya que existe un período de tiempo entre que el agricultor conoce la tecnología hasta que la adopta. Por esta razón, la difusión puede ser interpretada como una adopción agregada, estando la primera ligada al espacio y al tiempo, y la segunda al comportamiento adoptante del individuo (Gómez, 1986; Sunding y Zilberman, 2001).

Una de las controversias que existe sobre la adopción/difusión y su análisis, es la inexistencia de un marco de trabajo definido (Alcón-Provencio *et al*., 2006). En la literatura aparecen dos tipos de trabajos referentes a la adopción de innovaciones: los que tratan de explicar a nivel individual por qué unos agricultores siguen el proceso de adopción y por qué otros no, identificando los factores que los guían a la adopción, y otros trabajos que tratan de describir el proceso de difusión temporal de la tecnología y su posible evolución (Carmona Martínez *et al*., 2005). El trabajo que aquí se presenta pertenece a este segundo grupo.

Los modelos de difusión son modelos matemáticos que se basan en la construcción y el análisis de funciones que representan el grado de penetración de un determinado proceso en el sistema, a lo largo del tiempo (Rogers, 1995). Estos modelos tienen tres finalidades: primero, una finalidad descriptiva y explicativa ya que dan una idea de sus características más sobresalientes; segundo: tienen una finalidad predictiva ya que, a través del análisis adecuado de los datos de las etapas iniciales del proceso, se hace posible inferir y proyectarlas en un tiempo futuro; por último, también sirven como instrumentos de control, puesto que introduciendo en el sistema cambios en determinadas variables, es posible influir en la trayectoria de la curva que describe el proceso de difusión.

Como ya se ha señalado anteriormente, a lo largo de los años se han desarrollado modelos de difusión destinados a describir procesos diversos, cada uno de ellos con sus características propias. Entre los más destacables están el proceso de Gompertz, la función logística, la difusión tipo Bertalanffy, la difusión tipo Richards y el modelo de Bass (2004). La curva logística fue introducida Verhulst en 1838 (Muñoz-Valencia, 2017). Para alcanzar el primer objetivo de este trabajo, se proponen los modelos 1 y 2 que resultan de la aplicación

de la metodología de Giovanis y Skiadas (1999) y el modelo de Bass (2004), debido a las implicaciones y la aplicabilidad que presentan en los procesos de crecimiento de todo tipo; en nuestro caso la difusión del cultivo del almendro bajo riego, en el sur de España.

Respecto al segundo objetivo, se proponen los modelos 3 y 4, que resultan de la aplicación de la metodología descrita por Jarvis (1981). Estos casos 3 y 4 son una descripción de un modelo de influencia precios-área cultivada.

La principal novedad del presente trabajo estriba en evaluar el proceso de difusión del cultivo del almendro en regadío, especie históricamente relegada a tierras marginales de secano y que actualmente está desplazando a cultivos tradicionales en aquellas explotaciones con mayor potencial agronómico de la región. Por ende, este estudio trata de contribuir a enriquecer la literatura sobre la descripción del proceso de difusión de cultivos en general.

Material y métodos

La zona de estudio del presente trabajo se circunscribe a las ocho provincias de la Comunidad Autónoma de Andalucía.

Los datos usados en el mismo se corresponden con la serie histórica de superficies de cultivo de almendro en regadío (Anuario de estadísticas agrarias y pesqueras, 2020) y los datos de precios de la almendra (FAOSTAT, 2020). En este sentido, en el período que va desde 2010 hasta 2019 la superficie cultivada de almendro en regadío en Andalucía ha pasado de 4.917 ha a 27.635 ha.

Por otra parte, el precio de la almendra durante este período se ha duplicado, alcanzando un valor de 4,44 EUR/kg de almendra en pepita (FAOSTAT, 2020).

En este trabajo se proponen cuatro modelos matemáticos que tratan de describir una formulación de la difusión del cultivo del almendro en Andalucía. Estos modelos se corresponden en sus variantes, con una definición propia de la curva logística de crecimiento.

Modelo 1

Se asume que la ratio de crecimiento en la superficie cultivada es el producto de dos funciones, siendo la primera proporcional a la superficie en cuestión y la segunda es proporcional a la magnitud del crecimiento remanente (Skiadas, 1985).

$$\frac{df(t)}{dt} \simeq g(f(t),p) \times \left[h(F) - h(f(t))\right] \qquad [1]$$

Donde $\frac{df(t)}{dt}$ = ratio de crecimiento del proceso.

g(f(t),p) = función que define la magnitud actual del crecimiento.

f(t) = función que describe el crecimiento.

p = vector de parámetros.

F = superficie total cultivada que se alcanzará o nivel de saturación del sistema.

h(F) – h(f(t)) = crecimiento remanente del proceso.

La ecuación 1 se puede escribir en la forma:

$$\frac{d\,f(t)}{d\,t} = b\,\frac{f(t)}{F}\left[F - f(t)\right] \qquad [2]$$

Donde b se denomina coeficiente de imitación.

La ecuación 2 representa uno de los patrones característicos del crecimiento logístico que contempla que el crecimiento tiene lugar en un entorno estable, finito y definido, en el cual el crecimiento remanente es conocido una vez que conocemos el nivel de saturación del sistema F. En la ecuación 2 de crecimiento hay que introducir un factor de componente alea-

toria, factor que es proporcional a la varianza infinitesimal del proceso de difusión. De esta forma, la ecuación 2 queda como sigue:

$$\frac{d\,f(t)}{d\,t} = b\frac{f(t)}{F}\left[\left(F - f(t)\right) + q\,u(t)\right] \quad [3]$$

Donde u(t) describe un proceso unidimensional de ruido blanco y q es el parámetro que controla la magnitud del ruido aleatorio.

La ecuación 3 se puede escribir como sigue:

$$\frac{d\,f(t)}{d\,t} = b\frac{f(t)}{F}\left[\left(F - f(t)\right) + c\,f(t)u(t)\right] \quad [4]$$

Si se utiliza la formulación de la ecuación diferencial de Itô (1944), el modelo de crecimiento estocástico es determinado por la siguiente ecuación:

$$d\,f(t) = b\frac{f(t)}{F}\left[\left(F - f(t)\right)\right]d\,t + q\,f(t)\,dW(t) \quad [5]$$

Donde W(t) describe un proceso unidimensional de Wiener y c = (b × q) /F.

La ecuación 5 es una ecuación diferencial estocástica no lineal autónoma, con ruido multiplicativo, que satisface el supuesto de que la varianza infinitesimal del proceso es proporcional al crecimiento del proceso.

La solución de esta ecuación 5 viene dada por la siguiente expresión:

$$f(t) = \frac{F}{1 + \left(\frac{F}{x_0} - 1\right)\left(\exp\left(-b\left(t-1\right)\right)\right)} \quad [6]$$

Estimación de los parámetros b, c, F del modelo 1

De acuerdo con la formulación de Giovanis y Skiadas (1999) el estimador de los parámetros b y b/F viene determinado por la expresión siguiente:

$$\begin{pmatrix} b \\ -\frac{b}{F} \end{pmatrix} = ST^{-1} \times HT \quad [7]$$

Siendo ST una matriz de dimensiones 2x2 y HT un vector de dos elementos:

$$ST = \frac{1}{c^2}\begin{pmatrix} T-1 & \int_0^T f(t)dt \\ \int_0^T f(t)dt & \int_0^T \left(f(t)\right)^2 dt \end{pmatrix}$$

$$HT = \begin{pmatrix} \int_0^T \frac{dt}{c^2\,f(t)} & \frac{1}{c^2}\left(f(T) - f(0)\right) \end{pmatrix}$$

Los términos de la matriz ST, integrales definidas, se pueden aproximar utilizando los correspondientes sumatorios, mientras que la integral en HT se puede reemplazar por la integral de Riemann-Stieltjes (Bartle, 1982) usando la fórmula de Itô (1944), resultando:

$$\int_0^T \frac{dt}{c^2\,f(t)} = \left[\ln\left(f(T)\right) - \ln\left(f\,(0)\right)\right] + \frac{c^2}{2}\left(T-1\right) \quad [8]$$

Por otra parte, el coeficiente c se puede estimar utilizando una extensión del procedimiento de aproximación de Chesney y Elliot (1993). Este método es empleado para estimar el parámetro de ruido para una ecuación diferencial estocástica no lineal autónoma con ruido multiplicativo:

$$\hat{c} = \frac{1}{T-1}\sum_{i=2}^{T} \frac{f(t) - f(t-1)}{\sqrt{f(t)f(t-1)}} \quad [9]$$

Modelo 2

En este caso, una versión estocástica del modelo bien conocido de Bass (2004), se utiliza de forma resuelta para describir el modelo de

crecimiento de la superficie cultivada de almendro en Andalucía. Este procedimiento ha sido desarrollado por Skiadas y Giovanis (1997).

La forma del modelo de innovación (crecimiento) adquiere la siguiente expresión: fórmula de Bass (2004):

$$df(t)=\left\{a\cdot\left(F-f(t)\right)+\left(\frac{b}{F}\right)\cdot\left(F-f(t)\right)\cdot f(t)\right\}\cdot dt+k\cdot\left(\frac{a}{b}+\frac{f(t)}{F}\right)\cdot dW(t) \qquad [10]$$

Dónde:

f(t) es la magnitud acumulativa del crecimiento.

F es el nivel de saturación del sistema

a es el coeficiente de innovación

b es el coeficiente de imitación.

W(t) es un proceso de Wiener que nos ayuda a determinar la fluctuación del crecimiento de naturaleza aleatoria.

k es el parámetro del ruido.

Se puede demostrar que la esperanza matemática de W(t)–W(s) = 0 y que la varianza es t-s, con $t \geq s$.

La ecuación diferencial estocástica 10 se resuelve mediante reducción de ecuaciones diferenciales estocásticas descritas por Skiadas y Giovanis (1997) es la expresada en la siguiente forma:

$$f(t)=\frac{F}{\exp\left[-\left(a+b-\frac{k^2}{2}\right)t\right]\left(\frac{1}{\frac{a}{b}+\frac{f_0}{F}}+\frac{b}{a+b-\frac{k^2}{2}}\left(\exp\left[\left(a+b-\frac{k^2}{2}\right)t\right]-1\right)\right.}-\frac{F\,a}{b} \qquad [11]$$

Los parámetros a, b, k, F se pueden estimar de forma indirecta a través de otros parámetros relacionados $a \cdot F$, $b - a$, $-\frac{b}{F}$, como describen en su formulación Skiadas y Giovanis (1997).

Estos parámetros se pueden expresar en forma matricial en la forma siguiente:

$$\begin{pmatrix} a\cdot F & b-a & -\frac{b}{F} \end{pmatrix}^T = ST^{-1}\ HT^T \qquad [13]$$

Donde ST es una matriz de dimensiones 3x3 y HT es un vector de tres elementos:

$$ST = \begin{pmatrix} \int_0^T \frac{dt}{f(t)^2} & \int_0^T \frac{dt}{f(t)} & T \\ \int_0^T \frac{dt}{f(t)} & T & \int_0^T f(t)dt \\ T & \int_0^T f(t)dt & \int_0^T f(t)^2 dt \end{pmatrix}$$

$$HT = \begin{pmatrix} \int_0^T \frac{df(t)}{f(t)^2} & \int_0^T \frac{df(t)}{f(t)} & \int_0^T df(t) \end{pmatrix}$$

Los términos de la matriz ST se pueden aproximar utilizando los correspondientes sumatorios, mientras que los términos del vector HT se pueden sustituir con las integrales de Riemann-Stieltjes (Bartle, 1982) utilizando la fórmula de Itô (1944). De este modo se obtiene:

$$\int_0^T \frac{df(t)}{f(t)} = \ln\left(f(T)\right) - \ln\left(f\ (0)\right) + \frac{k^2}{2}T$$

$$\int_0^T \frac{df(t)}{f(t)^2} = \frac{1}{f(0)}\ -\frac{1}{f(T)}\ +k^2\int_0^T \frac{dt}{f(t)}$$

Por último, el coeficiente k se puede estimar empleando el procedimiento propuesto por Chesney y Elliot (1993):

$$k\ =\ \frac{1}{T-1}\ \sum_{i=2}^{T}\frac{f(t)-f(t-1)}{\sqrt{f(t)f(t-1)}}$$

Respecto a los modelos 3 y 4, hay que señalar que estudios previos demuestran que la difusión puede estar influenciada por variables tales como los precios. Así, Griliches (1957) demostró que la ratio de difusión del uso de semillas híbridas en diferentes zonas de cultivo, estaban correlacionadas de forma positiva con los beneficios alcanzados por los agricultores que habían introducido la nueva semilla. Por otra parte, Mansfield (1968) demostró que las ratios de difusión de varias tecnologías en diferentes campos de la industria estaban correlacionadas de forma positiva por los beneficios obtenidos con la implantación de tales tecnologías. Jarvis (1981) propone una metodología que describe el proceso de difusión en función de las variables precio y tiempo.

Modelo 3

Se propone la primera formulación de Jarvis (1981) para el modelo de influencia del precio de la almendra sobre el área cultivada:

$$S\left[p, t\right] = k_1 \frac{p}{1 + EXP\left[-c_1 - a_1 t\right]}$$

siendo p el precio, t el tiempo, y k_1, c_1, a_1 los parámetros del modelo.

Modelo 4

Se propone la segunda formulación de Jarvis (1981) para el modelo de influencia precio-superficie:

$$S\left[p, t\right] = k_2 \frac{p}{\left(1 + EXP\left[-c_2 - a_2\left(t - a_3\right) p\, t\right]\right)}$$

siendo k_2, c_2, a_2, a_3 los parámetros del modelo.

