

itea

información técnica económica agraria

REVISTA DE LA ASOCIACIÓN INTERPROFESIONAL PARA EL DESARROLLO AGRARIO

Volumen 117

Número 5

Diciembre 2021



aida-itea.org

2021- AÑO LII Vol. 117 N.º 5 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 Alicia Cirujeda, CITA de Aragón. España Paula Gaspar, Universidad de Extremadura. España Gabriel Pardo, CITA de Aragón. España Ana Pina Sobrino, CITA de Aragón. España Helena Resano, IA2-Universidad de Zaragoza. España Guillermo Ripoll, CITA de Aragón. España Ana Isabel Sanjuán, CITA de Aragón. España
EDICIÓN TÉCNICA:	María Salillas, Asociación Interprofesional para el Desarrollo Agrario. España
COMITÉ DE REDACCIÓN:	Alfonso Abecia, Universidad de Zaragoza. España Jorge Álvaro, EEAD Zaragoza. España Arancha Arbeloa, EEAD Zaragoza. España Carlos Calvete, CITA de Aragón. España Fernando Escriu, CITA de Aragón. España Vicente González, CITA de Aragón. España Cristina Mallor, CITA de Aragón. España Javier Rodrigo, CITA de Aragón. España
COMITÉ ASESOR:	Ricardo Aké, Universidad Autónoma de Yucatán, México • Joaquim Balcells, Universidad de Lleida, España • Carlos Cantero, Universidad de Lleida, España M ^a Elena Daorden, INTA, Argentina • M ^a José Díez, Universidad Politécnica de Valencia, España • Miguel Gómez, Cornell University EEUU • Margarita López, Centro de Investigación Agraria "Finca La Orden-Valdesequera", España • Ana Meikle, Universidad de la República, Uruguay • Camilla Moonen, Scuola Superiore Sant'Anna di Pisa, Italia • M ^a Teresa Muiño, Universidad de Zaragoza, España • César Revoredó-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 Eduardo Bernat Vila

Cada año las grullas procedentes del Norte de Europa llegan a la Laguna de Gallicantá a mediados de Octubre y permanecen hasta la primavera. Por las mañanas las grullas se alejan de la Laguna para alimentarse de semillas, raíces e insectos en los campos de alrededor. La Laguna de Gallicantá está situada entre las provincias de Zaragoza y Teruel, en el año 2006 fue declarada reserva natural de Aragón. El agua tiene alta salinidad. La foto se hizo a mediodía del 18 de Diciembre de 2016.

Sumario

Producción Vegetal

Compuestos fenólicos y actividad antioxidante en líneas experimentales de sorgo pigmentado cultivado en Coahuila México.

Phenolic compounds and antioxidant activity in experimental lines of pigmented sorghum grown in Coahuila Mexico.

Antonio Flores-Naveda, Felicito Díaz-Vázquez, Norma Angélica Ruiz-Torres, Mario Ernesto Vázquez-Badillo, Guillermo Niño-Medina, Neymar Camposeco-Montejo, Pablo Rodríguez-Salinas y Josué I. García-López 478

Producción Animal

Ajustes asociados a la aclimatación y estrés oxidativo en ovinos bajo estrés calórico: Una revisión.

Adjustments associated to acclimation and oxidative stress in sheep under heat stress: A review.

Porfirio Nicolás-López, Ulises Macías-Cruz, Abelardo Correa-Calderón, Miguel Mellado-Bosque, Raúl Díaz-Molina y Leonel Avendaño-Reyes 494

Perfil sensorial de la carne de vacuno de la raza Retinta procedente de dos sistemas de producción durante la maduración.

Sensory profile of beef meat of Retinta breed from two livestock production system during ageing.

Sol Zamuz, Susana García-Torres, María Cabeza de Vaca, David Tejerina, Alberto Ortiz, Mamen Oliván, Miguel A. Sentandreu, María López Pedrouso, Laura Purriños, José M. Lorenzo y Daniel Franco 513

Evaluación de diferentes fórmulas zoométricas para la estimación de peso vivo en cabras criollas de Tamaulipas.

Evaluation of different zoometric formulas for the estimation of live weight in Tamaulipas native goats.

Luz Yosahandy Peña-Avelino, Jorge Alva-Pérez, Ivonne Ceballos-Olvera, Said Hernández-Contreras y Gregorio Álvarez-Fuentes 532

Uso de antioxidantes en los medios de congelación y descongelación de semen de cerdo Ibérico.

Use of antioxidants in the freezing and thawing extender in Iberian pig sperm.

Lucía Arranz-Virseda, Cristina Tomás-Almenar, Juan José Ciruelos, Emilio Gómez-Izquierdo y Eduardo de Mercado 544

Economía Agraria

¿Existe un patrón de preferencias del consumidor diferente según el tipo de jamón ibérico? *Are there different consumers' preference patterns depending on the type of Iberian ham?*

Rubén Granado-Díaz, Anastasio J. Villanueva, Macario Rodríguez-Entrena, Malenia Salazar-Ordoñez, Manuel Estévez, Alejandro Sanz y Trinidad-Manrique 557

Internacionalización y supervivencia de la pyme agroalimentaria del sur de España.

Internationalization and survival of the agri-food SME in southern Spain.

Mercedes Luque-Vílchez, Pablo Rodríguez-Gutiérrez 580

Variedades de melocotón con mayor potencial económico: un estudio de caso en el norte de México.

Varieties of peaches with greater economic potential: a case study in northern Mexico.

Blanca Isabel Sánchez-Toledano 598

Compuestos fenólicos y actividad antioxidante en líneas experimentales de sorgo pigmentado cultivado en Coahuila México

Antonio Flores-Naveda¹, Felicito Díaz-Vázquez¹, Norma Angélica Ruiz-Torres¹, Mario Ernesto Vázquez-Badillo¹, Guillermo Niño-Medina², Neymar Camposeco-Montejo¹, Pablo Rodríguez-Salinas², Josué I. García-López^{1,*}

¹ Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Departamento de Fitomejoramiento, Centro de Capacitación y Desarrollo en Tecnología de Semillas. Calzada Antonio Narro 1923, Col. Buenavista, C.P. 25315, Saltillo, Coahuila, México

² Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Agronomía, Laboratorio de Química y Bioquímica. Francisco Villa S/N, Col. Ex-Hacienda, El Canadá, C.P. 66050, General Escobedo, Nuevo León, México

Resumen

El objetivo de este estudio fue evaluar y comparar las características de color, el contenido fenoles totales, flavonoides totales, taninos condensados, antocianinas totales y la capacidad antioxidante de siete líneas experimentales de sorgo pigmentados (color de grano naranja y rojo) cultivados en Coahuila, México. Los resultados revelaron que los valores de luminosidad, la saturación del color y el ángulo de tono (L^* , C^* y h) se encontraron en un rango de 39 a 64, 14 a 18 y 40 a 80, respectivamente, lo que indica que las muestras analizadas se encontraron en el cuadrante rojo-amarillo del círculo de matices. Por otra parte, los análisis químicos indican un amplio rango de variabilidad en el contenido de fenoles totales (84,77-1203,96 mg GAE/100 g), flavonoides totales (11,70-1012,14 mg CE/100 g), taninos condensados (269,95-2831,61 mg CE/100 g) y antocianinas totales (11,87-29,06 mg C3G/100 g). Las capacidades antioxidantes mostraron diferencias significativas ($p \leq 0,05$), con un rango de 447,86 $\mu\text{mol TE}/100 \text{ g}$ a 7579,17 $\mu\text{mol TE}/100 \text{ g}$, y 661,92 $\mu\text{mol TE}/100 \text{ g}$ a 9435,91 $\mu\text{mol TE}/100 \text{ g}$ para los ensayos de DPPH (2,2-difenil-1-picrylhydrazyl) y ABTS (2,2'-azinobis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid)). Se observó una alta correlación negativa entre el contenido de fenoles totales y los parámetros de color L^* , C^* y h , lo que sugiere que los granos oscuros presentaron los niveles más altos de compuestos antioxidantes. Los resultados de esta investigación, se utilizarán para seleccionar líneas experimentales de sorgo que puedan ser utilizados en programas de mejoramiento genético para aumentar el contenido de compuestos bioactivos y ampliar sus aplicaciones en la industria para generar alimentos nutraceuticos.

Palabras clave: *Sorghum bicolor*, fenoles totales, flavonoides totales, antocianinas, DPPH, ABTS.

* Autor para correspondencia: g.lopezj90@gmail.com

Cita del artículo: Flores-Naveda A, Díaz-Vázquez F, Ruiz-Torres NA, Vázquez-Badillo ME, Niño-Medina G, Camposeco-Montejo N, Rodríguez-Salinas PA, García-López JI (2021). Compuestos fenólicos y actividad antioxidante en líneas experimentales de sorgo pigmentado cultivado en Coahuila México. ITEA-Infomación Técnica Económica Agraria 117(5): 478-493. <https://doi.org/10.12706/itea.2021.011>

Phenolic compounds and antioxidant activity in experimental lines of pigmented sorghum grown in Coahuila Mexico

Abstract

The objective of this study was to evaluate and compare the characteristics of color, content of total phenols, total flavonoids, condensed tannins, total anthocyanins and the antioxidant capacity of seven experimental lines of pigmented sorghum (orange and red grain color) grown in Coahuila, Mexico. Results revealed that the values of lightness, color saturation and hue angle (L^* , C^* and h) were found in a range of 39 to 64, 14 to 18 and 40 to 80, respectively, which indicates that the analyzed samples were found in the red-yellow quadrant of the hue circle. On the other hand, chemical analyzes indicate a wide range of variability in the content of total phenols (84.77-1203.96 mg GAE/100 g), total flavonoids (11.70-1012.14 mg CE/100 g), condensed tannins (269.95-2831.61 mg CE/100 g) and total anthocyanins (11.87-29.06 mg C3G/100 g). Antioxidant capacities showed significant differences ($p \leq 0.05$), with a range of 447.86 $\mu\text{mol TE}/100\text{ g}$ to 7579.17 $\mu\text{mol TE}/100\text{ g}$, and 661.92 $\mu\text{mol TE}/100\text{ g}$ to 9435.91 $\mu\text{mol TE}/100\text{ g}$ for the DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) and ABTS assays (2,2'-azinobis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid)). A high negative correlation was observed between the content of total phenols and the color parameters L^* , C^* and h , which suggests that the dark grains presented the highest levels of antioxidant compounds. Results of this research will be used to select experimental lines of sorghum that can be used in genetic improvement programs to increase the content of bioactive compounds and expand their applications in the industry to generate nutraceutical foods.

Keywords: *Sorghum bicolor*, total phenols, total flavonoids, anthocyanins, DPPH, ABTS.

Introducción

El sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) es considerado el quinto cultivo más importante después del trigo, el arroz, el maíz y la cebada, en particular, se informa de su uso como alimento básico en Asia, África y otras regiones semiáridas (Shen et al., 2018). La composición nutricional del sorgo varía según el genotipo, en general, los carbohidratos (polisacáridos de almidón), proteínas y lípidos son los componentes principales del grano (Espitia-Hernández et al., 2020). El Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) informó que en promedio 100 g del grano tienen alrededor de 72,1 g de carbohidratos, 12,4 g de agua, 10,6 g de proteínas, 6,7 g de fibras y 3,5 g de lípidos, que proporcionan aproximadamente 1377 kJ de energía (USDA, 2019). Además, los compuestos fenólicos del sorgo se componen principalmente de ácidos fenólicos, 3-desoxiantocianidinas y taninos condensados que pueden mejorar la

salud intestinal y reducir los riesgos de enfermedades crónicas (Xiong et al., 2019).

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO-STAT), desde el año 2000 al 2018, México se ha colocado dentro de los 10 principales productores de sorgo, ocupando el cuarto lugar, después de Estados Unidos de América, Nigeria e India (FAOSTAT, 2018). De acuerdo con las estadísticas reportadas por el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), la superficie sembrada para la producción de grano en México para el año 2019 fue de 1 354 873 ha, de las cuales se cosecharon 1 230 754 ha con las cuales se alcanzó un rendimiento promedio de 3,3 t/ha (SIAP, 2019).

El sorgo se considera un cultivo de importancia económica en los países en desarrollo, ya que el crecimiento y desarrollo de las plantas presentan resistencia contra el estrés biótico y abiótico (Emendack et al., 2018) y puede contribuir al suministro de alimentos para la

creciente población mundial, especialmente como opción para generar alimentos de consumo en pacientes celíacos (Pontieri *et al.*, 2013). El sorgo de grano blanco es a menudo utilizado en la cocina, mientras que los sorgos de grano rojo y marrón con mayor contenido de compuestos bioactivos, como los polifenólicos, se utilizan regularmente para la elaboración de cerveza (Lim, 2013).

Los compuestos fenólicos, son beneficiosos para la salud humana y se aplican en la producción de alimentos procesados como ingredientes funcionales (Bhuyan y Basu, 2017; Shen *et al.*, 2018). Se ha informado que los compuestos bioactivos aislados del sorgo, principalmente los fenólicos, promueven cambios beneficiosos en parámetros relacionados con enfermedades no transmisibles como obesidad, diabetes, dislipidemia, enfermedades cardiovasculares, cáncer e hipertensión (De Morais *et al.*, 2017). En este sentido, los programas orientados al mejoramiento genético de plantas deben considerar el desarrollo de sorgos con alta concentración de compuestos bioactivos.

El sorgo tiene una amplia gama de compuestos fenólicos concentrados en el pericarpio que incluyen ácidos fenólicos, flavonoides y taninos condensados (Dykes *et al.*, 2013), sin embargo, la concentración y composición de fenólicos está influenciada tanto por el genotipo, como por los efectos ambientales (Taleon *et al.*, 2012). Diversos estudios han informado una gran diversidad en la concentración de los principales compuestos fenólicos en sorgos con diferentes pigmentaciones (López-Contreras *et al.*, 2015; Shen *et al.*, 2018), se ha reportado que la concentración de flavonoides en sorgos de grano blanco fue menor, en comparación con los de pericarpio amarillo-limón que presentaron los contenidos más altos (Dykes *et al.*, 2011).

Por lo anterior, el objetivo de este estudio fue evaluar y comparar las características de color, el contenido compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante de líneas experimentales de sorgo cultivadas en Coahuila México. La información generada de esta investigación, servirá para seleccionar líneas experimentales de sorgo que puedan ser utilizados en programas de mejoramiento genético para aumentar el contenido de compuestos fenólicos y su utilización en la industria alimentaria.

Material y métodos

Material genético

Los granos de las siete líneas experimentales de sorgo con diferentes pigmentaciones, provienen de accesiones del Programa de Mejoramiento de Sorgo del Centro de Capacitación y Desarrollo en Tecnología de Semillas (CCDTS) de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN). Todas las líneas experimentales fueron cultivadas durante el ciclo agrícola primavera-verano 2019, en el Campo Experimental Bajío UAAAN en Saltillo, Coahuila localizado a 25° 21' 29" Latitud N, 101° 02' 21" Longitud O, a una altitud de 1742 m s.n.m., con una precipitación media anual de 350-400 mm y una temperatura media anual de 19,8 °C.

Preparación de la muestra

El grano de cada línea experimental, fue separado de la panícula de forma manual, enseguida fue trillado a una humedad del 12 % al 13 %, y posteriormente se almacenaron a -20 °C en frascos color ámbar hasta el momento llevar a cabo los análisis. En la Tabla 1, se presentan las características del grano de cada línea experimental.

Tabla 1. Líneas experimentales de sorgo seleccionadas para el estudio.
 Table 1. Sorghum experimental lines selected to be studied.

Línea experimental	Origen	Fecha obtenida	Imagen
LES-35	Saltillo, Coahuila	Noviembre 2019	
LES-75	Saltillo, Coahuila	Noviembre 2019	
LES-17	Saltillo, Coahuila	Noviembre 2019	
LES-12	Saltillo, Coahuila	Noviembre 2019	
LES-13	Saltillo, Coahuila	Noviembre 2019	
LES-102	Saltillo, Coahuila	Noviembre 2019	
LES-93	Saltillo, Coahuila	Noviembre 2019	

Color del grano

En una caja Petri (4,73 cm x 1,5 cm) se colocaron 100 g de grano de cada línea experimental y se determinó el color con un lector Konica Minolta (CR-10 Tokio, Japón). Los parámetros cromáticos se obtuvieron utilizando los sistemas de color CIELAB (L^* , a^* , b^*) y CIELCH (L^* , C^* , h^*) de acuerdo con la Comisión Internacional de Iluminación de Alimentos (CIE, 2004).

L^* define la luminosidad (0 negro, 100 blanco), a^* indica rojo positivo (positivo a^*) o valor verde (negativo a^*) y b^* indica amarillo (positivo b^*) o valor azul (negativo b^*), C^* (cromo; nivel de saturación de h) y h (ángulo de tono: 0° = rojo, 90° = amarillo, 180° = verde, 270° = azul). La visualización del color se obtuvo mediante el software en línea ColorHexa, convertidor de color utilizando los valores L^* , C^* y h^* (ColorHexa, 2017).

Color de harina

Cien gramos de granos (endospermo y salvado) de cada línea experimental fueron molidos en un molino eléctrico KRUPS GX4100 (Medford, MA, USA), después se tamizaron para obtener partículas con tamaño <0,5 mm (malla estándar 35). Posteriormente, la harina fue colocada en una caja Petri (4,73 cm × 1,5 cm), y el color se determinó como se describió anteriormente.

Extracción de compuestos fenólicos

La extracción de compuestos fenólicos se realizó de acuerdo con Rodríguez-Salinas et al. (2020). Para la extracción, 200 mg de muestra de sorgo fueron suspendidos con 3 mL de metanol al 80 %, se purgó durante 30 s con argón y se agitó durante 2 h a 200 rpm. Después, las muestras se centrifugaron a 5750g (25 °C, 5 min) y el sobrenadante fue recuperado y almacenado a -20 °C hasta su análisis.