Para la estimación de los parámetros de estos modelos 3 y 4 se realiza un análisis de regresión multivariante, empleando los datos de área cultivada (véase tabla 3) y de precios de la almendra (FAOSTAT, 2020) (véase figura 1).

Resultados

Si se parte del hecho de que se conoce la trayectoria de la curva de crecimiento durante las fases iniciales del proceso de difusión se pueden estimar los parámetros de los modelos 1 y 2. Es decir, se parte de los datos de superficie cultivada (Anuario de Estadística Agraria, 2020) (tabla 3).

Tabla 3. Superficie cultivada de almendro en regadío en Andalucía (ha).
Table 3. Irrigated almond cultivated area in Andalusia (ha).

Año	Área cultivada (ha)
2010	4.917
2011	5.324
2012	5.450
2013	6.222
2014	7.504
2015	8.134
2016	14.263
2017	22.737
2018	23.635
2019	27.635

Fuente: Anuario Estadísticas Agrarias, Junta de Andalucía. 2020.

Modelo 1

La ecuación que describe la curva de crecimiento es:

$$S\left[t\right] = \frac{F}{1 + \left(\frac{F}{x_0} - 1\right)\left(\exp\left(-b\left(t - 2009\right)\right)\right)}$$

t = 2010, 2011, 2012… N, siendo S el área cultivada y t el tiempo.

Los parámetros para este modelo son: b = 0,31; F = 40.000 ha (nivel de saturación del sistema).

$$S\left[t\right]=\frac{F}{\exp\left[-\left(a+b-\frac{k^2}{2}\right)\left(t-2009\right)\right]\left(\frac{1}{\frac{a}{b}+\frac{f_0}{F}}+\frac{b}{a+b-\frac{k^2}{2}}\left(\exp\left[\left(a+b-\frac{k^2}{2}\right)\left(t-2009\right)\right]-1\right)\right.}-\frac{F\,a}{b}$$

t = 2010, 2011, 2012… N.

Los parámetros del modelo son: a = –0,19; b = 1,12; F = 27.000 ha.

Modelo 3

La ecuación de la curva de crecimiento es:

$$S\left[p,t\right]=k_1\frac{p}{\left(1+EXP\left[-c_1-a_1\left(t-2009\right)\right]\right)}$$

Los parámetros del modelo son: k_1 = 15; c_1 = –4,27; a_1 = 0,4. El nivel de saturación del sistema está influenciado por el precio del producto.

Modelo 4

La ecuación de la curva de crecimiento es:

$$S\left[p,t\right]=k_2\frac{p}{\left(1+EXP\left[-c_2-a_2\left(t-2009\right)-a_3\,p\left(t-2009\right)\right]\right)}$$

t = 2010, 2011, 2012… N.

Los parámetros del modelo son: k_2 = 6,89; c_2 = –3,25; a_2 = 1,15; a_3 = –0,14. También en este caso el nivel de saturación del sistema depende del precio de la almendra.

Bondad de los ajustes

Para proceder a la validación de los modelos matemáticos propuestos para describir la difusión del cultivo del almendro en Andalucía, se consideran una serie de índices de ajuste. Se van a tener en cuenta el coeficiente de correlación R^2, ocho índices de error y el índice FIT o de mejor ajuste (Camarillo-Peñaranda *et al.*, 2013). Su formulación es la siguiente:

Error Medio Absoluto: $MAE = (1/n)\cdot\sum_{i=1}^{n}Abs(y_i-\hat{y}_i)$

Donde y_i es el valor medido (observado), $\hat{y}_i$ es el valor estimado con el modelo y n es el número de datos.

Error Medio: $ME = (1/n)\cdot\sum_{i=1}^{n}(\hat{y}_i-y_i)$

Error Medio Cuadrático: $MSE = \left(\frac{1}{n}\right)\cdot\sum_{i=1}^{n}\left(y_i-\hat{y}_i\right)^2$

Raíz del Error Medio Cuadrático:

$$RMSE = \sqrt{\left(\frac{1}{n}\right)\cdot\sum_{i=1}^{n}\left(y_i-\hat{y}_i\right)^2}$$

Error Medio Absoluto Porcentual:

$$MAPE\left[\%\right] = \left(100/n\right)\cdot\sum_{i=1}^{n}Abs((y_i-\hat{y}_i)/\ y_i)$$

Suma Normalizada de Errores Cuadráticos Modificada:

$$MNSSE\left[\%\right]=100\cdot\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(y_i-\hat{y}_i^{\,2})/\sum_{i=1}^{n}y_i^{\,2}}$$

Error Medio Relativo: $MRE = (1/n)\cdot\sum_{i=1}^{n}(\hat{y}_i-y_i)/y_i$

Suma Normalizada de Errores Cuadráticos:

$$NSSE=100\cdot\left(\sum_{i=1}^{n}\left(y_i-\hat{y}_i\right)^2/\sum_{i=1}^{n}y_i^{\,2}\right)$$

Mejor ajuste

$$\text{FIT}\left[\%\right] = 100 \cdot \left(1 - \left(\sum_{i=1}^{n} \text{Abs}(y_i - \hat{y}_i) / \sum_{i=1}^{n} \text{Abs}(y_i - \bar{y})\right)\right)$$

Donde $\bar{y}$ es el valor promedio de los datos medidos. Su resultado es un porcentaje que llega hasta el 100 % cuando el ajuste es perfecto.

Respecto a la interpretación del índice MAPE hay que tener en cuenta las consideraciones de Nafidi *et al*., (2019).

Los índices de error estadístico para los modelos 1, 2, 3 y 4 se detallan en la tabla 4.

Discusión

Se han presentado 4 modelos diferentes que describen la difusión del cultivo. Los 2 primeros modelos responden a una formulación de la superficie cultivada en función de la variable tiempo: S[t]. El modelo 1 responde a la metodología de Giovanis y Skiadas (1999). El modelo 2 está basado en la ecuación de Bass (2004). Los modelos 3 y 4 responden a una ecuación (patrón de influencia precios-área cultivada) en la que la superficie cultivada se hace depender de las variables precio de la almendra y tiempo: S[p, t] y ha sido desarrollada por Jarvis (1981).

Tabla 4. Índices de error estadístico para los modelos 1, 2, 3 y 4.
Table 4. Models 1, 2, 3 and 4 statistical error rates.

Índice	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4
R^2	0,86	0,72	0,87	0,96
MAE	3,1	5	3	1,2
ME	3	5	-1,1	-0,4
MSE	16	46	11	2,9
RMSE	4	6,7	3,25	1,7
MAPE	39	60	36,5	18,6
MNSSE	12	21	8	4
MRE	0,4	0,6	-0,2	-0,08
NSSE	9	27	4,6	1,2
FIT	49	14,6	61	84

Fuente: Elaboración propia.

MAE: Error Medio Absoluto; ME: Error Medio, MSE : Error Medio Cuadrático; RMSE = Raíz del Error Medio Cuadrático; MAPE: Error Medio Absoluto Porcentual; MNSSE: Suma Normalizada de Errores Cuadráticos Modificada; MRE: Error Medio Relativo; NSSE: Suma Normalizada de Errores Cuadráticos; FIT: mejor ajuste.

Si se realiza una comparativa de los índices de error estadístico para los modelos 1 y 2 (véase tabla 4) se observa que el modelo 1 se comporta mejor estadísticamente que el modelo 2.

En la figura 2 se detalla la curva de crecimiento para los modelos 1 y 2. Según el modelo 1, el proceso de difusión se va a extender hasta el año 2035 y el nivel de saturación del sistema, que designa el techo de la difu-

sión donde la ratio de crecimiento es inapreciable, alcanza un valor de 40.000 ha.

Por otra parte, si se comparan los modelos 3 y 4, en lo que se refiere a los índices de error estadístico (véase tabla 4), se puede constatar que el modelo 4 se comporta mejor que el modelo 3. En la tabla 5 se detallan los estadísticos y significación de los parámetros del modelo 4 (*p* significativo). El modelo 4 presenta unos valores del coeficiente de correlación R^2 = 0,96; índice MAPE = 18,6 y FIT = 84 %, lo que significa un ajuste excelente.

Tabla 5. Estadísticos y nivel de significación para los parámetros del modelo 4.
Table 5. Statistics and significance level for model 4 parameters.

Parámetro	Valor estimado	Error estándar	P-valor
k_2	6,89	0,87	0,0002
c_2	-3,25	0,54	0,0009
a_2	1,15	0,32	0,01
a_3	-0,14	0,046	0,02

Fuente: Elaboración propia.

La figura 3 muestra la curva de crecimiento de la difusión descrita con el modelo 4, para diferentes valores de la variable precio de la almendra en pepita: 4 EUR/kg, 6 EUR/kg y 7,5 EUR/kg.

Para estos valores de la variable precio los valores del nivel de saturación del sistema son 27.000 ha, 41.000 ha y 52.000 ha, respectivamente. Se observa que a medida que aumentan los niveles del precio de la almendra también se incrementa el nivel de saturación del sistema, lo cual parece obvio, dado que el precio es un incentivo para la adopción del cultivo por parte de los agricultores, es decir, a mayores precios, la implantación del cultivo será mayor. Por otra parte, a medida que se incrementan los precios, mayor es la extensión de la duración del proceso de difusión. De este modo para un precio de 4 EUR/kg la difusión ya se agotará en el año 2026. A un precio de 6 EUR/kg, se estima que la difusión del cultivo se extenderá hasta el año 2035. Por último, para un precio de la almendra en pepita de 7,5 EUR/kg, la difusión se prolongará hasta el año 2070 aproximadamente. Parece obvio que en un entorno favorable y de estabilidad de precios y mercados, la duración de la difusión del cultivo será mayor ya que estas condiciones de estabilidad también actúan como incentivo para que los agricultores adopten la innovación del cultivo del almendro.

Por otra parte, para un precio de la almendra de 6 EUR/kg, los modelos 1 y 4 son equivalentes por la similitud que presentan en lo que se refiere al nivel de saturación del sistema (F = 40.000-41.000 ha) y a la extensión de la difusión en el tiempo (año 2035). Sin embargo, al comparar ambos modelos se llega a la conclusión de que el grado de información analítica aportada por el modelo-patrón de influencia precios-superficie (modelo 4), basado en la formulación de Jarvis (1981) es mayor que la del modelo 1, basado en la ecuación de Giovanis y Skiadas (1999), que estima la evolución de la variable superficie cultivada en función solamente de la variable tiempo.

Hay que señalar que los resultados del presente trabajo encuentran similitudes con trabajos anteriores. En concreto con los estudios de Alcón-Provencio (2006) sobre la difusión del riego localizado en el Campo de Cartagena, con el estudio de Carmona Martínez *et al*., (2005) sobre la difusión de la agricultura ecológica en España y con el estudio de Durán *et al*., (2011) sobre la difusión de la siembra directa en Argentina. En todos los casos se desarrollan modelos de difusión que describen el proceso de adopción de una innovación en el ámbito del mundo agrícola. En todos ellos se encuentra semejanza en la

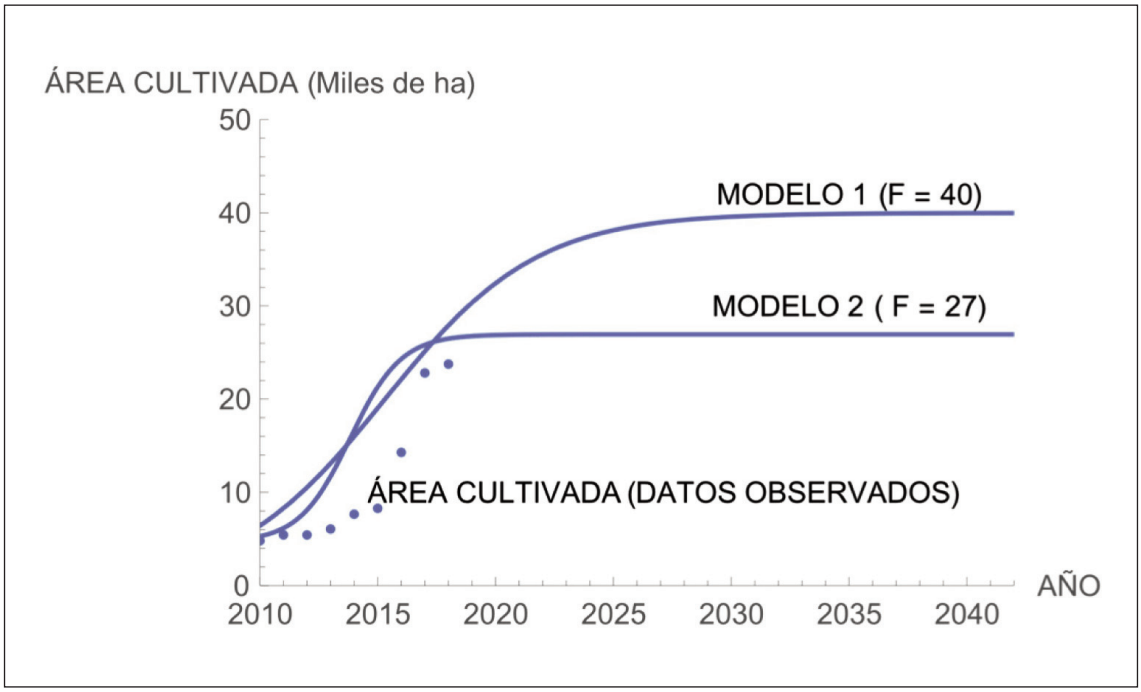


Figura 2. Representación gráfica de la curva de crecimiento Modelos 1 y 2.
Fuente: Elaboración propia.
F: nivel de saturación del sistema (miles de ha).
Figure 2. Graphical representation of models 1 and 2 growth curve.

forma sigmoidal de la curva de crecimiento (véanse figuras 2 y 3), con una fase inicial que presenta una tasa de crecimiento relativamente baja, una fase intermedia de rápido crecimiento y una fase final cercana al nivel de saturación del sistema, con una tasa de crecimiento prácticamente inexistente.

El trabajo de Alcón-Provencio trata de describir analíticamente el grado de penetración de una tecnología, en este caso el riego localizado, en el mercado potencial a lo largo del tiempo hasta alcanzar el nivel máximo de adopción en lo que se refiere a tres variables: porcentaje de agricultores adoptantes, porcentaje global de superficie en la que se ha implantado la tecnología del riego localizado y porcentaje de agricultores que han tenido conocimiento de la tecnología. En este sentido, presenta una similitud evidente con el presente trabajo ya que se maneja la variable superficie o área en la que se ha implantado la tecnología mientras que en el presente trabajo se habla de la evolución del área de cultivo. Por otra parte, Alcón-Provencio estudia la aplicación de cuatro modelos distintos de crecimiento: logístico, Gompertz, exponencial y de Bass. En esto, también presenta similitudes con el presente trabajo, aunque en el presente trabajo no se abordan los casos de Gompertz ni el caso exponencial, por no presentar un valor de *p* significativo, después de un análisis preliminar.

El trabajo de Carmona Martínez *et al*., (2005) trata de describir la introducción de la agri-

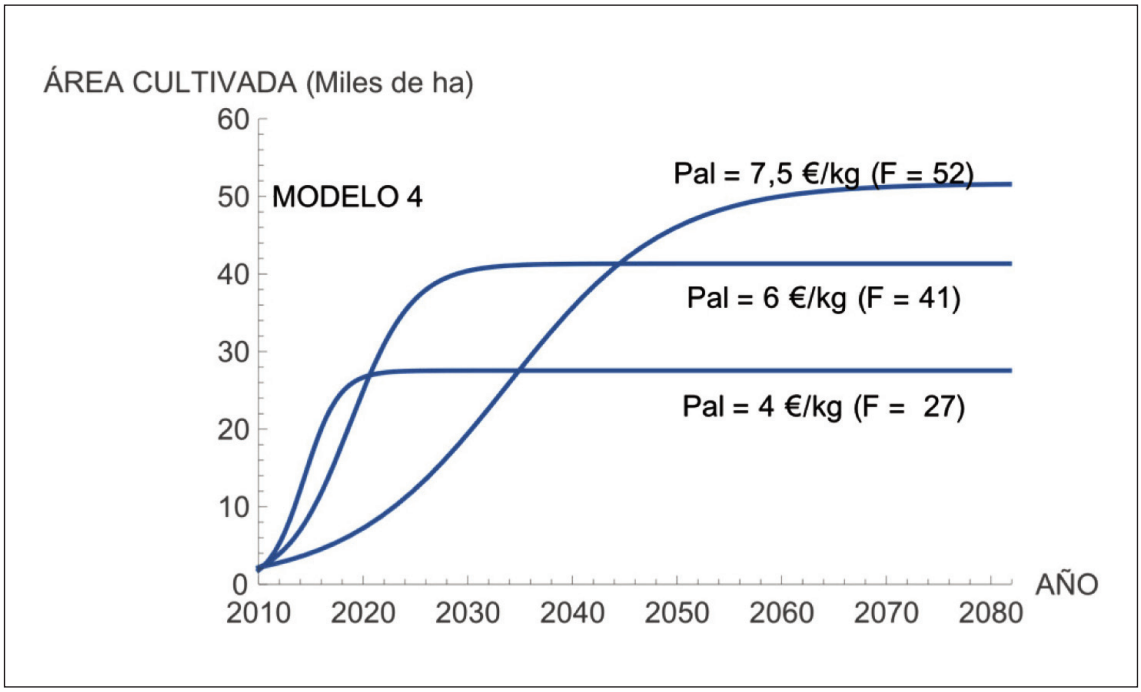


Figura 3. Representación gráfica de la curva de crecimiento para el modelo 4.
Fuente: Elaboración propia.
Pal: Precio de la almendra en pepita (EUR/kg). F: nivel de saturación del sistema (miles de ha).
Figure 3. Graphical representation of model 4 growth curve.

cultura ecológica en España como alternativa al sistema de producción agrícola tradicional. De esta forma se estudia la evolución del número de adoptantes de los métodos de la agricultura ecológica. Analiza los modelos de difusión logístico, exponencial y de Bass. En este caso se presentan similitudes con el presente trabajo. Para las estimaciones de los parámetros utiliza el algoritmo de Mínimos Cuadrados No Lineales. En este aspecto, se observa una diferencia importante con el presente trabajo, en el cual la estimación de los parámetros se realiza siguiendo la metodología descrita por Giovanis y Skiadas (1999) y de Bass (2004).

El trabajo de Durán *et al*., (2011) trata de describir la difusión de la tecnología de la siembra directa en Argentina. El método de investigación utilizado se basa en un estudio exploratorio de tipo cualitativo que emplea datos cuantitativos. Las fuentes de información primarias se generaron a partir de entrevistas con preguntas semi estructuradas a productores. Se llegó a la conclusión de que la adopción de la siembra directa sigue el formato de la curva sigmoidal (S). Esta conclusión es semejante a la del presente trabajo.

Como diferencia fundamental entre los tres trabajos mencionados y el presente se encuentra el hecho de que ninguno de ellos tres aborda el estudio de un patrón de influencia precios-área cultivada como sí que se realiza en el presente trabajo siguiendo la metodología de Jarvis (1981).

Conclusiones

La importancia de poder realizar un pronóstico o una proyección en un horizonte temporal determinado de la evolución de la superficie cultivada de almendro en regadío en Andalucía, estriba en razones de índole micro y macroeconómica, puesto que atendiendo a las ventajas competitivas que presenta respecto a otros cultivos, permitiría la mejora de los índices que definen el crecimiento económico del sector agrícola en Andalucía, con la consiguiente repercusión económica para los agricultores del sector.

Por otra parte, hay que mencionar que en la actualidad no existe Organización Común de Mercados (O.C.M.) de la almendra. Aunque sí que en el seno de la Unión Europea se han llevado a cabo políticas de incentivación del cultivo de los frutos secos, entre otras razones por los efectos beneficiosos que su consumo presenta para la salud. Estos incentivos están asociados a la superficie cultivada. Si esta política de incentivos es continuada en el tiempo es previsible que se produzca un segundo ciclo de crecimiento, expansión y difusión del cultivo del almendro en regadío en Andalucía.

Por otra parte, la adopción de la innovación por parte de los agricultores, es decir, la decisión de llevar a cabo la plantación de almendro, lleva implícita la necesidad de hacer frente, por los agricultores, a los costes de implantación del cultivo, que será menor si se trata de una transformación de secano a regadío en lugar de una plantación nueva. También hay que señalar que los costes de explotación son mayores para los sistemas de cultivo súper intensivos que para un sistema intensivo, puesto que en el primer caso los costes aumentan al ser mayores las labores de cultivo necesarias, como la poda para llevar a cabo el control del vigor (infoagro, 2017).

La principal novedad del presente trabajo estriba en que se evalúa la difusión del cultivo del almendro en regadío, especie que históricamente ha sido relegada a tierras marginales y de secano y que en la actualidad está desplazando a cultivos tradicionales en aquellas explotaciones con mayor potencial agronómico de la región.

Este trabajo trata de contribuir a llenar el vacío existente en la literatura de trabajos que versen sobre la aplicación de modelos de difusión explicativos de la adopción de un determinado cultivo por parte de los agricultores.

Por último, aunque el estudio se centra en el cultivo del almendro en regadío, parece interesante extender estas consideraciones al estudio de la difusión del cultivo del almendro en secano, debido a la gran implantación del cultivo en secano en Andalucía, por ser un cultivo que se adapta bien a las condiciones impuestas por veranos secos y calurosos, y por tanto, pobres en las aportaciones del agua de lluvia, condiciones que definen y caracterizan la meteorología de esta zona sur de la Península Ibérica: Andalucía.

Referencias bibliográficas

Alcón-provencio FJ, Miguel-Gómez MD, Fernández-Zamudio MA (2006). Modelización de la difusión de la tecnología de riego localizado en el Campo de Cartagena. Revista Española de estudios Agrosociales y Pesqueros 210: 227-246.

Alcón F, Navarro N, de-Miguel MD, Balbo AL (2019). Drip irrigation technology: analysis of adoption and diffusion processes. En: Sustainable Solutions for Food Security (Eds. Sarkar A, Sensarma S, vanLoon G), pp: 269-285. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-77878-5_14.

Anuario de estadísticas agrarias y pesqueras (2020). Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible. Junta de Andalucía.

Baile-Bravo D (2020). Estudio de la productividad económica de las nuevas plantaciones intensivas de almendro. Trabajo fin de máster. Máster en Economía Agraria, Alimentaria y de los Recursos Naturales. Escuela Técnica Superior de

Ingeniería Agronómica, Alimentaria y de Biosistemas. Universidad Politécnica de Madrid

Bartle RG (1982). The Elements of Real Analysis. Ed. Limusa S.A.

Bass FM (2004). Comments on "A new product growth for model consumer durables, the Bass Model". Management science 50(12): 1833-1840. https://doi.org/10.1287/mnsc.1040.0300.

Camarillo-Peñaranda JR, Saavedra-Montes AJ, Ramos-Paja CA (2013). Recomendaciones para seleccionar índices para la validación de modelos. Tecnológicas Edición Especial de 2013: 109-122. https://doi.org/10.22430/22565337.372.

Carmona Martínez MM, Gómez García J, Faura Martínez U (2005). La difusión de la agricultura ecológica en España: una propuesta de modelización matemática. Revista Española de Estudios Agrosociales y Pesqueros 205: 39-63.

Corró-Molas A (2007). Difusión de la agricultura de precisión en la región semiárida Pampeana Central. Tesis. Universidad Nacional de General Sarmiento.

Chesney M, Elliot RJ (1993). Estimating the Volatility of an Excange Rate. Proceeding of The Sixth International Symposium on Applied Stochastic Models and Data Analysis. World Scientific, 3-6 mayo, Chania, Crete, Greece. pp. 131-135.

Durán R, Scoponi L, Pesce G, De-Batista M (2011). Difusión de la innovación tecnológica: el caso de la siembra directa en Argentina y su comparación con Brasil. Revista Capital Científico 9(1): 11-25.

Easingwood C, Mahajan V, Muller E (1981). A nonsymmetric responding logistic model for forecasting technological substitution. Technological forecasting and Social change 20: 199-213. https://doi.org/10.1016/0040-1625(81)90021-4.

ECREA-MAPA (2016). Estudio de costes y rentas de las explotaciones agrarias. Disponible en https://www.mapa.gob.es/es/ministerio/servicios/analisis-y-prospectiva/ECREA_Informes-Agricolas.aspx (Consultado: 11 noviembre 20211).

Expósito A, Berbel J (2016). Microeconomics of deficit irrigation and subjective water response function for intensive olive groves. Water 8: 254. https://doi.org/10.3390/w8060254.

Expósito A, Berbel J (2020). The Economics of irrigation in almond orchards. Application to Southern Spain. Agronomy 10: 796. https://doi.org/10.3390/agronomy10060796.

FAOSTAT (2020). Datos de precios percibidos por el productor para el caso de la almendra. Disponible en: https://www.fao.org/faostat/es/#data (Consultado: 11 noviembre 2021).

Floyd A (1968). A methodology for trend forecasting of figures of merit. En: Technological forecasting for industry and government: methods and applications (ed. Bright J), pp: 93-107. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.

Giovanis AN, Skiadas CH (1999). A stochastic logistic innovation diffusion model studying the electricity consumption in Greece and the United States. Tecnological Forecasting and Social Change 61: 235-246. https://doi.org/10.1016/S0040-1625(99)00005-0.

Gómez AC (1986). Difusión-adopción de innovaciones en agricultura: un estudio sobre la campiña cordobesa. Tesis Doctoral. Universidad de Córdoba. Córdoba, España.

Griliches Z (1957). Hybrid corn: An exploration in the economics of technological change. Econometrica 4: 501-522. https://doi.org/10.2307/1905380.

Instrumentos de la PAC y sus reformas (2020) Fichas técnicas sobre la Unión Europea. Disponible en: https://www.europarl.europa.eu/factsheets/es/sheet/107/los-instrumentos-de-la-pac-y-sus-reformas (Consultado: 11 de noviembre 2021).

infoagro (2017). Soluciones e inversiones en agricultura, especializados en olivar y almendro. Estudio de mercado del aceite de oliva y de la almendra.

Itô K (1944). Stochastic integral. Proceedings of the Imperial Academy 20: 519-524. https://doi.org/10.3792/pia/1195572786.

Jarvis LS (1981). Predicting the diffusion of improved pastures in Uruguay. American Agricultural Economics 63: 495-502. https://doi.org/10.2307/1240540.

Mansfield E (1968). Industrial research and technological innovation: an econometric analysis. W. W. Norton & Co. New York, USA.

Marrón-Gaite MJ (2001). La difusión de innovaciones desde una perspectiva geográfica. Principales tendencias. Estudios Geográficos 62 (245): 675-703. https://doi.org/10.3989/egeogr.2001.i245.271.