Fenoles totales

Los ensayos de fenólicos totales, flavonoides totales, taninos condensados y de capacidad antioxidante se realizaron en un espectrofotómetro Thermo Spectronic BioMate3 (Rochester, NY, USA), de acuerdo con lo establecido por López-Contreras et al. (2015). Para la determinación del contenido de fenoles, se tomaron 0,2 mL de cada extracto y se agregaron 2,6 mL de agua destilada y 0,2 mL de reactivo de Folin-Ciocalteu. Después de 5 min, se agregaron 2 mL de Na₂CO₃ al 7 % y la solución se agitó durante 30 s, para luego llevar la reacción en oscuridad por 90 min, posteriormente se midió la absorbancia de las muestras a 750 nm. La concentración de fenoles se reportó en miligramos equivalente de ácido gálico por cien gramos de muestra (mg GAE/100 g), calculado a partir de la curva de calibración de ácido gálico de 0 mg L⁻¹ a 200 mg L⁻¹.

Flavonoides totales

La determinación del contenido de flavonoides se basó en la reacción del complejo AlCl₃-NaNO₂-NaOH, para esto se tomaron 0,2 mL del extracto y se agregaron 3,5 mL de agua destilada. Posteriormente, se agregaron 0,15 mL de NaNO₂ al 5 %, 0,15 mL de AlCl₃ al 10 % y 1 mL de NaOH 1 M, a intervalos de 5 min cada uno. La reacción se dejó durante 15 min y después se midió la absorbancia a 510 nm. El contenido total de flavonoides se informó en miligramos de equivalentes de (+)-catequina por cien gramos de muestra (mg CE/100 g), calculado a partir de la curva de calibración de (+)-catequina de 0 mg L⁻¹ a 200 mg L⁻¹.

Taninos condensados

El contenido de taninos condensados se determinó mediante la reacción del complejo vainillina-H₂SO₄. Del extracto fenólico, se mezclaron 0,25 mL con 0,65 mL de solución de vainillina al 1 % y 0,65 mL de H₂SO₄ al 25 % (vainillina y H₂SO₄ disueltos en metanol). La reacción se llevó a cabo durante 15 min a 30 °C, y finalmente, la absorbancia de las muestras se midió a 500 nm. El contenido de taninos condensados se reportó en miligramos equivalente de (+)-catequina por cien gramos de muestra (mg CE/100 g), calculados a partir de la curva de calibración para (+)-catequina de 0 mg L⁻¹ a 200 mg L⁻¹ (Rodríguez-Salinas et al., 2020).

Antocianinas totales

El contenido total de antocianinas se determinó con base en lo establecido por Abdel-Aal y Hucl (1999). Para ello, 200 mg de harina de sorgo se homogenizaron con 10 mL de etanol-HCl 1 M (85:15 v/v, pH 1, 4 °C), se purgó por 30 s con argón y se agitaron a 200 rpm durante 30 min a temperatura ambiente. Posteriormente, las muestras se centrifugaron a 5750g (4 °C, 15 min) y finalmente, se

midieron 3,5 mL de sobrenadante a 535 nm. El contenido de antocianinas se informó como miligramos de equivalentes de cianidina-3-glucósido (C3G) por cien gramos de muestra (mg C3G/100 g) como sigue:

$$C = (A/\epsilon) \times (V/1000) \times MW \\ \times (1/\text{peso de muestra}) \times 10^6$$

Donde: C = concentración en mg C3G/L, A = absorbancia de muestra, ϵ = absorción molar (mg C3G = $26,695 \text{ cm}^{-1} \text{ mol}^{-1}$), V = volumen de muestra, MW = peso molecular de C3G (449,2 g/mol).

Capacidad antioxidante

Los ensayos de capacidad antioxidante (DPPH y ABTS) se realizaron de acuerdo con Rodríguez-Salinas *et al.* (2020). La capacidad antioxidante de DPPH (2,2-difenil-1-picrylhidrazyl) se evaluó utilizando una solución de trabajo 60 μM en metanol al 80 %, con una absorbancia ajustada a 0,7 a 517 nm. El ensayo se llevó a cabo mezclando 50 μL del extracto fenólico con 1,5 mL de la solución de trabajo DPPH, la reacción se dejó durante 30 min en la oscuridad y se determinó la absorbancia.

La capacidad antioxidante de ABTS [2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid)] se llevó a cabo utilizando una solución de trabajo obtenida mezclando 1 mL de ABTS al 7,4 mM y 1 mL de $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ al 2,6 mM, permitiéndoles reaccionar durante 12 h en oscuridad. Después, la absorbancia de la solución de trabajo se ajustó a 0,7 a 734 nm diluyendo con metanol. El ensayo ABTS se realizó mezclando 50 μL del extracto fenólico con 1,5 mL de solución de trabajo ABTS. La reacción se dejó durante 30 min en la oscuridad y se midió la absorbancia.

La capacidad antioxidante para DPPH y ABTS se reportaron en micromoles de Trolox (6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcroman-2-carboxílico ácido) equivalente por cien gramos de muestra ($\mu\text{mol TE}/100 \text{ g}$), con base a la curva de ca-

libración con Trolox en concentraciones de 0 $\mu\text{mol/L}$ a 500 $\mu\text{mol/L}$. Los valores de concentración media inhibitoria (IC50) de DPPH y ABTS se calculó para la cantidad de antioxidante requerido para inhibir el 50 % de la oxidación del radical, la absorbancia ajustada a 0,7 en las soluciones de trabajo se consideró como 100 % de oxidación, y se usó metanol como control. Los resultados se expresaron como miligramos de harina de sorgo por mililitro (mg/mL).

Análisis estadístico








La diferencia estadística entre muestras se analizó mediante un análisis de varianza (ANOVA), y las medias se compararon con la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$) utilizando el paquete estadístico SPSS versión 21.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA). Los resultados se informaron como valores medios de tres muestras \pm desviación estándar.

Resultados y discusión

Color del grano

Las características de color del grano de las líneas experimentales de sorgo mostraron diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre ellas (Tabla 2). Los valores de luminosidad (L^*) oscilaron entre 39,26 y 64,31; lo que indica que todas las muestras analizadas presentaron mayor tendencia al blanco que al negro. El parámetro L^* fue menor en LES-93 y LES-12 (39,26 y 40,27; respectivamente), mientras que los valores más altos se presentaron en LES-75 y LES-35 (48,62 y 64,31; respectivamente). Estos resultados fueron similares a los reportados por Sedghi *et al.* (2012), quienes reportaron valores de L^* en un rango de 36 a 70 en genotipos de sorgo pigmentados. En relación con las propiedades de color, la luminosidad (L^*) pueden disminuir debido al contenido de antocianinas en el grano (Yang *et*

Tabla 2. Parámetros cromáticos de líneas experimentales de sorgo pigmentado.
 Table 2. Chromatic parameters of experimental pigmented sorghum lines.

Línea experimental	Parámetros de color			Vista en color
	L^*	C^*	h	
LES-35	64,31 ± 0,87 ^a	16,88 ± 0,41 ^a	80,12 ± 0,64 ^a	
LES-75	48,62 ± 1,71 ^b	12,72 ± 0,73 ^b	57,75 ± 4,61 ^b	
LES-17	45,61 ± 1,38 ^b	18,57 ± 0,43 ^a	54,66 ± 2,12 ^b	
LES-12	40,27 ± 1,45 ^{cd}	18,49 ± 0,67 ^a	44,31 ± 3,25 ^{cd}	
LES-13	44,43 ± 1,57 ^c	17,89 ± 0,86 ^a	54,76 ± 2,25 ^b	
LES-102	44,01 ± 0,69 ^{cd}	17,86 ± 1,53 ^a	51,23 ± 2,04 ^{bc}	
LES-93	39,26 ± 1,55 ^e	14,01 ± 0,64 ^b	40,19 ± 4,28 ^d	

L^* : luminosidad; C^* : saturación del color; h : ángulo de tono.

Los valores son el promedio de tres repeticiones. Medias ($n = 3$) ± desviación estándar. Letras diferentes dentro de cada columna significa que los tratamientos fueron estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0,05$).

al., 2008). En la Tabla 7, se observa un coeficiente de correlación negativo (-0,57) entre el valor de L^* y el contenido de antocianinas, lo que indica que los granos más oscuros presentan los niveles más altos de antocianinas.

Las líneas experimentales LES-17 y LES-12 mostraron los valores más altos en C^* (18,57 y 18,49; respectivamente) que indican una mayor saturación del color, los valores de C^* más bajos (12,72 y 14,01) se presentaron en LES-75 y LES-93, respectivamente. En este estudio, la saturación del color (C^*) de todas las muestras fue bajo, con valores de 12,72 a 18,57 ubicados en la zona gris del círculo de matiz, estos resultados están de acuerdo con lo reportado por López-Contreras et al. (2015) quienes informaron valores en C^* de 12 a 20 en genotipos de sorgo bicolor cultivados en Nuevo León, México, sin embargo, los valores de L^* que reportan estos autores difieren de los encontrados en este estudio, ya que se encuentran en un rango de 64,68 a 83,61, estos resultados validan que los genotipos evalua-

dos son más oscuros que los reportados en la literatura. Según Yang y Zhai (2010), el índice de saturación del color (C^*) es el componente cuantitativo de la cromaticidad, que es un parámetro bidimensional que corresponde con la saturación del color percibido.