Muncharaz-Pou M (2017). El almendro, manual técnico. 2ª edición. Mundi-Prensa. Madrid, España.

Muñoz-Valencia CS (2017). Modelización de procesos de difusión asociados a curvas de crecimiento. Trabajo Fin de Máster. Univercsidad de Granada. Granada, España.

Nafidi A, Moutabir G, Gutiérrez-Sánchez R (2019). Stochastic Brennan-Schwartz diffusion proccess: statistical computation and application. Mathematics 7: 1062. https://doi.org/10.3390/math7111062.

Observatorio de Precios y Mercados (2020). Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible. Junta de Andalucía. Disponible en: https://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/observatorio/servlet/FrontController?ec=default (Consultado: 11 noviembre 2021).

Rogers EM (1976). New product adoption and diffusion. Journal of consumer Research 2: 290-301. https://doi.org/10.1086/208642.

Rogers EM (1995). Diffusion of Innovations, 5ª ed. The Free Press, New York USA.

Skiadas C (1985). Two generalized rational models for forecasting innovation diffusion. Technological Forecasting and Social Change 27: 39-61. https://doi.org/10.1016/0040-1625(85)90003-4.

Skiadas CH, Giovanis AN (1997). A Stochastic Bass innovation diffusion model for studying the growth of electricity consumption in Greece. Applied Stochastic Models and Data Analysis 13: 85-101. https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-0747(199706)13:2%3C85::AID-ASM298%3E3.0.CO;2-Z.

Stoneman P (1986). Technological diffusion: the viewpoint of economic theory. Richerche Economiche 40: 585-606.

Sunding D, Zilberman D (2001). The agricultural innovation process: research and Technology adoption in a changing agricultural sector. En Handbook of agricultural economics (Ed. Gardner BL, Rauser GC), pp. 207-261. Elsevier, Amsterdam. https://doi.org/10.1016/S1574-0072(01)10007-1.

(Aceptado para publicación el 12 de noviembre de 2021)

Explorando lo "alternativo" en los Mercados Alternativos del centro de México

Sttefanie Yenitza Escobar-López, Angélica Espinoza-Ortega*, Sergio Moctezuma-Pérez y Cristina Chávez-Mejía

Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales (ICAR). Universidad Autónoma del Estado de México. Instituto Literario 100-A Poniente, Centro, C.P. 50000 Toluca de Lerdo, Estado de México, México

Resumen

El éxito e importancia de espacios alternativos (mercados alternativos, tiendas agrícolas) nombrados Redes Alternativas de Alimentos, ha sido objeto de investigación a nivel mundial. Sin embargo, se establece la necesidad de examinar el concepto de "alternativo" que tienen cada grupo de actores que conforman estos espacios. El objetivo de este trabajo fue explorar la percepción del término "mercado alternativo" en cada grupo de actores. Para la recolección de datos se utilizó la técnica de Libre Asociación de Palabras a seis organizadores, 45 productores y 270 consumidores que participan en mercados alternativos del centro de México. Se obtuvieron 966 palabras que se agruparon en 23 categorías y a su vez en cinco dimensiones, las más importantes fueron "Cadenas de valor y relaciones sociales", "Atributos políticos" y "Atributos de Salud". Se observaron diferencias en la frecuencia de mención en las categorías y dimensiones de acuerdo con el tipo de actor y sus características sociodemográficas. En conclusión, los mercados alternativos son percibidos de manera diferente por cada grupo de actor, los organizadores tienen presentes menos categorías y dimensiones a diferencia de los productores y consumidores que expresan percepciones más amplias. En general las percepciones están ligadas principalmente con los beneficios de las cadenas cortas para la sociedad en general, por lo cual la libre asociación de palabras es una buena alternativa que permite generar información en torno a un término.

Palabras clave: Alimentos alternativos, percepción, Libre Asociación de Palabras, México.

Exploring the "alternative" in the Alternative Markets of central Mexico

Abstract

Worldwide, the success and importance of alternative spaces for the purchase of unconventional food (alternative markets, agricultural stores, among others) named Alternative Food Networks, has been the object of investigation. However, it is crucial to examine the concept of "alternative" of each group of actors that participate in these markets. Therefore, the objective of this work is to explore the perception of the term "alternative market" from each group of actors present in the market. For data collection, the Free Association of Words technique was used with six organizers, 45 producers and 270 consumers who participate in alternative markets in central Mexico. 966 words were obtained, which were grouped into 23 categories and in turn into five dimensions, the most important being "Value chains and

* Autor para correspondencia: angelica.cihuatl@gmail.com

Cita del artículo: Escobar-López SY, Espinoza-Ortega A, Moctezuma-Pérez S, Chávez-Mejía C (2022). Explorando lo "alternativo" en los Mercados Alternativos del centro de México. ITEA-Información Técnica Económica Agraria 118(3): 493-510. https://doi.org/10.12706/itea.2021.038

social relations", "Political attributes" and "Health attributes". Differences in frequency of mention of categories and dimensions were obtained, per type of actor and by their socio-demographic characteristics. In conclusion, alternative markets are perceived differently by each group of actors, the organizers have fewer categories and dimensions present, unlike producers and consumers who express broader perceptions. Perceptions are mainly linked to the benefits of short chains for society in general, so the free association of words is a good alternative that allows available information about a concept.

Keywords: Alternative foods, perception, Free Word Association, Mexico.

Introducción

Entre los años de 1960 y 1970 nacen en Estados Unidos y Europa diversos movimientos contra la globalización/justicia global y otras expresiones de protesta social, entre los cuales se encontraban los Neorrurales; cuyo interes fue crear nuevos espacios económicos y culturales para el comercio, la producción y consumo de alimentos con cualidades diferentes a los productos convencionales (Goodman *et al.,* 2012). Esas inciativas han evolucionado y proliferado en las últimas décadas surgiendo nuevas formas de cadenas alimentarias (Corsi *et al.,* 2018b), cuyo interés es crear espacios de confianza, sostenibles y de proximidad entre la producción y consumo de alimentos diferenciados (Soler y Calle, 2010).

Entre dichas iniciativas se encuentran 1) los mercados de agricultores, 2) la agricultura apoyada por la comunidad y 3) los grupos de compra solidarios, entre otros, a los que se les ha denominado Redes Alimentarias Alternativas (AFNs por sus siglas en inglés) (Goodman *et al.,* 2013; Corsi *et al.,* 2018a,b), propuestas con capacidad para reconectar espacial, económica y socialmente a los diferentes agentes de la cadena agroalimentaria (Marsden *et al*., 2000; Goodman *et al.,* 2012).

El éxito de las AFNs ha llamado la atención social y académicamente al presentarse como propuestas diferentes y opuestas a lo convencional (Corsi *et al.,* 2018a). Los enfoques abordados por las investigaciones son diversos, van desde temáticas globales como la agrobiodiversidad, agroecología (Morris y Kirwan, 2011; Simoncini, 2015), sostenibilidad y sustentabilidad (Melo y Hollander, 2013; Michel-Villarreal *et al*., 2019); otros los estudian desde una perspectiva social considerando los aspectos políticos (Qazi y Selfa, 2005; Goodman *et al*., 2012; Cucco y Fonte, 2015); algunos trabajos consideran lo alimentario en sí, como el consumo y desarrollo de relaciones, la evolución de los movimientos alimentarios y los sistemas agroalimentarios (Tregear, 2011; Fonte, 2013; Nigh y González, 2015; Darolt *et al*., 2016; Jones *et al*., 2016; Escobar-López *et al*., 2017); y otros estudios abordan aspectos muy específicos, como la calidad (Wills y Arundel, 2017) y los procesos de certificación (Schwentesius Rindermann, 2009; Cadavid-Castro *et al*., 2019). A pesar de la riqueza de estudios, Escobar-López *et al.* (2021a) establecen que una deficiencia es que se aborda de manera independiente a los actores que participan en estas iniciativas.

Desde el punto de vista geográfico los estudios se han desarrollado principalmente en los contextos europeos. Michel-Villareal *et al.* (2019) quienes realizaron un trabajo exhaustivo sobre el estado del arte de las redes alternativas de alimentos, resaltan dos cosas: el incremento de trabajos a partir del 2015 y la concentración de estudios en países desarrollados que establecen que sólo el 11 % de los trabajos se realizaron en el sur global, específicamente en América Latina se reportan trabajos en Bolivia, Brasil, Colombia, Ecuador y México (Melo y Hollander, 2013; Escobar-López *et al*., 2017; Cadavid-Castro *et al*., 2019; Michel-Villareal *et al*., 2019).

En México la primera iniciativa de un mercado orgánico surgió en 1996; actualmente hay más de 30 espacios a nivel nacional, los cuales se denominan *tianguis* alternativos (nombre Nahuatl para los mercados precolombinos y que subsisten hasta nuestros días, son mercados itinerantes que se establecen una vez por semana en las calles de los pueblos y ciudades medias) y mercados alternativos (MA). Su objetivo es constituirse como lugares de venta y consumo responsable (Roldán *et al*., 2016), que favorezcan a los pequeños productores involucrados en estas propuestas (Nigh y González, 2015; Schwentesius Rindermann y Gómez, 2015).

Ante la creciente demanda de productos diferenciados, estas estrategias alternativas están siendo copiadas por tiendas minoristas como, los supermercados. Al respecto Barbera y Dagnes (2016) establecen que las fronteras entre las cadenas de suministro de alimentos convencionales y las alternativas son cada vez más difusas, corriendo el riesgo de llegar a la convencionalización (Guthman, 2003). Por su parte Escobar-López *et al*. (2021b) establecen que los consumidores tienen muy clara la percepción del tipo de productos que se ofertan y las ventajas y desventajas de los diferentes tipos de mercado, por lo que no hay conflicto, dado que los consumidores perciben a las AFNs como espacios innovadores ligados a los movimientos sociales alternativos.

En ese sentido Moro y Lamarque (2020) sugieren analizar este tipo espacios de expresión identitaria (individual y colectiva) donde confluyen multiplicidad de actores involucrados en la producción-consumo, y las personas actúan y reaccionan motivadas con base en sus percepciones, no en una realidad objetiva (Schiffman *et al*., 2010).

En ese orden de ideas, diversos autores destacan la importancia del concepto "alternativo" de dichas iniciativas, por lo que han propuesto diversas definiciones con objetivos tanto descriptivos como normativos, predominando aspectos de sostenibilidad, calidad y accesibilidad (Forssell y Lankoski, 2014; Corsi *et al*., 2018a; Michel-Villarreal *et al.,* 2018; Goszczy ski y Wróblewski, 2020). A pesar de esos esfuerzos, aún existen diferencias entre la conceptualización de los profesionales, académicos y otros involucrados en dichos esquemas, convirtiéndose en abstractas y ajenas (Venn *et al*., 2006); por lo que algunos autores establecen necesario ampliar la noción de lo "alternativo" de las AFNs a partir de las nociones propias de los involucrados en dichas propuestas (Venn *et al*., 2006; Barbera *et al*., 2018; Corsi *et al.,* 2018b).

Es esencial entender la percepción de los individuos que interactúan en las AFNs (Mastronardi *et al.,* 2019) para comprender el hecho alimentario en las sociedades actuales (Sánchez-Vega *et al.,* 2019). De Garine (1999) define al hecho alimentario, como un acto complejo que no solo satisface la necesidad biológica primaria de alimentar el cuerpo, sino también involucra factores psicológicos culturales, sociales, entre otros. Donde los nuevos hábitos de consumo reflejan las características de una sociedad con una alta complejidad de comportamientos, cuyos significados cambian ante la incertidumbre del mundo posmoderno (Cembalo *et al*., 2012).

Abrahams (2007) establece que una concepción de las AFNs en los países en desarrollo, como es el caso de México donde se ha comenzado a visibilizar a los MA como AFNs (Nigh y González, 2015), ofrece una contribución oportuna al conocimiento mundial. Por lo tanto el objetivo del presente trabajo fue identificar la percepción de "mercado alternativo" de los actores (organizadores, productores y consumidores) presentes en los MA mexicanos.

Material y métodos

El estudio se realizó en MA del centro de México (área metropolitana con mayor número de estas iniciativas) de diciembre de 2018 a

abril de 2019. La muestra se seleccionó mediante un muestreo al azar por conveniencia, considerado un método no probabilístico recomendado en estudios de corte exploratorio (Guerrero *et al*., 2010; Escobar-López *et al*., 2017; Rojas-Rivas *et al.,* 2018), los entrevistados deberían ser personas mayores a 18 años y que participan activamente en los MA. En total participaron seis organizadores, 45 productores y 270 consumidores. Los organizadores entendidos como aquellas personas integrantes del Comité Coordinador que rige a la Red Mexicana de Tianguis y Mercados Orgánicos AC (REDAC), a la cual pertenecen los mercados visitados. Los productores que venden en estos espacios y cuya producción cumple con los lineamientos establecidos por la REDAC para la venta de alimentos orgánicos. Y los consumidores de éstos MA quienes acuden a ellos para la compra de alimentos orgánicos.

Diversos trabajos nacionales (López-Velázquez *et al*., 2012; Escobar-López *et al*., 2017; Bustamante-Lara y Schwentesius-Rindermann, 2018) e internacionales (Schunko y Vogl, 2020), coinciden en que no hay registros sobre el número de los diferentes actores que participan a los MA, sin embargo se observa que la mayor proporción son consumidores, seguido de productores y en mucho menor medida de organizadores (en ocasiones un organizador se encarga de dos mercados); por lo que al ser un trabajo de corte exploratorio se siguió la pauta de conservar ese equilibrio, tal como lo realizaron Escobar-López *et al.* (2021a) para a un estudio similar en España.

Las visitas a los MA se realizaron los fines de semana, únicos días que ofrecen servicio estos mercados (Bustamante-Lara y Schwentesius-Rindermann, 2018; Schunko y Vogl, 2020). La información se recolectó a través de un cuestionario el cual fue respondido cara a cara. El instrumento se constituyó de dos apartados: el primero de una libre asociación de palabras (LAP), donde se solicitó mencionar las tres primeras palabras que vinieran a la mente al escuchar el estímulo "mercado alternativo". La LAP es una técnica cualitativa simple (Steenkamp y Van Trijp, 1997), rápida y eficiente para obtener información acerca de la percepción de un concepto o un nuevo término, y de cómo influye en las actitudes o comportamientos (Guerrero *et al.,* 2010). En el segundo apartado los participantes respondieron sobre su información sociodemográfica, sexo, edad, nivel de estudios, estado civil y nivel de ingresos (Escobar-López *et al.,* 2017; Rojas-Rivas *et al.,* 2018). Dada la poca respuesta a la pregunta sobre el nivel de ingresos, se optó por eliminar esta variable del análisis.

Análisis de la información

De Garine (1999) establece que en estudios sobre alimentación se deben utilizar técnicas tanto cuantitativas como cualitativas, por lo que el presente trabajo consideró metodologías mixtas.

Las palabras mencionadas se agruparon en categorías de acuerdo con su significado o sinonimia, a su vez las categorías se reagruparon en dimensiones (Rojas-Rivas *et al.,* 2018). Las agrupaciones fueron realizadas con base en diferentes trabajos (Corsi *et al.,* 2018a; Michel-Villarreal *et al.,* 2018; Escobar-López *et al.,* 2019).

Una vez formadas las categorías y dimensiones, se calculó su frecuencia relativa por tipo de actor (organizadores, productores y consumidores). Para visualizar el comportamiento de las categorías por tipo de actor (organizadores, productores y consumidores) que participa en los MA, se utilizó la técnica de nubes de palabras. Las nubes de palabras son mapas gráficos que ilustran ideas o temas dominantes para una persona o un grupo de personas; permiten comparar y mostrar de manera fácil y rápida las palabras en proporción de su frecuencia de uso (Frunzeanu, 2015), donde a mayor frecuencia mayor ta-

maño de la palabra. Las nubes de palabras son una herramienta versátil (Sánchez-Vega *et al*., 2018) que en los últimos años se ha convertido en un modelo visual útil para mostrar percepciones en torno a diferentes términos y permite comparar datos cualitativos (Vrain y Lovett, 2020). Para su creación se utilizó el programa online WordArt.

Para complementar los resultados, se estableció la frecuencia relativa (%) del comportamiento de las dimensiones por tipo de actor para ser mostrada en un gráfico de araña (Figura 2).

Finalmente, las variables sociodemográficas se analizaron con estadística descriptiva (Tabla 2) (Escobar-López *et al.,* 2017 y 2019). Previamente los participantes se agruparon por generaciones en: Millenials (nacidos de 1983 a 2002), Generación X (nacidos de 1965 a 1983) y Baby boomers (nacidos de 1943 a 1964) (OECD, 2019), de acuerdo a lo sugerido por Williams *et al.* (2010), Rizal y Koe (2014) y Fishman (2016), quienes plantean que cada generación tiene sus propias actitudes y posturas, las cuales fueron moldeadas en sus años de crecimiento.

Resultados

Se mencionaron 966 palabras en total, una vez agrupadas de acuerdo a su sinonimia resultaron en 239 palabras diferentes, que se reagruparon en 23 categorías y a su vez, en cinco dimensiones (Tabla 1).

La dimensión denominada "Cadena de valor y relaciones sociales" fue la más mencionada (43,69 %) y se constituyó de siete categorías: *Cadenas cortas, Confianza, Accesibilidad, Social, Vínculo rural, Familiaridad y Disponibilidad*. La segunda dimensión en orden de mención fue "Atributos políticos" (22,67 %), agrupó las categorías de *Activismo, Ética, Innovación y Organización*. Respecto a la tercera dimensión nombrada "Atributos de salud", se conformó por las categorías de *Calidad, Naturalidad, Salud y Emociones*. La cuarta dimensión se nombró "Naturaleza ecológica" (9,52 % de mención), las categorías que la formaron fueron *Visión ecológica, Orgánicos, Alimentos estacionales* y *Bienestar animal*. Respecto a la última dimensión llamada "Atributos de los productos", agrupó las categorías de *Diferenciación, Artesanal* y *Hedónico.*

Una vez establecidas las categorías y dimensiones se analizó su frecuencia de mención por cada grupo para establecer la diferencia en la percepción de los MA.

En relación a las Categorías identificadas, en la Figura 1 se observa que para los tres tipos de actores, la categoría más asociada a los mercados alternativos fue *Cadenas cortas*, a partir de ahí se observan algunas variantes; para el caso de los Organizadores las categorías que continúan en orden de importancia fueron lo *Social, Ética, Innovación, Diferenciación* y lo menos mencionado fue *Calidad*, *Artesanal, Hedónico, Accesibilidad y Activismo*. Interesante observar que *Accesibilidad y Activismo* resultó ser el segundo aspecto más mencionado tanto por los Productores como por los Consumidores. Para los Productores, los elementos que continuaron en importancia fueron *Ética*, *Social* y *Confianza;* y para los Consumidores resultaron la *Confianza* y la *Calidad*.

En relación a las Dimensiones, los tres tipos de actores asocian el concepto de Mercado alternativo en primer lugar a "Cadena de valor y relaciones sociales"; en el resto de las dimensiones sólo hay coincidencias entre Productores y Consumidores (Figura 2).

Para los Organizadores, las Dimensiones asociadas a lo alternativo de estos espacios son los "Atributos políticos", seguidas de "Atributos de los productos"; prácticamente no lo rela-

Tabla 1. Dimensiones y categorías generadas a partir de las palabras mencionadas.
Table 1. Dimensions and categories generated from the mentioned words.

Dimensiones	Categorías	Palabras	Frecuencia (%)
Cadena de valor y relaciones sociales	Cadenas cortas	Local, productos nacionales, relaciones directas, directo del productor, conexiones, sin intermediarios, mercados locales, directos, productos locales, compras directas…	43,69
	Confianza	Confianza, honestidad, conocimiento, conocimiento del proceso de producción, productores confiables, certeza, conozco al productor, gente honesta, productor confiable, productores honestos, conocimiento de los productos…	
	Accesibilidad	Cercanía, pocos lugares, accesibles, mayor precio, mercados cercanos, alimentos cercanos, comodidad, espacios exclusivos, comodidad para los clientes, espacios accesibles…	
	Social	Beneficios, beneficio para todos, bienestar, bienestar social, espacios locales, reconocimiento del trabajo, valorización del productor y consumidor, beneficio para productores, desarrollo nacional, oportunidad…	
	Vínculo rural	Campo, productos del campo, mucho trabajo, cercanía a la tierra, cercanía al campo, directo de la tierra, milpa, tierra, alimentos del campo, conexión con el campo…	
	Familiaridad	Mercados tradicionales, familiaridad, mercados, identidad, mexicano, espacios tradicionales y regreso al pasado.	
	Disponibilidad	Insuficientes, pequeñas producciones, poca variedad de productos, de todo, deben ser más, pequeños proyectos y pocas cantidades de productos	
Atributos políticos	Activismo	Colaboración, ayuda, nacionales, ayuda a productores, comunicación, educación, mercado nacional, unidad, talleres, apoyo local…	22,67
	Ética	Solidaridad, relaciones justas, respeto, justos, responsabilidad, mercados solidarios, precios justos, consumo responsable, consumidor educado, inclusión…	
	Innovación	Original, nuevos alimentos, innovadores, competitividad, espacios innovadores, espacios nuevos, interesante, mercados pequeños, nuevas ideas y otra opción.	
	Organización	Organizaciones, trabajo, trabajo en equipo, coordinación, espacios abiertos, espacios coordinados, espacios organizados y trabajo duro.	

Tabla 1. Dimensiones y categorías generadas a partir de las palabras mencionadas (continuación).
Table 1. Dimensions and categories generated from the mentioned words (continuation).

Dimensiones	Categorías	Palabras	Frecuencia (%)
Atributos de salud	Calidad	Mejor calidad, alimentos de calidad, limpios, mejores productos, control en la producción, calidad diferenciada y procesos limpios.	20,60
	Naturalidad	Natural, alimentos naturales, alimentos sin conservadores, alimentos frescos, frescura, otras prácticas de producción, producción natural y sin conservadores.	
	Salud	Productos sanos, alimentos sanos, productos limpios, producciones sanas, compras sanas y prácticas sanas.	
	Emociones	Tranquilidad, amistad, felicidad, reflexión, espacios de tranquilidad, mejor experiencia y relajante.	
Naturaleza ecológica	Visión ecológica	Ecológico, productos no industriales, sin contaminación, menos contaminación, productos sin contaminantes, preocupación ecológica, respeto al medio ambiente, sin plásticos, más biodiversidad, naturaleza…	9,52
	Orgánicos	Productos orgánicos, alimentos verdes y ambientalmente amigables.	
	Alimentos estacionales	Alimentos de temporada y temporalidad.	
	Bienestar animal	Bienestar animal.	
Atributos de los productos	Diferenciación	Alimentos diferenciados, alimentos únicos, diferentes, autenticidad, únicos, certificación participativa, diversificado, productos reales y productos valiosos.	5,80
	Artesanal	Productos tradicionales, tradicional, artesanal, elaboración tradicional, procesos tradicionales, productos artesanales y saberes.	
	Hedónico	Más sabor, alimentos ricos y creatividad.	

cionan con los "Atributos de salud", y para sorpresa, en nada con la "Naturaleza ecológica.

En este sentido, los Organizadores perciben a los MA como espacios solidarios y libres de intermediarios que contribuyen a la venta de productos locales y nacionales. Consideran que proporcionan beneficios a la sociedad en general al fomentar relaciones justas (precios justos) y valores (respeto y responsabilidad), a través de un consumo responsable y de respeto al trabajo digno. Los consideran espacios originales, innovadores y competitivos; aunque en menor medida, también los relacionan con las características únicas de los productos, entre ellas el sabor, la forma de producción y elaboración artesanal, donde van implícitos los saberes.



Figura 1. Nube de palabras de las categorías mencionadas por tipo de actor.
Figure 1. Word cloud of the categories mentioned by each type of actor.

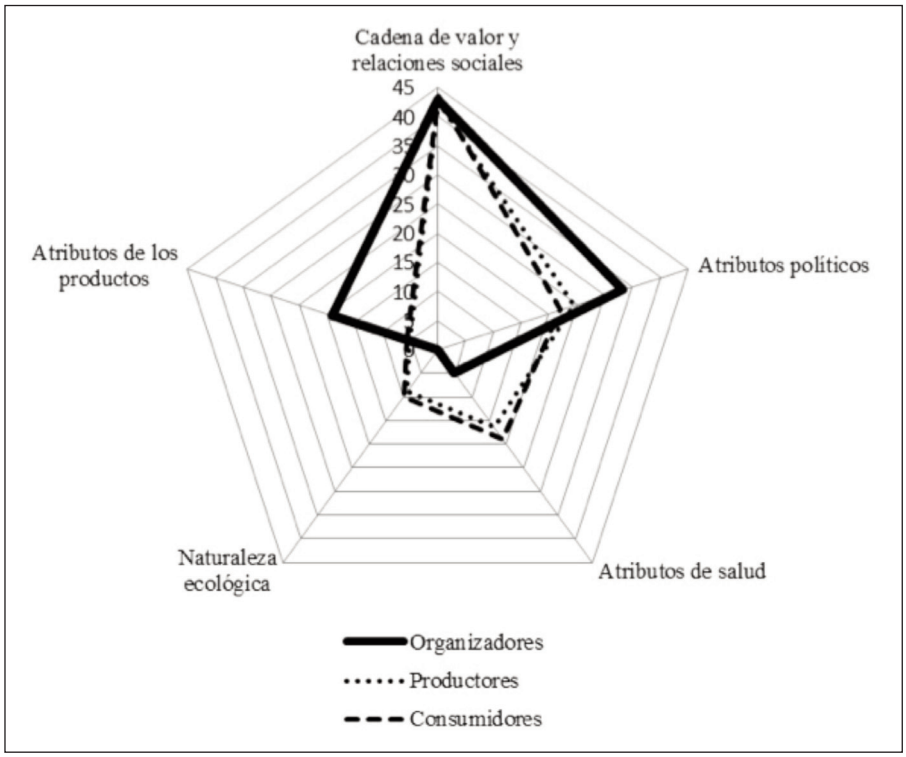


Figura 2. Comportamiento de las dimensiones según el tipo de actor.
Figure 2. Dimensions' behaviour according to the type of actor.

Como se mencionó, Productores y Consumidores mostraron un comportamiento muy similar. Después de "Cadena de valor y relaciones sociales" los aspectos que más asocian a los MA son "Atributos políticos", aunque en mucho menor medida que los Organizadores. También contrario a los Organizadores, valoran más "Atributos de salud" y "Naturaleza ecológica". Así mismo la dimensión a la que dan menor importancia es a "Atributos de los productos".

En este contexto, para los Productores y Consumidores lo alternativo de estos mercados radica en que son espacios locales sin intermediarios que fomentan las relaciones directas y la venta de productos locales y nacionales. A diferencia de los Organizadores, los Productores y Consumidores consideran el vínculo entre los actores que participan en los mercados; a los Consumidores les genera confianza conocer a los Productores y la forma en que producen los alimentos, catalogándolos como gente honesta y confiable. También, son considerados mercados accesibles que brindan comodidad a los clientes y beneficios tanto para los que participan en ellos como para la sociedad en general, al valorizar y reconocer el trabajo de cada miembro.