Las lecturas del ángulo hue (h) variaron de 40,19 a 80,12 (Tabla 2), de acuerdo con estos valores, el color de las muestras analizadas es rojo-amarillo, tono que se asocia con un valor de h^* de 90° en el círculo de matiz. Sin embargo, a pesar de que no existe una nomenclatura de clasificación definida para el color de los genotipos de sorgo de acuerdo con sus valores cromáticos (López-Contreras et al., 2015), con base en los valores obtenidos en L^* , C^* y h , las líneas experimentales de sorgo se clasificaron en dos grupos de colores: 1) Naranja oscuro desaturado, que incluye a LES-35, LES-75, LES-17, LES-13 y LES-102; 2) Rojo oscuro desaturado, que incluye a LES-12 y LES-93.








Color de la harina

Las características de color de las harinas mostraron diferencias significativas ($p \leq 0,05$) en los parámetros L^* , C^* y h (Tabla 3). Los valores más bajos para L^* fueron 70,84 y 71,84 que corresponden a LES-12 y LES-93, respectivamente, mientras que los valores más altos (78,22 y 74,48) se reportaron en LES-35 y LES-13, respectivamente. Estos resultados fueron más bajos que los reportados por Palavecino et al. (2016), quienes obtuvieron valores de 76,90 a 88,10 en harinas provenientes de híbridos de sorgo. Es notable que las harinas presentaran un color más claro que el grano y, en consecuencia, una mayor luminosidad. Los incrementos de la luminosidad en las harinas pueden relacionarse con la presencia de una mayor proporción de endospermo durante el proceso de molienda (Eckhoff y Watson, 2009; Palavecino et al., 2016), a diferencia del valor obtenido de luminosidad en el pericarpio del grano, que es determinado

por la concentración de pigmentos (Rodríguez-Salinas et al., 2020). El índice de L^* es una característica importante para muchos alimentos, por lo tanto, las harinas que presentaron mayor luminosidad en este estudio podrían utilizarse cuando se desea mayor blancura en un producto, pero esto implicaría un menor contenido de polifenoles (Subramanian et al., 1994; Palavecino et al., 2016).

Las lecturas de C^* para todas las muestras fueron bajas, con valores de 9,02 a 12,87 (Tabla 3) ubicados en la zona gris del círculo de matiz. Con respecto al ángulo hue (h), los valores de las muestras analizadas se encontraron en el cuadrante rojo-amarillo con valores de 64,54 a 78,22, lo que indica que el amarillo es la característica cromática más importante de las harinas de sorgo. Estos resultados pueden relacionarse con la presencia de una mayor proporción de endospermo corneo amarillo (Eckhoff y Watson, 2009; Palavecino et al., 2016).

Tabla 3. Parámetros cromáticos de la harina de sorgo obtenida de líneas experimentales de sorgo pigmentado.
Table 3. Chromatic parameters of sorghum flour obtained from experimental pigmented sorghum lines.

Línea experimental	Parámetros de color			Vista en color
	L^*	C^*	h	
LES-35	78,22 ± 0,65 ^a	12,87 ± 0,29 ^a	78,22 ± 3,01 ^a	
LES-75	72,89 ± 0,50 ^{bcd}	10,32 ± 0,22 ^{cd}	68,23 ± 1,73 ^b	
LES-17	73,75 ± 1,04 ^{bc}	11,47 ± 0,42 ^b	67,03 ± 0,13 ^b	
LES-12	70,84 ± 1,00 ^d	11,05 ± 0,11 ^{bc}	64,54 ± 1,95 ^b	
LES-13	74,48 ± 0,64 ^b	11,31 ± 0,05 ^b	66,46 ± 1,86 ^b	
LES-102	73,66 ± 0,91 ^{bc}	9,02 ± 0,56 ^e	67,11 ± 0,83 ^b	
LES-93	71,84 ± 0,29 ^{cd}	9,58 ± 0,14 ^{de}	68,56 ± 2,83 ^b	

L^* : luminosidad; C^* : saturación del color; h : ángulo de tono.

Los valores son el promedio de tres repeticiones. Medias ($n = 3$) ± desviación estándar. Letras diferentes dentro de cada columna significa que los tratamientos fueron estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0,05$).

Fenoles totales y flavonoides totales

Los resultados indicaron diferencias significativas ($p \leq 0,05$) en fenoles y flavonoides totales entre las muestras analizadas (Tabla 4). La concentración de fenoles totales osciló entre 84,77 mg GAE/100 g a 1203,96 mg GAE/100 g. El nivel más alto de fenoles totales se obtuvo en LES-13 (1203,96 mg GAE/100 g), seguido de LES-17 (1041,41 mg GAE/100 g), mientras que LES-75 y LES-35 presentaron los valores más bajos (84,77 mg GAE/100 g y 89,30 mg GAE/100 g, respectivamente), el coeficiente de correlación negativo (-0,57) entre el valor de L^* y los fenoles totales in-

dica que los granos más oscuros presentaron los niveles más altos de compuestos fenólicos (Tabla 7). Las líneas LES-102, LES-93 y LES-12, presentaron una cantidad moderada de fenoles (445,21 mg GAE/100 g; 652,19 mg GAE/100 g y 749,83 mg GAE/100 g; respectivamente) en comparación con las otras líneas. El contenido de fenoles totales de las líneas experimentales de sorgo evaluadas es similar a los valores reportados por Shen et al. (2018), quienes obtuvieron una concentración de 174,40 mg GAE/100 g a 1238,83 mg GAE/100 g en genotipos de sorgo de grano blanco, negro, y marrón.

Tabla 4. Contenido de fenoles totales y flavonoides totales en líneas experimentales de sorgo pigmentado.
Table 4. Content of total phenols and total flavonoids in pigmented sorghum experimental lines.

Línea experimental	Fenoles totales (mg GAE/100 g)	Flavonoides totales (mg CE/100 g)
LES-35	89,30 ± 4,06 ^f	11,70 ± 0,90 ^e
LES-75	84,77 ± 2,47 ^f	15,27 ± 1,55 ^e
LES-17	1041,41 ± 15,12 ^b	922,39 ± 26,42 ^b
LES-12	749,83 ± 28,06 ^c	617,33 ± 40,21 ^c
LES-13	1203,96 ± 55,61 ^a	1012,14 ± 37,23 ^a
LES-102	445,21 ± 37,24 ^e	260,45 ± 28,70 ^d
LES-93	652,19 ± 5,46 ^d	577,81 ± 27,46 ^c

Los valores son el promedio de tres repeticiones. Medias ($n = 3$) ± desviación estándar. Letras diferentes dentro de cada columna significa que los tratamientos fueron estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0,05$).

El análisis químico por cromatografía líquida de alta resolución con espectrometría de masas (HPLC-MS) ha demostrado que los granos de sorgo presentan un alto contenido de compuestos fenólicos en sus extractos, incluidos los ácidos fenólicos, flavonoides, glicéridos de fenilpropano y fenolamidas, la mayoría de estos compuestos se reportan por primera vez en granos integrales de sorgo (Kang et al., 2016). Estos resultados confir-

maron que los granos de sorgo son ricos en compuestos fenólicos. El contenido de polifenoles en el grano determina en gran medida su color, sin embargo, la variación en el contenido de compuestos polifenólicos en los granos de sorgo puede verse afectado por el genotipo y el ambiente de crecimiento (Hahn et al., 1984; Taleon et al., 2012).

El contenido de flavonoides totales presentó una tendencia similar al contenido de feno-

les (Tabla 4); LES-13 presentó el mayor contenido (1012,14 mg CE/100 g), seguido de LES-17, LES-12 y LES-93 con valores relativamente altos (922,39 mg CE/100 g; 617,33 mg CE/100 g y 577,81 mg CE/100 g; respectivamente), mientras que el menor contenido se obtuvo con LES-35 y LES-75 (11,70 mg CE/100 g y 15,27 mg CE/100 g; respectivamente), así mismo, se observan coeficientes de correlación negativos significativos entre L^* y el contenido de flavonoides (-0,57) y taninos condensados (-0,36), lo que sugiere que la pigmentación oscura en el pericarpio de los granos de sorgo se debe al contenido de estos compuestos (Tabla 7). Los datos obtenidos fueron similares a los reportados por Wu et al. (2017), quienes informaron que las concentraciones de flavonoides solubles en genotipos de sorgo fluctuaban entre 0,30 mg CE/g y 5,25 mg CE/g. La identificación y caracterización de compuestos fenólicos en granos de sorgo mediante HPLC-MS, permitió identificar que la apigenina y luteolina son las principales flavonas en genotipos de sorgo (Ofosu et al., 2020). Las variedades de sorgo de grano con testa pigmentada también con-

tienen taninos condensados (conocidos como proantocianidinas) que se componen de polímeros de flavan-3-oles, flavan-3,4-dioles y flavan-4-oles (glicosilados y no glicosilados) (Dykes y Rooney, 2006; Espitia-Hernández et al., 2020). Nuestros resultados coinciden con estudios anteriores, que han demostrado que los flavonoides son los compuestos predominantes en genotipos de sorgo con pericarpio y testa pigmentada (Yang et al., 2015; Ofosu et al., 2020). Los flavonoides son un grupo de compuestos fenólicos asociados con beneficios para la salud, la ingesta diaria de alimentos con altos niveles de flavonoides puede tener el potencial para reducir el riesgo de algunos tipos de cáncer, como colon, pancreático y cáncer de seno (Romagnolo y Selmin, 2012).