Por el tipo de alimentos que se ofertan, se consideran espacios que brindan la oportunidad de sentir cercanía y conexión con el campo, en el imaginario de los Productores y Organizadores se recrean como espacios tradicionales, familiares y que brindan un retorno al pasado; aspectos que no consideran los organizadores. Además, favorecen los procesos de comunicación y educación a través de talleres; que incentivan la conciencia, unidad, ayuda y apoyo a la sociedad y a la naturaleza. Se consideran espacios coordinados de trabajo en equipo.

Paradójicamente, a pesar que Productores y Consumidores consideran que los espacios son insuficientes y exclusivos, con poca variedad de productos y a precios altos; se perciben como mercados justos, inclusivos, solidarios y responsables, en gran medida porque promueven valores de consumo responsable y el trabajo digno.

Aunado a lo anterior, aunque pequeños, son calificados como originales, innovadores y competitivos; por ello que son apreciados como espacios tranquilos que cuentan con procesos limpios de control en la producción. En consecuencia, ofertan productos de mejor calidad, limpios, naturales, sin conservadores y frescos. Esos espacios invitan a la reflexión a través de una mejor experiencia que les genera felicidad.

Si bien la "Naturaleza ecológica" y el "Atributo de los productos" fueron las dimensiones que en general se mencionaron menos; es un hecho que los MA se relacionan con el tipo de producción y en consecuencia con los alimentos orgánicos, de temporada, no industriales y ambientalmente amigables. Lo cual se garantiza con el tipo de certificación que se practica en este tipo de mercados, la Certificación Participativa.

Se aprecia que la percepción de Mercado Alternativo no es única, el papel que juega cada actor en esos espacios constituye un factor importante para su percepción. Por otro lado, diferentes autores mencionan que aspectos como la edad, el género y el nivel educativo influyen en la elección del tipo de alimentos y en los espacios donde se realizan las compras, sin llegar a ser los determinantes principales, pero si explican en cierta medida el comportamiento y las percepciones (Rizal y Koe, 2014; Hidalgo-Milpa *et al.,* 2016).

En ese sentido, al analizar las variables socioeconómicas del presente estudio (Tabla 2) se aprecian proporciones diferentes en género, los Organizadores son en su mayoría hombres, en los Productores las mujeres son ligeramente más y en Consumidores las mujeres son mayoría. En cuanto a la edad, tanto

Organizadores como Consumidores pertenecen mayormente a la generación Millenial y los Productores a la generación X. En el nivel de estudios los tres grupos cuentan mayormente con estudios universitarios o de posgrado, aunque la educación básica y media superior es mayor en el caso de los Productores. Respecto al estado civil, es interesante que la mayor proporción de casados fuera sólo en los Productores.

Tabla 2. Características sociodemográficas de cada grupo de actores (%).
Table 2. Sociodemographic characteristics of each group of actors (%).

	Variable	Organizadores (n = 6)	Productores (n = 45)	Consumidores (n = 270)
Género	Hombre	**66,7**	42,2	28,1
	Mujer	33,3	**57,8**	**71,9**
Edad	Millenials (17-36 años)	**66,7**	22,2	**52,6**
	Generación X (37-54 años)	33,3	**53,4**	32,6
	Baby boomers (55-76 años)	0	22,2	14,8
	Silenciosa (Más de 77)	0	2,2	0
Nivel de estudios	Sin estudios	0	0	0,4
	Básica/Media superior	0	44,4	12,9
	Universitario/ Posgrado	**100**	**55,6**	**86,7**
Estado civil	Soltero/a	50	22,2	44,1
	Casado/a	50	**64,4**	**51,5**
	Otro	0	13,3	4,4

Discusión

La sociedad posmoderna participa en un complejo juego de signos (Cembalo *et al.,* 2012), donde la simbolización es un ejercicio individual con un consenso colectivo (Arias, 2014). Y en la comida se representan símbolos que potencializan las relaciones sociales e identidades culturales (Elliott, 1999), al mismo tiempo el espacio donde se realiza el consumo juega un papel importante. Lo anterior se refleja en las diferencias y similitudes en la percepción que tienen de los MA los Organizadores, Productores y Consumidores.

Percepciones semejantes

Los resultados muestran que las percepciónes coincidentes que tienen los Organizadores, Productores y Consumidores de de los MA, giran en torno a la "Cadena de valor y relaciones sociales" y, aunque en menor medida, en los "Atributos políticos". Bauman (2010) plantea que las sociedades actuales se encuentran en la modernidad líquida donde prevalece la incertidumbre con un constante flujo de signos, en un escenario desregularizado y privatizado con preocupaciones consumistas e individualistas; no obstante, los re-

sultados del presente trabajo muestran que un sector de la sociedad usa el mercado como escenario para plantear problemas políticos, éticos y ambientales (Cembalo *et al*., 2012), al relacionar a los MA principalmente con aspectos de interés social.

Los resultados coinciden con la descripción de las categorías que establecen Forssell y Lankoski (2014), Michel-Villarreal *et al.* (2018) y Goszczy ski y Wróblewski (2020) en el contexto europeo, donde definen a las AFNs a partir de las características de quienes participan y de las cualidades de los productos, resaltando su naturaleza opositora al sistema alimentario convencional y de masas; haciendo alusión a nuevas formas de comercialización con la reconexión de la relación productor-consumidor, la proximidad y producción local o del territorio. Lo anterior confirma que la concepción de AFNs que se ha manejado en países desarrollados difiere a la de los países en desarrollo (Abrahams, 2007). Lo que no implica que carezcan de validez en un contexto como el de México, dado que son iniciativas en desarrollo y que luchan por consolidarse.

A pesar que la dimensión "Cadena de valor y relaciones sociales" es la de mayor presencia en el imaginario de los tres grupos de actores abordados, para los Organizadores la confianza, el vínculo rural, la familiaridad y disponibilidad de los espacios y productos no apareció como relevante; para ellos lo importante son las relaciones y beneficios que se puedan desarrollar con el intercambio directo. Al respecto, Marsden *et al*. (2000) y Corsi *et al*. (2018a,b) establecen que en las cadenas cortas para la comercialización de alimentos, es fundamental desarrollar relaciones de confianza entre productores y consumidores, lo cual es evidente en las percepciones obtenidas en los Productores y Consumidores entrevistados, donde un indicador de la confianza se aprecia al involucrar a sus familias (Figura 1). Lo anterior reafirma lo establecido por Marsden *et al.* (2000), Brinkley (2018) y Goszczy ski y Wróblewski (2020) quienes mencionan que las AFNs se caracterizan por resocializar y reespacializar los alimentos, relacionándolos en una visión idílica con el lugar de producción, lo local y la idea de familia.

No obstante, esa visión idílica se rompe al reconocer que son espacios cuyo acceso no es para todos, debido a los altos precios y la insuficiente variedad de productos; por ello en México aún son consideradas como iniciativas jóvenes y en crecimiento (Brunori *et al*. 2012; Nigh y González, 2015). El discurso de los MA se basa en la reconexión entre productores, consumidores y lo local, que genera valor agregado a las actividades agrícolas; por lo tanto las AFNs son consideradas iniciativas que impulsan un desarrollo socioeconómico endógeno de abajo hacia arriba, al brindar medios de vida agrícolas diversificados a los productores (Goodman, 2010).

Si bien, el presente estudio no tenía como objetivo un análisis desde la perspectiva economica, las percepciones obtenidas concuerdan con Bustamante-Lara y Schwentesius-Rindermann (2018), quienes mencionan que los productores que participan en estos espacios consideran que la producción orgánica es rentable, a pesar de ser costosa, el integrarse a los MA les permite obtener mayores ingresos y vender todo lo que producen, gracias a la demanda de productos sanos y de calidad en estos lugares.

En cuanto la dimensión de "Atributos políticos", coincide con lo que Goszczy ski y Wróblewski (2020) denominan Política y Perspectivas de desarrollo; que lo relacionan con el activismo, la ciudadanía y el nacionalismo; de igual forma hay coincidencias con Forssell y Lankoski (2014) en las categorías de Fondo y Características de resultado, y con Michel-Villarreal *et al*. (2018) en las temáticas de Reconexión y Proximidad.

Cembalo *et al*. (2012) mencionan que los consumidores participan en las AFN para gene-

rar cambios (beneficios locales, integración de procesos productivos, desarrollo sostenible, fortalecimiento de factores sociales, entre otros) a través de sus acciones políticas con el ideal de motivar a otros (Schupp, 2017). En el presente trabajo es más evidente en los Organizadores, quienes consideran la ética e innovación para hacerlos espacios atractivos a los Consumidores. Los Productores por su parte dan mayor importancia al *Activismo* a través de la colaboración, apoyo local y desarrollo de talleres, de esta forma al proporcionar información de los productos aseguran un consumo constante.

Brunori *et al.* (2012) y Marsden *et al.* (2000) establecen que cuando los consumidores conocen la procedencia de los alimentos, ejercen su elección como un acto político donde la ética juega un papel importante. Moro y Lamarque (2020) enfatizan que quienes participan en estas iniciativas están inmersos en un consumo responsable, lo que a la larga conlleva a la coproducción de nuevos sistemas y espacios políticos de provisión de alimentos, es decir, propuestas alternativas al sistema convencional.

Percepciones diferentes

Los actores abordados presentan diferencias en la percepción de los MA en "Atributos de salud", "Naturaleza ecológica" y "Atributos de los productos". Estas dimensiones coinciden con lo que Goszczy ski y Wróblewski (2020) identifican como críticas y temores relacionados con los alimentos en masa, al considerar que los alimentos proporcionados por AFNs son garantía de salud y seguridad para las familias que los consumen.

Las diferencias identificadas se explican por el papel que desempeñan cada grupo de actores presentes en los MA. Para los Organizadores los "Atributos de salud" tomaron el cuarto lugar en importancia y "Naturaleza ecológica" no fue mencionada, y los "Atributos de los productos" obtuvieron el tercer lugar. Sin duda estos resultados dan mucho para reflexionar, es probable que al ser ellos los principales impulsores de estos espacios y con visiones ecológicas claras, consideren que los espacios de oportunidad estén en otros aspectos.

Respecto a los Productores y Consumidores si bien los "Atributos de salud" y la "Naturaleza ecológica obtuvieron el tercer y cuarto lugar de mención (Tabla 1) son más importantes que para los Organizadores, al ser quienes están en contacto directo con los productos, evalúan y aprovechan sus características y beneficios.

Lo anterior coincide con Escobar-López *et al.* (2017) quienes destacan que los consumidores que acuden a los mercados orgánicos del centro de México están motivados por las características de calidad de los productos, los benéficos para la salud y la naturaleza de su forma de producción; se observa una construcción simbólica de lo que representan los MA para los tres tipos de actores.

Influencia de los aspectos sociodemográficos

Autores como Corsi y Novelli (2018) plantean que el género, la edad, la ocupación, entre otros aspectos, influyen en las percepciones, creencias y actitudes generales de los consumidores.

Respecto al género, los resultados obtenidos para los grupos de Productores y Consumidores ratifican que estos espacios están feminizados (López-Velázquez *et al.,* 2012; Escobar-López *et al.*, 2017) aunque en México hay un papel activo de los hombres en la organización, en contraste con lo que ocurre en España (Escobar-López *et al.*, 2021a). López-Velázquez *et al.* (2012) señalan que generalmente quienes tienen presente el bienestar alimenticio familiar son las mujeres, de ahí su mayor participación como vendedoras y con-

sumidoras en los MA. En el mismo sentido Panzone *et al.* (2016) afirman que las mujeres muestran más actitudes proambientales que los hombres, nuevamente están más representadas en los Productores y Consumidores.

En cuanto a la edad, las primeras tres dimensiones más mencionadas coinciden con las características de las generaciones que prevalecen en los grupos. Los Organizadores y Consumidores se componen mayormente por Millenials. Williams *et al*. (2010) y Rizal y Koe (2014) consideran a esta generación como egoísta, hedónica y escéptica, al mismo tiempo interesada con una vida ecológica, de eficiencia energética, con mentalidad cívica, deseos de mejorar el mundo y con valores fundamentales como el optimismo y confianza y abierta a los nuevos conceptos de productos o servicios. Por otro lado los Productores, pertenecen en mayor proporción a la Generación X, considerada más conservadora e individualista, que no quiere depender de las instituciones por lo que los roles de liderazgo y emprendimiento les atraen; además son quienes más valoran a la familia (Williams *et al.,* 2010; Fishman, 2016).

A pesar de los discursos que debaten si las características que se atribuyen a las AFN describen la realidad, es decir, si generan beneficios al medio ambiente o a los que participan en ellas; lo cierto es que estos espacios son percibidos como lugares alternativos de consumo, donde hay ciertos matices dependiento del tipo de actor. Se distinguen a los consumidores que quieren comer mejor, más sabroso y más sano, tristemente un marcador social (Goodman *et al.,* 2013; Schupp, 2017), pero que genera beneficios a los productores. Es evidente que los MA de México han logrado transmitir sus objetivos a los actores que participan en ellos, como plantea Brinkley (2018), las AFNs, constituyen una opción para mantener activos financiera, social y políticamente a quienes los conforman.