Taninos condensados y antocianinas totales

En la Tabla 5, se observa que todas las líneas experimentales con excepción de LES-75 y LES-75, tenían contenidos significativos de taninos condensados (269,95 mg CE/100 g a 2831,61 mg CE/100 g), siendo LES-13 y LES-17 los de mayor contenido (2831,61 mg CE/100 g

Tabla 5. Contenido de taninos condensados y antocianinas totales en líneas experimentales de sorgo pigmentado.

Table 5. Content of condensed tannins and total anthocyanins in pigmented sorghum experimental lines.

Línea experimental	Taninos condensados (mg CE/100 g)	Antocianinas totales (mg C3G/100 g)
LES-35	312,58 ± 12,07 ^d	14,87 ± 0,19 ^d
LES-75	269,95 ± 9,44 ^d	12,91 ± 0,17 ^d
LES-17	2796,98 ± 23,81 ^a	22,72 ± 0,09 ^c
LES-12	1665,31 ± 60,88 ^b	29,06 ± 0,06 ^a
LES-13	2831,61 ± 21,17 ^a	24,68 ± 0,11 ^{b^c}
LES-102	584,50 ± 7,82 ^c	11,87 ± 0,13 ^d
LES-93	737,74 ± 15,60 ^c	28,25 ± 0,08 ^{ab}

Los valores son el promedio de tres repeticiones. Medias (n = 3) ± desviación estándar. Letras diferentes dentro de cada columna significa que los tratamientos fueron estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0,05$).

y 2796,98 mg CE/100 g; respectivamente). Los valores obtenidos para la mayoría de las muestras están de acuerdo con los resultados reportados por Dykes *et al.* (2013), quienes evaluaron genotipos de sorgo cultivados en College Station (TX, USA), e informaron valores en un rango de 0,70 mg CE/g a 48,47 mg CE/g, a excepción de LES-75 y LES-35 que mostraron valores más bajos que los citados por estos autores. De acuerdo con Dykes y Rooney (2006), LES-13 y LES-17 se pueden clasificar como sorgos de alto nivel en el contenido de taninos condensados.

El contenido de antocianinas afectó significativamente ($p \leq 0,05$) el color del grano (Tabla 5). Los sorgos de grano rojo oscuro desaturado que incluyen a LES-12 y LES-93, presentaron los niveles más altos de antocianinas (29,06 mg C3G/100 g y 28,25 mg C3G/100 g; respectivamente), mientras que los sorgos de grano Naranja oscuro desaturado (LES-35, LES-75, LES-17, LES-13 y LES-102) presentaron niveles en un rango de 11,87 mg C3G/100 g a 22,72 mg C3G/100 g. El contenido de antocianinas presentó correlaciones negativas significativas en los valores de L^* y h , en el grano y la harina, con coeficientes de correlación de $-0,57$ y $-0,57$ en grano, y en harina de $-0,48$ y $-0,43$, respectivamente (Tabla 7). Estos resultados revelan que el color se correlaciona con el contenido de antocianinas: a medida que disminuyen los valores de L^* y h , aumenta el contenido de antocianinas. Otros autores observaron una fuerte correlación negativa entre el valor de L^* y el contenido de antocianinas ($L^* = -0,87$) en híbridos de sorgo (Dykes *et al.*, 2013).

Estudios previos han reportado que los sorgos de grano rojo presentan altos niveles de antocianinas Equivalentes de Apigeninidina (APGE) (1461,4 mg APGE/kg), seguido por sorgos color marrón (937,3 mg APGE/kg), mientras que los de pericarpio amarillo presentan bajos niveles (574,8 mg APGE/kg), además, las antocianinas pueden ser inde-

tectables en la mayoría de los sorgos de grano blanco (Su *et al.*, 2017). Las antocianinas más comunes en los granos de sorgo son las 3-desoxiantocianidinas, que incluyen luteolinidina y apigeninidina, estas antocianinas tienen una pequeña distribución en la naturaleza debido a la falta de un grupo hidroxilo en la posición C-3 y existen en la naturaleza sustancialmente como agliconas (Shen *et al.*, 2018), sin embargo, se ha reportado que el contenido de apigeninidina en granos de sorgos con diferentes pigmentaciones fue superior al contenido de luteolinidina (Awika *et al.*, 2003). Por otra parte, se ha demostrado que los sorgos con pericarpio de menor luminosidad tienen los niveles más altos de 3-desoxiantocianidinas, que se concentran en el salvado (Dykes *et al.*, 2005).

En este estudio se encontró una diversidad distinguible en el contenido de antocianinas entre los colores del grano de las líneas experimentales de sorgo. Los sorgos de grano rojo (LES-12 y LES-93) contenían los niveles más altos de antocianinas, pero las líneas experimentales de sorgo naranja presentaron mayor diversidad en el contenido. Diferentes autores, han reportado una gran diversidad en el contenido de antocianinas en granos de sorgo con diferentes pigmentaciones (Kenga *et al.*, 2006; Dykes *et al.*, 2011; Dykes *et al.*, 2006; Dykes *et al.*, 2013), sin embargo, aunque la capacidad en la biosíntesis de compuestos de tipo flavonoide está determinada por el genotipo, la actividad en la biosíntesis de antocianinas puede estar realmente influenciada por muchos factores ambientales (Su *et al.*, 2017).

Propiedades antioxidantes

Los ensayos de DPPH y ABTS fueron seleccionados para determinar la capacidad antioxidante. Los resultados indican que las capacidades antioxidantes de las líneas experimentales de sorgo mostraron diferencias significativas ($p \leq 0,05$), con un rango de 447,86 μmol

TE/100 g a 7579,17 $\mu\text{mol TE}/100\text{ g}$, y 661,92 $\mu\text{mol TE}/100\text{ g}$ a 9435,91 $\mu\text{mol TE}/100\text{ g}$ para los ensayos de DPPH y ABTS, respectivamente (Tabla 6). En general, LES-17 y LES-13 obtuvieron los niveles más altos en los dos ensayos de capacidad antioxidante (DPPH y ABTS), mientras que LES-35 y LES-75 presentaron los valores más bajos, independientemente del ensayo. Las correlaciones entre el contenido fenoles totales (0,88 y 0,91; respectivamente), flavonoides totales (0,87 y 0,90; respectivamente), taninos condensados (0,95 y 0,96; respectivamente) y la capacidad antioxidante medida por DPPH y ABTS (Tabla 7) sugieren que los valores de compuestos fenólicos más altos en LES-17 y LES-13 está relacionados con una mayor capacidad antioxidante.

Dykes et al. (2005) mencionaron que una fuerte correlación entre los fenoles totales y la actividad antioxidante podría deberse al alto contenido de taninos condensados, flavonoides y antocianinas que contribuyen a la actividad antioxidante en granos de sorgo.

Además, existe una fuerte correlación (0,99) entre DPPH y ABTS, que también se ha observado en estudios previos (Awika et al., 2003; Dykes et al., 2013).

Wu et al. (2017) analizaron genotipos de sorgo pigmentados (grano negro, marrón, y rojo), y encontraron valores promedio más bajos que los obtenidos en este estudio, para DPPH de 0,42 mg TE/g a 25,49 mg TE/g, y 0,98 mg TE/g a 38,08 mg TE/g en ABTS. Dykes et al. (2013) reportaron en híbridos y líneas experimentales de sorgo con grano pigmentado valores de 80 mM TE/g a 334 mM TE/g en ABTS, mientras que los valores de DPPH fueron de 32 mM TE/g a 177 mM TE/g. Khan et al. (2013) mencionaron que la pasta de trigo que incorpora harina de sorgo rojo tenía una capacidad antioxidante más alta que la pasta de sorgo blanco o sin adición de sorgo, los altos niveles de capacidad antioxidante se atribuyen a una mayor concentración en el contenido de fenoles totales en harinas provenientes de sorgo rojo.

Tabla 6. Capacidad antioxidante DPPH y ABTS de líneas experimentales de sorgo pigmentado.
Table 6. DPPH and ABTS antioxidant capacity of experimental pigmented sorghum lines.