Las creencias y los atributos afectan la forma en que los consumidores perciben las características de las cadenas y los alimentos. Para los consumidores pueden ser intrínsecas de la comida (sabor, frescura) o simbólicas o intangibles asociadas a lo alternativo (familiaridad, localidad, ético y social). Las características intangibles hacen que la preferencia de los alimentos se asocie estrictamente con la elección de una cadena donde la confianza es el elemento central. Es decir, en las AFNs se perciben características alternativas y beneficios adicionales más allá de la calidad y precio (Corsi y Novelli, 2018).

Sin duda queda mucho por trabajar en torno al sector orgánico en el ámbito de la política en México. La normatividad aun es insuficiente, en sus inicios se centró en la producción orgánica para exportación, cambió en 2010 con la publicación del Reglamento de la Ley de Productos Orgánicos donde se reconoce la Certificación Participativa (DOF 01-04-2010) de acuerdo a lo siguiente:

> *"La certificación participativa orgánica sólo procede para la producción familiar o para pequeños productores organizados, siempre y cuando vendan directamente al consumidor o usuario final dichos productos..."*

La existencia de esta certificación visibiliza al sector productivo orgánico en pequeña ecala, en consecuencia a los espacios donde se comercializan de forma directa eliminando los intermediarios y favoreciendo las cadenas cortas de comercialización, como es el objetivo de los MA. Es precisamente en el año 2010 que autores como Gómez-Cruz *et al.* (2010) mencionan que las políticas públicas orientadas a promover el crecimiento y desarrollo del sector orgánico eran escasas, haciendo necesario identificar los problemas y condiciones en las que se encontraba la cadena de producción-consumo.

Los resultados obtenidos en el presente trabajo indican que la percepción que tiene cada uno de los actores de los MA coincide con los objetivos con los que fueron creados, como acercarse a la sostenibilidad al incluir factores ecológicos, económicos, socioculturales y de salud (Schwentesius Rindermann y Gómez, 2015).

Es evidente que conocer la percepción y preferencias de los consumidores es importante, sobre todo en el contexto mexicano actual donde las preferencias y percepciones respecto al consumo de alimentos han cambiado debido a la presencia de la pandemia del COVID-19 (Espinoza-Ortega *et al*., 2021), así como los espacios dónde se compran los alimentos. En este escenario, dónde la interacción entre personas es limitado, los dispositivos de alta tecnología permite el acceso a información sobre el consumo a través de múltiples aplicaciones (Barbosa y Filho, 2019).

Conclusión

La libre asociación de palabras permitió generar información acerca del término "mercado alternativo" a partir de la percepción de los actores. Hay coincidencia entre los tres tipos de actores que lo alternativo de estos espacios se centra en las cadenas cortas de valor y en las relaciones sociales. Las coincidencias en las percepción de lo alternativo en Consumidores y Productores es en los atributos de salud y naturaleza ecológica, en cambio para los Organizadores lo alternativo radica en los atributos políticos y de los productos. Las percepciones dejan a un lado los factores económicos, contrario a lo que sucede en Europa y Norteamérica.

El papel de cada tipo de actor en los mercados alternativos se observa en el número de categorías mencionadas y en la generación sociológica a la que pertenecen.

El trabajo contribuye a la conceptualización de lo "alternativo" de estos mercados en países en desarrollo, donde la demanda de alimentos orgánicos, locales y tradicionales está creciendo. Además, los resultados pueden contribuir en la generación de estrategias para mejorar y ampliar estas iniciativas para llegar a un sector más grande la población, a través de políticas públicas que regulen, estimulen y protejan el sector orgánico en México.

El presente estudio se considera uno de los primeros acercamientos en México, que analiza las percepciones de los mercados alternativos a partir de una metodología alternativa, no obstante, la libre asociación de palabras tiene las limitaciones propias de un estudio exploratorio. La primera, que aunque el estudio se realizó en la zona con mayor número de mercados alternativos, estos hallazgos no deben generalizarse para todos los espacios del país. En México se han desarrollado diversas propuestas de mercados alternativos y constituyen un amplio campo para investigar. En segundo lugar, aspectos como el género y las generaciones pueden profundizarse en la preferencia de estos espacios. Por último, si bien a partir de la metodología empleada se obtuvo información relevante respecto a la percepción del término "mercado alternativo", se puede complementar con otras herramientas metodológicas como entrevistas a profundidad, historias de vida, evaluaciones económicas, entre otras.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca de doctorado brindada a la primera autora y por el financiamiento al proyecto clave 220531CB-2013.

Revisión bibliográfica

Abrahams C (2007). Globally useful conceptions of alternative food networks in the developing south: The case of Johannesburg's urban food supply system. En: Alternative food geographies: Representation and practice (Ed. Maye D, Holloway L, Kneafsey M), pp. 95-114. Oxford: Elsevier.

Arias J (2014). Un vertiginoso viaje etnohistórico dentro de los "imaginarios alimentarios" en el simbolismo del cacao en México. Anales de Antropología 48(1): 79-95. https://doi.org/10.1016/S0185-1225(14)70490-4.

Barbera F, Dagnes J (2016). Building Alternatives from the Bottom-up : The Case of Alternative Food Networks. Agriculture and Agricultural Science Procedia 8: 324-331. https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2016.02.027.

Barbera F, Dagnes J, Di Monaco R (2018). Consumers' Quality Conventions in Alternative, Conventional, and High-End Food Chains. En: Alternative Food Networks. An Interdisciplinary Assessment (Eds. Corsi A, Barbera F, Dansero E, Peano C), pp. 87-117. Palgrave Macmillan, Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-319-90409-2_5.

Barbosa MNL, Filho EJMA (2019). Green Consumption Values in Mobile Apps. Journal of International Consumer Marketing 31(1): 66-83. https://doi.org/10.1080/08961530.2018.1490052.

Bauman Z (2010). Mundo-consumo. Ética del individuo en la aldea global, 1st. Ed. Paidós Mexicana, México. 384 pp.

Brinkley C (2018). The smallworld of the alternative food network. Sustainability 10(8): 2921. https://doi.org/10.3390/su10082921.

Brunori G, Rossi A, Guidi F (2012). On the New Social Relations around and beyond food. Analysing consumers' role and action in gruppi di acquisto solidale (solidarity purchasing groups). Sociologia Ruralis 52(1): 1-30. https://doi.org/10.1111/j.1467-9523.2011.00552.x

Bustamante-Lara TI, Schwentesius-Rindermann R (2018). Perfil y situación de los productores que integran los tianguis y mercados orgánicos en México. Agricultura, Sociedad y Desarrollo 15(5): 507-530.

Cadavid-Castro MA, Álvarez-Castaño LS, Quintero-Vergara SD, Martínez-Bedoya X, Martínez-López AP (2019). Redes alimentarias alternativas de Medellín y el Oriente de Antioquia: espacios de construcción de confianza. Perspectivas En Nutrición Humana 21(1): 53-69. https://doi.org/10.17533/udea.penh.v21n1a05.

Cembalo L, Migliore G, Schifani G (2012). Consumers in postmodern society and alternative food networks: The organic food fairs case in Sicily. New Medit 11(3): 41-49.

Corsi A, Barbera F, Dansero E, Orlando G, Peano C (2018a). Multidisciplinary approaches to alternative food networks. En: Alternative Food Networks. An Interdisciplinary Assessment (Eds. Corsi A, Barbera F, Dansero E, Peano C), pp. 9-46. Palgrave Macmillan, Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-319-90409-2_2.

Corsi A, Barbera F, Dansero E, Peana C (2018b). Alternative Food Networks. An Interdisciplinary Assessment, 1st. Ed. Palgrave Macmillan, Switzerland. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-319-90409-2.

Corsi A, Novelli S (2018). Determinants of participation in AFNs and its value for consumers. En: Alternative Food Networks. An Interdisciplinary Assessment (Ed. Corsi A, Barbera F, Dansero E, Peano C), pp. 57-86. Palgrave Macmillan, Switzerland. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-319-90409-2_4.

Cucco I, Fonte M (2015). Local food and civic food networks as a real utopias project. Socio.Hu 3: 22-36. https://doi.org/10.18030/socio.hu.2015en.22.

Darolt MR, Lamine C, Brandenburg A, Alencar MDCF, Abreu LS (2016). Alternative food networks and new producer-consumer relations in France and in Brazil. Ambiente & Sociedade 19(2): 1-22. https://doi.org/10.1590/1809-4422ASOC121132V1922016.

De Garine I (1999). Antropología de la alimentación: entre naturaleza y cultura. Alimentación y Cultura. Actas de Congreso Internacional, España. pp. 13-34.

Elliott R (1999). Symbolic meaning and postmodern consumer culture. En: Rethinking Marke-

ting: Towards Critical Marketing Accountings (Ed. Brownlie D, Saren M, Whittington R), pp. 112-125. SAGE Publications Ltd. https://doi.org/10.4135/9781446280058.n8.

Escobar-López SY, 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 SY, 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.

Escobar-López SY, Amaya-Corchuelo S, Espinoza-Ortega A (2021a), Alternative food networks: perception in short food supply chains in Spain. Sustainability 13(5): 2578. https://doi.org/10.3390/su13052578.

Escobar-López SY, Espinoza-Ortega A, Moctezuma-Pérez S, Chávez-Mejía C, Martínez-García CG (2021b). Consumers perception of different types of food markets in Mexico. International Journal of Consumer Studies 00: 1-14. https://doi.org/10.1111/ijcs.12650.

Espinoza-Ortega A, Martínez-García CG, Rojas-Rivas E, Fernández-Sánchez Y, Escobar-López SY, Sánchez-Vegas LP (2021), Consumer and food changes in Mexican households during maximal contingency in the Covid-19 Pandemic. International Journal of Gastronomy and Food Science 24: 100357. https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2021.100357.

Fishman AA (2016). How generational differences will impact America's aging workforce: strategies for dealing with aging Millennials, Generation X, and Baby Boomers. Strategic HR Review 15(6): 250-257. https://doi.org/10.1108/shr-08-2016-0068.

Fonte M (2013). Food consumption as social practice: Solidarity Purchasing Groups in Rome, Italy. Journal of Rural Studies 32: 230-239. https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2013.07.003.

Forssell S, Lankoski L (2014). The sustainability promise of alternative food networks: an examination through "alternative" characteristics. Agriculture and Human Values 32(1): 63-75. https://doi.org/10.1007/s10460-014-9516-4.

Frunzeanu M (2015). Using wikis, word clouds and web collaboration in Romanian Primary Schools. Procedia - Social and Behavioral Sciences 180: 580-585. https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.02.163.

Goodman D (2010). Place and Space in Alternative Food Networks : Connecting Production and Consumption. En: Consuming Space. Placing Consumption in Perspective (Ed. Goodman MK, Goodman D), pp. 203-226. Routledge.

Goodman D, DuPuis EM, Goodman MK (2012), Alternative Food Networks. Knowledge, practice and politics, 1st. Ed. Routledge Taylor and Francis, London, England. 308 pp. https://doi.org/10.4324/9780203804520.

Goodman D, DuPuis EM, Goodman MK (2013). Engaging alternative food networks : commentaries and research agendas. International Journal of Sociology of Agriculture and Food 20(3): 425-431.

Gómez-Cruz MA, Schwentesius Rindermann R, Ortigoza Rufino J, Gómez Tovar L (2010). Situación y desafíos del sector orgánico de México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 1(4): 593-608.

Goszczy ski W, Wróblewski M (2020). Beyond rural idyll? Social imaginaries, motivations and relations in Polish alternative food networks. Journal of Rural Studies 76: 254-263. https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2020.04.031.

Guerrero L, Claret A, Verbeke W, Enderli G, Zakowska-Biemans S, Vanhonacker F, Issanchou S, Sajdakowska M, Signe B, Scalvedi L, Contel M, Hersleth M (2010). Perception of traditional food products in six European regions using free word association. Food Quality and Preference 21(2): 225-233. https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2009.06.003.

Guthman J (2003). Fast food/organic food: Reflexive tastes and the making of "yuppie chow" Social and Cultural Geography 4(1): 45-58. https://doi.org/10.1080/1464936032000049306.

Hidalgo-Milpa M, Arriaga-Jordán CM, Cesín-Vargas A, Espinoza-Ortega A (2016). Characterisation of consumers of traditional foods: the case of Mexican fresh cheeses. British Food Journal 118(4): 915-930. https://doi.org/10.1108/BFJ-02-2015-0083.

Jones JW, Antle JM, Basso B, Boote KJ, Conant RT, Foster I, Godfray HCJ, Herrero M, Howitt RE, Janssen S, Keating BA, Munoz-carpena R, Porter CH, Rosenzweig C, Wheeler T R (2016). Brief history of agricultural systems modeling. Agricultural Systems 155: 240-254. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2016.05.014.

López-Velázquez LG, Zapata-Martelo E, Vázquez-García V, Garza-Bueno LE, Schwentesius R (2012). Mujeres y tianguis orgánicos en México. México. Disponible en: http://ritaschwentesius.mx/publicaciones/libros/MUJERES_Y_TIANGUIS_050612.pdf (Consultado: 18 de octubre de 2018).

Marsden T, Banks J, Bristow G (2000). Food supply chain approaches: exploring their role in rural development. Sociologia Ruralis 40(4): 424-438. https://doi.org/10.1111/1467-9523.00158.

Mastronardi L, Romagnoli L, Mazzocchi G, Giaccio V, Marino D (2019). Understanding consumer's motivations and behaviour in alternative food networks. British Food Journal 121(9): 2102-2115. https://doi.org/10.1108/bfj-01-2019-0032.

Melo CJ, Hollander GM (2013). Unsustainable development: Alternative food networks and the Ecuadorian Federation of Cocoa Producers, 1995-2010. Journal of Rural Studies 32: 251-263. https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2013.07.004.