Línea experimental	DPPH ($\mu\text{mol TE}/100\text{ g}$)	IC50 (mg/mL)	ABTS ($\mu\text{mol TE}/100\text{ g}$)	IC50 (mg/mL)
LES-35	479,77 \pm 24,76 ^f	81	661,92 \pm 42,10 ^f	38
LES-75	447,86 \pm 33,21 ^f	86	663,11 \pm 61,34 ^f	39
LES-17	6426,54 \pm 110,78 ^b	6	7829,20 \pm 85,08 ^b	3
LES-12	1691,52 \pm 58,97 ^c	23	2900,51 \pm 49,59 ^c	9
LES-13	7579,17 \pm 40,02 ^a	5	9435,91 \pm 144,75 ^a	3
LES-102	1053,33 \pm 54,76 ^e	37	1532,61 \pm 46,42 ^e	17
LES-93	1269,41 \pm 139,97 ^d	31	2034,55 \pm 115,84 ^d	12

DPPH: 2,2-difenil-1-picrylhidrazil; ABTS: 2,2'-azinobis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid); IC50: valores de concentración media inhibitoria.

Los valores son el promedio de tres repeticiones. Medias (n = 3) \pm desviación estándar. Letras diferentes dentro de cada columna significa que los tratamientos fueron estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0,05$).

Tabla 7. Coeficientes de correlación de Pearson entre el contenido de compuestos fenólicos, parámetros de color (L^* , C^* , h) y actividad antioxidante.
 Table 7. Pearson's correlation coefficients between the content of phenolic compounds, color parameters (L^* , C^* , h) and antioxidant activity.

	C^* grano	h grano	L^* harina	C^* harina	h harina	Fenoles totales	Flavonoides totales	Taninos condensados	Antocianinas totales	DPPH	ABTS
L^* grano	-0,020	0,971**	0,876**	0,682**	0,869**	-0,572**	-0,571**	-0,360**	-0,575**	-0,243	-0,293
C^* grano		0,825	0,160	0,302	-0,150	0,548**	0,493*	0,602**	0,214	0,490*	0,504*
h grano			0,890**	0,709**	0,807**	-0,473*	-0,483*	-0,240	-0,579**	-0,112	-0,165
L^* harina				0,588**	0,780**	-0,296	-0,302	-0,143	-0,487*	0,030	-0,019
C^* harina					0,508**	0,011	0,034	0,258	0,052	0,0252	0,233
h harina						-0,562**	-0,544**	-0,469*	-0,439*	-0,354	-0,391
Fenoles totales							0,991**	0,937**	0,688**	0,885**	0,916**
Flavonoides totales								0,933**	0,731**	0,879**	0,909**
Taninos condensados									0,559**	0,950**	0,965**
Antocianinas totales										0,397	0,457
DPPH											0,996**

L^* : luminosidad; C^* : saturación del color; h : ángulo de tono; DPPH: 2,2-difenil-1-picrylhydrazyl; ABTS: 2,2'-azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid).

* Significativo ($p \leq 0,05$); ** significativo ($p \leq 0,01$).

Conclusiones

Las líneas experimentales de sorgo evaluadas en este estudio confirman que existe amplia variabilidad entre líneas, en relación al contenido de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante. Las líneas LES-17 y LES 13 presentaron los mayores contenidos de fenoles totales, flavonoides totales, taninos condensados y capacidad antioxidante, mientras que LES-12 presentó el mayor contenido de antocianinas totales. Por lo anterior, las tres líneas experimentales se continuarán trabajando como base del Programa de Mejoramiento del CCCTS, con la finalidad de generar sorgos con mayor contenido de compuestos bioactivos que puedan ser utilizados en la industria para generar alimentos nutraceuticos.

Agradecimientos

Al Programa de Apoyo a la Investigación Científica y Tecnológica 2020 de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN) por el financiamiento otorgado al Dr. Josué I. García-López y al Dr. Antonio Flores-Naveda a través de los proyectos 30-38111-425 105001-2393 y 30-38111-425105001-2920, respectivamente.

Referencias bibliográficas

- Abdel-Aal ES, Hucl P (1999). A rapid method for quantifying total anthocyanins in blue aleurone and purple pericarp wheats. *Cereal Chemistry* 76: 350-354. <https://doi.org/10.1094/CCHEM.1999.76.3.350>.
- Awika JM, Rooney LW, Wu X, Prior RL, Cisneros-Zevallos L (2003). Screening methods to measure antioxidant activity of sorghum (*Sorghum bicolor*) and sorghum products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 51: 6657-6662. <https://doi.org/10.1021/jf034790i>.
- Bhuyan DJ, Basu A (2017). Phenolic compounds: potential health benefits and toxicity. En: *Utilisation of Bioactive Compounds From Agricultural and Food Production Waste* (Ed. Vuong QV), pp 27-59. Taylor & Francis, CRC Press.
- CIE (2004). Commission Internationale De L' eclaireage (CIE): Technical Report: Colorimetry 3rd ed. CIE Publicaciones, Viena Austria, 37 p.
- ColorHexa (2017). Enciclopedia de colores: Información y Conversión. Software de ordenador. Disponible en: <https://www.colorhexa.com/index.php> (Consultado: 13 julio 2020).
- De Moraes CL, Pinheiro SS, Martino HS, Pinheiro-Sant'Ana HM (2017). Sorghum (*Sorghum bicolor* L.): Nutrients, bioactive compounds, and potential impact on human health. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 57: 372-390. <https://doi.org/10.1080/10408398.2014.887057>.
- Dykes L, Rooney LW, Waniska RD, Rooney WL (2005). Phenolic compounds and antioxidant activity of sorghum grains of varying genotypes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 53: 6813-6818. <https://doi.org/10.1021/jf050419e>.
- Dykes L, Rooney LW (2006). Sorghum and millet phenols and antioxidants. *Journal of Cereal Science* 44: 236-251. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2006.06.007>.
- Dykes L, Peterson GC, Rooney WL, Rooney LW (2011). Flavonoid composition of lemon-yellow sorghum genotypes. *Food Chemistry* 128: 173-179. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.03.020>.
- Dykes L, Rooney WL, Rooney LW (2013). Evaluation of phenolics and antioxidant activity of black sorghum hybrids. *Journal of Cereal Science* 58: 278-283. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2013.06.006>.
- Eckhoff SR, Watson SA (2009). Corn and sorghum starches: production. En: *Starch: Chemistry and technology* (Eds. BeMiller J y Whistler R), pp. 373-439. New York: Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-746275-2.00009-4>.
- Emendack Y, Burke J, Laza H, Sanchez J, Hayes C (2018). Abiotic stress effects on sorghum leaf dhurrin and soluble sugar contents throughout

- plant development. *Crop Science* 58: 1706-1716. <https://doi.org/10.2135/cropsci2018.01.0059>.
- Espitia-Hernández P, Chávez González ML, Ascacio-Valdés JA, Dávila-Medina D, Flores-Nevada, A, Teresinha S, Ruelas Chacón X, Sepúlveda L (2020). Sorghum (*Sorghum bicolor* L.) as a potential source of bioactive substances and their biological properties. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 1-12. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1852389>.
- FAOSTAT (2018). Food and Agriculture Organization statistical database. Disponible en: <http://www.fao.org/faostat/en/#data> (Consultado: 17 agosto 2020).
- Hahn DH, Rooney LW, Earp CF (1984). Tannins and phenols of sorghum. *Cereal Foods World* 29: 776-779.
- Kang J, Price WE, Ashton J, Tapsell LC, Johnson S (2016). Identification and characterization of phenolic compounds in hydromethanolic extracts of sorghum wholegrains by LC-ESI-MSn. *Food Chemistry* 211: 215-226. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.05.052>.
- Kenga R, Tenkouano A, Gupta SC, Alabi SO (2006). Genetic and phenotypic association between yield components in hybrid sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) populations. *Euphytica* 150: 319-326. <https://doi.org/10.1007/s10681-006-9108-5>.
- Khan I, Yousif A, Johnson SK, Gamlath S (2013). Effect of sorghum flour addition on resistant starch content, phenolic profile and antioxidant capacity of durum wheat pasta. *Food Research International* 54: 578-586. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.07.059>.
- Lim TK (2013) *Fagopyrum esculentum*. En: *Edible Medicinal and Non-Medicinal Plants* (Ed. Lim TK), pp 459-493. Springer: Dordrecht, The Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-007-5653-3_25.
- López-Contreras JJ, Zavala-García F, Urías-Orona V, Martínez-Ávila GCG, Rojas R, Niño-Medina G (2015). Chromatic, phenolic and antioxidant properties of Sorghum bicolor genotypes. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca* 43: 366-370. <https://doi.org/10.15835/nbha4329949>.
- Ofori FK, Elahi F, Daliri EBM, Yeon SJ, Ham HJ, Kim JH, Sang-Ik H, Deog-Hwan O (2020). Flavonoids in decorticated sorghum grains exert antioxidant, antidiabetic and antiobesity activities. *Molecules* 25: 2854. <https://doi.org/10.3390/molecules25122854>.
- Palavecino PM, Penci MC, Calderón-Domínguez G, Ribotta PD (2016). Chemical composition and physical properties of sorghum flour prepared from different sorghum hybrids grown in Argentina. *Starch/Stärke* 68: 1055-1064. <http://dx.doi.org/10.1002/star.201600111>.
- Pontieri P, Mamone G, De Caro S, Tuinstra M, Romer E, Okot J, De Vita P, Ficco D, Alifano P, Pignone D, Massardo D, Del Giudice L (2013). Sorghum, a healthy and gluten-free food for celiac patients as demonstrated by genome, biochemical, and immunochemical analyses. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 61: 2565-2571. <https://doi.org/10.1021/jf304882k>.
- Rodríguez-Salinas PA, Zavala-García F, Urías-Orona V, Muy-Rangel D, Heredia JB, Niño-Medina G (2020). Chromatic, nutritional and nutraceutical properties of pigmented native maize (*Zea mays* L.) genotypes from the northeast of Mexico. *Arabian Journal for Science and Engineering* 45: 95-112. <https://www.doi.org/10.1007/s13369-019-04086-0>.
- Romagnolo DF, Selmin OI (2012). Flavonoids and cancer prevention: a review of the evidence. *Journal of Nutrition in Gerontology and Geriatrics* 31: 206-238. <https://doi.org/10.1080/21551197.2012.702534>.
- Sedghi M, Golian A, Soleimani-Roodi P, Ahmadi A, Aami-Azghadi M (2012). Relationship between color and tannin content in sorghum grain: application of image analysis and artificial neural network. *Brazilian Journal of Poultry Science* 14: 57-62. <https://doi.org/10.1590/S1516-635X2012000100010>.
- Shen S, Huang R, Li C, Wu W, Chen H, Shi J, Chen S, Ye X (2018). Phenolic compositions and antioxidant activities differ significantly among sorghum grains with different applications. *Molecules* 23: 2-15. <https://doi.org/10.3390/molecules23051203>.

- SIAP (2019). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Disponible en: <https://www.gob.mx/siap#1410> (Consultado: 28 julio 2020).
- Su X, Rhodes D, Xu J, Chen X, Davis H, Wang D, Herald TJ, Wang W (2017). Phenotypic diversity of anthocyanins in sorghum accessions with various pericarp pigments. *Journal of Nutrition & Food Sciences* 10: 2155-9600. <https://doi.org/10.4172/2155-9600.1000610>.
- Subramanian V, Hosene RC, Bramel-Cox P (1994). Factors affecting the color and appearance of sorghum starch. *Cereal Chemistry* 71: 275-278.
- Taleon V, Dykes L, Rooney WL, Rooney LW (2012). Effect of genotype and environment on flavonoid concentration and profile of black sorghum grains. *Journal of Cereal Science* 56: 470-475. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2012.05.001>.
- USDA (2019). United States Department of Agriculture. Disponible en: <https://www.usda.gov/topics/data> (Consultado: 07 diciembre 2020).
- Wu G, Johnson SK, Bornman JF, Bennett SJ, Fang Z (2017). Changes in whole grain polyphenols and antioxidant activity of six sorghum genotypes under different irrigation treatments. *Food Chemistry* 214: 199-207. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.07.089>.
- Xiong Y, Zhang P, Warner RD, Fang Z (2019). Sorghum grain: From genotype, nutrition, and phenolic profile to its health benefits and food applications. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 18: 2025-2046. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12506>.
- Yang L, Allred KF, Dykes L, Allred CD, Awika JM (2015). Enhanced action of apigenin and naringenin combination on estrogen receptor activation in non-malignant colonocytes: Implications on sorghum-derived phytoestrogens. *Food and Function* 6: 749-755. <https://doi.org/10.1039/c4fo00300d>.
- Yang Z, Han Y, Gu Z, Fan G, Chen Z (2008). Thermal degradation kinetics of aqueous anthocyanins and visual color of purple corn (*Zea mays* L.) cob. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 9:341-347. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2007.09.001>.
- Yang Z, Zhai W (2010). Identification and antioxidant activity of anthocyanins extracted from the seed and cob of purple corn (*Zea mays* L.). *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 11: 169-176. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2009.08.012>.

(Aceptado para publicación el 8 de marzo de 2021)

Ajustes asociados a la aclimatación y estrés oxidativo en ovinos bajo estrés calórico: una revisión

Porfirio Nicolás-López¹, Ulises Macías-Cruz¹, Abelardo Correa-Calderón¹, Miguel A. Mellado-Bosque², Raúl Díaz-Molina³ y Leonel Avendaño-Reyes^{1,*}

¹ Universidad Autónoma de Baja California, Instituto de Ciencias Agrícolas, Blvd. Delta S/N, Ejido Nuevo León, C.P. 21705, Valle de Mexicali, B.C., México

² Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Calzada Antonio Narro #1923, Colonia Buenavista, C.P. 25315, Saltillo, Coahuila, México

³ Universidad Autónoma de Baja California, Facultad de Medicina, Dr. Humberto Torres Sanguinés S/N, C.P. 21000, Mexicali, B.C., México

Resumen

Ante la creciente problemática del calentamiento global, la producción ovina es una opción viable para garantizar la producción de proteína de origen animal por su tolerancia al calor. Los ovinos son una de las especies domésticas que presentan mayor adaptación a climas cálidos. Lo anterior es posible gracias a la activación de diferentes ajustes fisiológicos, endocrinos, metabólicos y celulares para disipar y disminuir la producción de calor corporal. No obstante, la activación de los ajustes de aclimatación, aunado al daño directo que ejercen las altas temperaturas sobre las células, también ocasiona estrés oxidativo. El aumento de la frecuencia respiratoria y la redistribución del flujo sanguíneo hacia la periferia, así como la liberación de cortisol y catecolaminas, han sido los principales ajustes de aclimatación asociados con un desbalance en la actividad pro y antioxidante. Por tanto, al generarse una sobreproducción de radicales libres, se compromete la integridad estructural y funcional de diferentes células y tejidos, circunstancia que puede comprometer el bienestar y productividad de los ovinos en condiciones de hipertermia. Considerando lo anterior, el objetivo de la presente revisión es presentar información actual sobre los ajustes de aclimatación que emplean los ovinos estresados por calor y describir cómo éstos pueden asociarse a la generación de estrés oxidativo.

Palabras clave: Ovinos de lana, ovinos de pelo, hipertermia, termorregulación, daño celular, antioxidantes.

Adjustments associated to acclimation and oxidative stress in sheep under heat stress: A review

Abstract

Given the growing problem of global warming, sheep production is a feasible option to produce animal protein because of its heat tolerance. So sheep are one of the domestic species that possess a great adaptation to hot climates. This is possible due to the activation of different physiological, endocrine,

* Autor para correspondencia: lar62@hotmail.com

Cita del artículo: Nicolás-López P, Macías-Cruz U, Correa-Calderón A, Mellado-Bosque MA, Díaz-Molina R, Avendaño-Reyes L (2021). Ajustes asociados a la aclimatación y estrés oxidativo en ovinos bajo estrés calórico: una revisión. ITEA-Información Técnica Económica Agraria 117(5): 494-512. <https://doi.org/10.12706/itea.2021.005>

metabolic and cellular adjustments to dissipate and decrease the production of body heat. However, the activation of these acclimation adjustments, coupled with the direct damage that high temperatures exert on cells, also causes oxidative stress. Increased respiratory rate and redistribution of blood flow to the periphery, as well as the release of cortisol and catecholamines, have been the main acclimation adjustments associated with an imbalance in pro and antioxidant activity. Thus, when an overproduction of free radicals is generated, the structural and functional integrity of different cells and tissues is compromised, a circumstance that can compromise the welfare and productivity of sheep under hyperthermic conditions. Considering the above, the objective of this review is to present current information on the acclimation adjustments used by heat-stressed sheep and describe how they can be associated with the generation of oxidative stress.

Keywords: Wool sheep, hair sheep, hyperthermia, thermoregulation, cell damage, antioxidants.

Introducción

El calentamiento global es el principal factor ambiental que compromete el bienestar animal y la producción de proteínas de origen animal. Bajo este escenario la producción ovina es una alternativa viable para garantizar la producción de proteína de origen animal (Sejian et al., 2017). Los ovinos, a diferencia de otras especies domésticas, han logrado adaptarse a una amplia variedad de zonas agroecológicas donde predominan las altas temperaturas (Henry et al., 2018). Para lograr lo anterior, los ovinos realizan diferentes ajustes fisiológicos, endocrinos, metabólicos y celulares de aclimatación que les permiten sobrevivir y reproducirse (Collier et al., 2019).

Los principales ajustes fisiológicos que emplean los ovinos estresados por calor son la radiación cutánea y la evaporación respiratoria (Macías-Cruz et al., 2016). Por su parte, las respuestas endócrinas y metabólicas pueden ser de tipo agudo y crónico, según la duración del estrés (Al-Dawood, 2017). Las respuestas agudas consisten en la liberación de cortisol y catecolaminas para proveer energía (Afsal et al., 2018). Durante el estrés calórico crónico se presenta menor actividad tiroidea y un posible incremento de insulina (Mahjoubi et al., 2015). A nivel celular, la principal respuesta citoprotectora es la sobreexpresión de proteínas de choque térmico (HSPs,

por sus siglas en inglés) (Archana et al., 2017). De manera conjunta la activación de estos ajustes permite la disipación y menor producción de calor corporal.