Michel-Villarreal R, Hingler M, Bregolio I (2018). Defining alternative food networks: A systematic literature review. Simposio Internacional De Investigación en Marketing De Alimentos, 13-14 junio, Reino Unido, pp. 128-132.

Michel-Villarreal R, Hingley M, Canavari M, Bregoli I (2019). Sustainability in alternative food networks: A systematic literature review. Sustainability 11(3): 859. https://doi.org/10.3390/su11030859.

Moro L, Lamarque M (2020). Alimentación, estilo de vida y participación: un estudio etnográfico de los grupos de consumo agroecológico en Castilla y León. Disparidades. Revista de Antropología 75(1): 1-14. https://doi.org/10.3989/dra.2020.010.

Morris C, Kirwan J (2011). Ecological embeddedness: An interrogation and refinement of the concept within the context of alternative food networks in the UK. Journal of Rural Studies 27(3): 322-330. https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2011.03.004.

Nigh R, González AA (2015). Reflexive consumer markets as opportunities for new peasant farmers in Mexico and France: constructing food sovereignty through alternative food networks. Agroecology and Sustainable Food Systems 39(3): 317-341. https://doi.org/10.1080/21683565.2014.973545.

OECD (2019): Under pressure: the squeezed middle class. OECD Publishing, Paris. https://doi.org/10.1787/689afed1-en.

Panzone L, Hilton D, Sale L, Cohen D (2016). Socio-demographics, implicit attitudes, explicit attitudes, and sustainable consumption in supermarket shopping. Journal of Economic Psychology 55: 77-95. https://doi.org/10.1016/j.joep.2016.02.004.

Qazi JA, Selfa TL (2005). The politics of building alternative agro-food networks in the belly of agro-industry. Food, Culture & Society 8(1): 45-72. https://doi.org/10.2752/155280105778055416.

Rizal J, Koe W (2014). The intention to consume organic food among Millennial generation. Knowledge Management International Conference, 12-15 de agosto, Malaysia, pp. 920-925.

Rojas-Rivas E, Espinoza-Ortega A, Martínez-García CG, Moctezuma-Pérez S, Thomé-Ortiz, H (2018). Exploring the perception of Mexican urban consumers toward functional foods using the Free Word Association technique. Journal of Sensory Studies 33(5): e12439. https://doi.org/10.1111/joss.12439.

Roldán HN, Gracia MA, Santana ME, Horbath JE (2016). Los mercados orgánicos en México como escenarios de construcción social de alternativas. POLIS, Revista Latinoamericana 15(43):

1-18. https://doi.org/10.4067/S0718-65682016000100027.

Sánchez-Vega LP, Espinoza-Ortega A, Thomé-Ortiz H, Moctezuma-Pérez S (2018). La percepción del consumidor de tortillas de maíz. Una aproximación al consumo de alimentos tradicionales a partir del género. En: Volteando la tortilla. Género y maíz en la alimentación actual de México (Ed. Vizcarra I), pp. 273-297. Universidad Autónoma del Estado de México. Juan Pablos Editor. México.

Sánchez-Vega LP, Amaya-Corchuelo S, Espinoza-Ortega A (2019). Percepción de la calidad y confianza en el jamón ibérico. Perspectivas del consumidor y del vendedor. Estudios Sociales. Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional 29(54): 1-28. https://doi.org/10.24836/es.v29i54.797.

Schiffman LG, Kanuk LL, Wisenblit J (2010). Comportamiento del consumidor, 10 th. Ed. Pearson, México. 549 pp.

Schunko C, Vogl CR (2020). Factors determining organic consumers' knowledge and practices with respect to wild plant foods : A countrywide study in Austria. Food Quality and Preference 85: 103960. https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2020.103960.

Schupp JL (2017). Cultivating Better Food Access? The Role of Farmers' Markets in the U.S. Local Food Movement. Rural Sociology 82(2): 318-348. https://doi.org/10.1111/ruso.12124.

Schwentesius Rindermann R (2009). Certificación orgánica participativa en la Red Mexicana de Tianguis y Mercados Orgánicos. Revista Vinculando 1-5.

Schwentesius Rindermann RR, Gómez MA (2015). La Red Mexicana de Tianguis y Mercados Orgánicos. Renovando sistemas de abasto de bienes de primera necesidad para pequeños productores y muchos consumidores. Revista Ciencias de La Salud 24(4): 100-114.

Simoncini R (2015). Introducing territorial and historical contexts and critical thresholds in the analysis of conservation of agro-biodiversity by Alternative Food Networks, in Tuscany, Italy. Land Use Policy 42: 355-366. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2014.08.010.

Soler M, Calle Á (2010). Rearticulando desde la alimentación: canales cortos de comercialización en Andalucía. En: Patrimonio Cultural en la Nueva Ruralidad Andaluza. Ed. Instituto Andaluz de Patrimonio Histórico, pp. 258-283. Junta de Andalucía, Consejería de Cultura, Sevilla, España.

Steenkamp JBEM, Van Trijp HCM (1997). Attribute elicitation in marketing research: a comparison of three procedures. Marketing Letters 8(2): 153-165. https://doi.org/10.1023/A:1007975518638.

Tregear A (2011). Progressing knowledge in alternative and local food networks: Critical reflections and a research agenda. Journal of Rural Studies 27(4): 419-430. https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2011.06.003.

Venn L, Kneafsey M, Holloway L, Cox R, Dowler E, Tuomainen H (2006). Researching European 'alternative' food networks: some methodological considerations. Area 38(3): 248-258. https://doi.org/10.1111/j.1475-4762.2006.00694.x.

Vrain E, Lovett A (2020). Using word clouds to present farmers' perceptions of advisory services on pollution mitigation measures. Journal of Environmental Planning and Management 63(6): 1132-1149. https://doi.org/10.1080/09640568.2019.1638232.

Wills B, Arundel A (2017). Internet-enabled access to alternative food networks: A comparison of online and offline food shoppers and their differing interpretations of quality. Agriculture and Human Values 34(3): 701-712. https://doi.org/10.1007/s10460-017-9771-2.

Williams KC, Page RA, Petrosky A, Hernandez EH (2010). Multi-Generational marketing: descriptions, characteristics, lifestyles, and attitudes. Journal of Applied Business and Economics 11(2): 21-36.

(Aceptado para publicación el 15 de diciembre de 2021)

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

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

Los premios se regirán de acuerdo a las siguientes

BASES

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

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

INSCRIPCIÓN EN AIDA

Si desea Vd. pertenecer a la Asociación rellene la ficha de inscripción y envíela a la siguiente dirección:
Asociación Interprofesional para el Desarrollo Agrario (AIDA). Avenida Montañana, 930, 50059 Zaragoza.

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

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

Apellidos:		Nombre:
NIF:		
Dirección Postal:		
Teléfono:	Fax:	e-mail:
Empresa:		
Área en que desarrolla su actividad profesional:		

En _____ , a ___ de _____ de 20__

Firma:

FORMA DE PAGO (COUTA ANUAL: 50 EUROS)

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

DOMICILIACION BANCARIA

Sr. Director del Banco/Caja

Muy Sr. mío,

Ruego a Vd. se sirva adeudar en la siguiente cuenta corriente (IBAN: 24 caracteres)

que mantengo en esa oficina, el recibo anual que será presentado por la **Asociación Interprofesional para el Desarrollo Agrario (AIDA).**

Atentamente,

En _____ , a ___ de _____ de 20__ Firmado:	Sello de la Entidad:

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 estar 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 (actualizado mayo de 2022

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

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

1. Envío de manuscritos y evaluación

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

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

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

2. Tipos de manuscritos

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

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

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

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

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

3. Preparación del manuscrito

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

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

Todos los manuscritos incluirán, en la primera página:

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

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

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

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

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

Ejemplo:

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

G. Pardo[1*], A. Marí[1], S. Fernández-Cavada[2], C. García-Floria[3], S. Hernández[4], C. Zaragoza[1] y A. Cirujeda[1]

*autor para correspondencia: gpardos@aragon.es

El manuscrito incluirá a continuación:

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

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

En inglés: Título del artículo, Resumen, Palabras clave

4. Apartados del manuscrito

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

- **Introducción:** deberá explicar la finalidad del artículo. El tema se expondrá de la manera más concisa posible, indicando al final los objetivos del trabajo.
- **Material y métodos:** deberá aportar la información necesaria que permita la réplica del trabajo, incluyendo el nombre del fabricante de productos o infraestructuras utilizadas. Los manuscritos deberán incluir una descripción clara y concisa del diseño experimental y de los análisis estadísticos realizados. Se indicará el número de individuos/muestras, valores medios y medidas de variabilidad iniciales. Se informará sobre si los datos de origen de la investigación tienen en cuenta el sexo, con el fin de permitir la identificación de posibles diferencias.
- **Resultados:** los resultados se presentarán en Tablas y Figuras siempre que sea posible. No se repetirá en el texto la información recogida en las Figuras y Tablas. Se recomienda presentar el valor de significación para que el lector pueda disponer de información más detallada. Puede redactarse de forma conjunta con el apartado de discusión.
- **Discusión:** deberá interpretar los resultados obtenidos, teniendo en cuenta además otros trabajos publicados. Se recomienda utilizar un máximo de 4 referencias para apoyar una afirmación en la discusión, exceptuando en las revisiones.
- **Conclusiones:** a las que se han llegado, así como las posibles implicaciones prácticas que de ellas puedan derivarse (aproximadamente 200 palabras).
- **Agradecimientos:** deberá mencionarse el apoyo prestado por personas, asociaciones, instituciones y/o fuentes de financiación del trabajo realizado.
- **Referencias bibliográficas:** sólo se citarán aquellas referencias relacionadas con el trabajo o que contribuyan a la comprensión del texto. Como máximo se podrán utilizar 40 citas en los artículos de investigación, y 60 en las revisiones bibliográficas. En el manuscrito, se mantendrá el orden cronológico en caso de citar varios autores. Las citas en el texto deben hacerse siguiendo los siguientes ejemplos:
  - *un autor (Padilla, 1974)
  - *dos autores (Vallace y Raleigh, 1967)
  - *más de 3 autores: (Vergara *et al.,* 1994)
  - *mismos autores con varios trabajos (Martín et al., 1971 y 1979)
  - *autores con trabajos del mismo año: Prache *et al.* (2009a,b)
  - *Si la cita forma parte del texto: "como indicaban Gómez et al. (1969)"
  - *Leyes y reglamentos: (BOE, 2005) o BOE(2005) si forma parte del texto

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

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

Artículo

Blanc F, Bocquier F, Agabriel J, D'Hour P, Chilliard Y(2006). Adaptative abilities of the females and sustainabilityof ruminant livestock systems. A review. AnimalResearch 55: 489-510. https://doi.org/10.1051/animres:2006040.

Capítulo de libro

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

Libro

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

Acta de congreso

Misztal I (2013). Present and future of genomic selection at the commercial level. Book of Abstracts of the 64th Annual Meeting of the EAAP, 20-30 de agosto, Nantes, Francia, pp. 100. https://doi.org/.3920/978-90-8686-782-0.

Fuente electrónica

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

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

(Consultado: 30 enero 2012).

Documento oficial

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

Leyes / Reglamentos

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

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

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

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

Ejemplo de tabla:

Tabla 3. Tarjetas de productos hipotéticos expuestos a los encuestados

Table 3. Hypothetical products cards shown to those surveyed

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

Fuente: Diaz *et al.* (2013)

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

5. Normas de estilo

- Se aplicará el Sistema Internacional de Unidades.
- Los decimales se indicarán en español con una coma (,) y en inglés con un punto (.).
- Las abreviaturas se definirán la primera vez que se citen en el texto.
- Las frases no podrán comenzar con una abreviatura o un número.
- Los nombres de hormonas o productos químicos comenzarán con minúsculas (sulfato de metilo, en vez de Sulfato de Metilo).
- Los símbolos de los genes se escribirán en mayúsculas y cursivas, y los símbolos de las proteínas que codifican estos genes en mayúsculas en texto plano (no cursiva). Igualmente, cuando aparezca el nombre del gen éste irá en cursiva, mientras que su proteína irá en texto plano.
- Las fórmulas químicas se nombrarán según las normas IUPAC (p. ej. H_2SO_4 en vez de SO_4H_2) y los nombres comerciales comenzarán con mayúscula (p.ej. Foligón). En el caso de iones, debe indicarse el signo (p. ej. NO_3^-, SO_4^{2-})
- Los nombres científicos de organismos vivos (botánicos, microbiológicos o zoológicos) deberán incluir en su primera cita la denominación completa de género, especie y del autor. En siguientes apariciones se abreviará el género con la inicial del mismo y se mantendrá el nombre de la especie. Ejemplo: *Papaver rhoeas* L. y posteriormente, *P. rhoeas.*
- Los nombres latinos de géneros, especies y variedades se indicarán en cursiva y los nombres de cultivares entre comillas simples (p. ej. 'Sugar Baby').
- Las llamadas en nota a pie de página o cuadro deberán ser las menos posibles y, en todo caso, se indicarán mediante números correlativos entre paréntesis (p. ej. (1), (2), evitando el uso de asteriscos, letras o cualquier otro signo).
- Los niveles de significación estadística no necesitan explicación (* = P<0,05; ** = P<0,01; ***= P<0,001; NS = no significativo).

Volumen 118
Número 3
Septiembre 2022

itea

información técnica económica agraria

www.aida-itea.org

REVISTA DE LA ASOCIACIÓN INTERPROFESIONAL PARA EL DESARROLLO AGRARIO