No obstante, la activación de los ajustes de aclimatación, aunado al daño directo que ejercen las altas temperaturas sobre las células, ocasionan estrés oxidativo (Belhadj et al., 2019a). Estudios realizados en ovinos estresados por calor han demostrado una producción excesiva de radicales libres y menor actividad antioxidante tanto en suero como en células sanguíneas (Chauhan et al., 2014a y 2015), hígado y músculo esquelético (Jiang et al., 2019). El grado de estrés oxidativo dependerá de la termorresistencia (Shakirullah et al., 2017) de la raza y el grado de estrés calórico (Belhadj et al., 2019a). Considerando lo anterior, el objetivo de la presente revisión es presentar información actual sobre los ajustes de aclimatación que emplean los ovinos estresados por calor y describir cómo éstos pueden asociarse a la producción de estrés oxidativo.

Zona termoneutral e índice de temperatura-humedad

Los ovinos son animales homeotermos, es decir, tienden a mantener su temperatura corporal dentro de un rango muy estrecho (38,3 a 39,9 °C) a través de un equilibrio de ganan-

cia y pérdida de calor con el ambiente (Al-Dawood, 2017). El rango de temperatura ambiente en el cual los ovinos no necesitan energía adicional para mantener su homeostasia y bienestar se denomina zona termoneutral (ZT) (Al-Dawood, 2017). De manera general, la ZT de los ovinos se encuentra entre 12 °C y 25 °C (Sejian et al., 2017); no obstante, este rango varía de acuerdo al tipo racial. En este sentido, las razas de pelo presentan una mayor tolerancia a altas temperaturas, incrementando su ZT desde 15 °C hasta 30 °C, resultando críticas las temperaturas mayores a 35 °C (Neves et al., 2009). Cuando la temperatura ambiental rebasa el límite superior de la ZT, el animal es incapaz de eliminar la carga excesiva de calor hacia el exterior, generándole estrés calórico (Santos et al., 2006).

Otro factor ambiental que contribuye a la sensación térmica es la humedad relativa. El índice de temperatura-humedad (ITH) es un indicador que al medir de manera conjunta la temperatura ambiental y la humedad relativa, permite estimar de manera más precisa el grado de estrés calórico que experimenta el animal (Marai et al., 2007). Hasta el momento no hay una fórmula específica para calcular ITH en ovinos, por lo cual se han usado algunas desarrolladas para bovinos (Hahn, 1999; Marai et al., 2007). La fórmula más empleada es la propuesta por Marai et al. (2007), de la siguiente forma:

$$\text{ITH} = \text{temperatura del bulbo seco } ^\circ\text{C} - \{(0,31 - 0,31 \text{ humedad relativa}) (\text{temperatura del bulbo seco } ^\circ\text{C} - 14,4)\}$$

Los valores obtenidos se relacionan con la siguiente clasificación: <22,2 = ausencia de estrés; 22,2 a <23,3 = estrés calórico moderado; 23,3 a <25,6 = estrés calórico severo y $\geq 25,6$ = estrés calórico extremo-severo. Así, cuando los ovinos de lana y pelo son expuestos a temperaturas mayores a los 25 °C y 30 °C, respectivamente, o a un ITH mayor a 22,2 unidades, comienzan a experimentar estrés calórico y, consecuentemente, estrés oxidativo.

Estrés calórico y estrés oxidativo

En condiciones fisiológicas normales los ovinos presentan un balance entre la actividad pro y antioxidante; sin embargo, cuando se encuentran bajo estrés calórico se pierde este equilibrio, conduciendo a estrés oxidativo (Chauhan et al., 2014a). De acuerdo con Belhadj et al. (2019a), existe una correlación positiva entre el ITH y el índice de estrés oxidativo en ovinos estresados por calor. Es decir, a mayor estrés calórico, mayor producción de estrés oxidativo. De manera directa, el incremento de la temperatura ambiente ocasiona daños en la cadena de transporte de electrones en la mitocondria, así como la liberación de metales de transición, principalmente del ion ferroso (Fe^{2+}) (Belhadj et al., 2019b). Consecuentemente, debido a la inestabilidad de los electrones que escapan de la cadena de electrones y del Fe^{2+} , ambos compuestos reaccionan rápidamente con el O_2 para formar superóxido (O_2^-). A su vez, el O_2^- dará origen a las demás especies reactivas de oxígeno (ROS) mediante diferentes reacciones secuenciales (Belhadj et al., 2016).

Debido a su alta inestabilidad asociada a la presencia de una capa de electrones no apareadas, los ROS reaccionan rápidamente con biomoléculas que forman parte estructural y funcional de la célula (Salami et al., 2016). Por su abundancia celular, las principales moléculas oxidadas son los ácidos grasos poliinsaturados y las proteínas (Belhadj et al., 2014). Lo anterior ocasiona una menor capacidad antioxidante celular y mayor capacidad oxidante total e índice de estrés oxidativo, así como una acumulación excesiva de los principales productos de peroxidación lipídica (malondialdehído; MDA) y de productos avanzados de la oxidación proteica (PAOP) (Chauhan et al., 2014a). Por otra parte, los ajustes de aclimatación que realizan los ovinos estresados por calor también contribuyen indirectamente a incrementar el estrés oxidativo como más adelante se irá detallando.

Aclimatación y adaptación

La aclimatación y adaptación son los mecanismos que emplean los animales para hacer frente al estrés por calor (Collier *et al.*, 2019). La aclimatación comprende una serie de ajustes fisiológicos, endocrinos, metabólicos y celulares que se generan cuando los termorreceptores captan un incremento en la temperatura ambiental (Belhadj *et al.*, 2016). Dependiendo del periodo de exposición a temperaturas altas, la aclimatación puede ser aguda o crónica (Collier y Gebremedhin, 2015). Las respuestas agudas son impulsadas por el sistema nervioso autónomo y consisten en la liberación de catecolaminas y glucocorticoides para la activación de mecanismos termorregulatorios no evaporativos y evaporativos, así como la disponibilidad de energía para que éstos se lleven a cabo (Afsal *et al.*, 2018). Si el factor estresante persiste, continúa el proceso de aclimatación crónica, el cual, además de los mecanismos mencionados, podrían implicar la reprogramación del metabolismo y la expresión genética como medida homeorética (Collier *et al.*, 2019). Sin embargo, estos cambios genéticos no son rápidos y pueden durar varias generaciones, por lo que las estrategias de selección deben ser acompañadas de un mejoramiento constante en las prácticas de manejo y el considerar información generada bajo ambientes cálidos (Misztal, 2017).

Si el estrés crónico permanece por varias generaciones, la respuesta de aclimatación se volverá genéticamente "fija" y el animal se adaptará a las altas temperaturas del medio ambiente (Collier *et al.*, 2019). Por ejemplo, los ovinos de pelo han desarrollado a lo largo de los años diferentes adaptaciones fenotípicas que les confieren una mayor plasticidad térmica en comparación con razas de lana no adaptadas (Collier *et al.*, 2019). Las principa-

les adaptaciones morfológicas que presentan estas razas para soportar temperaturas de hasta 30 °C sin comprometer su normotermia son: talla mediana con mayor superficie de contacto con el ambiente (Macías-Cruz *et al.*, 2018a), mayor número de glándulas sudoríparas (Correa *et al.*, 2012), piel delgada y poco pigmentada (McManus *et al.*, 2011), así como presencia de pelo corto y poco denso (Correa *et al.*, 2012). Posiblemente, el origen de estas razas (climas cálidos) sea el responsable de las adaptaciones evolutivas mencionadas, las cuales favorecen las pérdidas de calor corporal por medios no evaporativos (McManus *et al.*, 2011).

Como resultado de las adaptaciones mencionadas, razas con mayor termoresistencia también serán susceptibles a presentar daño oxidativo a temperaturas más altas que razas no adaptadas. En este sentido, Shakirullah *et al.* (2017) asociaron una mejor capacidad de termorregulación de ovejas Damani con respecto a ovejas Balkhi estresadas por calor con una menor concentración sérica de MDA y mayor concentración de las enzimas superóxido dismutasa (SOD) y glutatión peroxidasa (GPx). En razas de pelo, Valadez-García (2019) y Valadez-García *et al.* (2021) reportaron una mayor concentración sérica de marcadores de estrés oxidativo cuando los animales fueron expuestos a una temperatura ambiente de 35 °C que cuando fueron expuestos a una temperatura ≤ 33 °C. Finalmente, Belhadj *et al.* (2019b) informaron que la temperatura rectal de ovinos estresados por calor se correlaciona positivamente con la concentración sérica de MDA, PAOP y con el índice de estrés oxidativo. De manera conjunta, los hallazgos mencionados sugieren que, a pesar de la activación de ajustes de aclimatación y de la adaptación de los ovinos a altas temperaturas, estos presentarán estrés oxidativo.

Ajustes de aclimatación y su asociación con estrés oxidativo

Ajustes fisiológicos

Como respuesta al estímulo térmico, los ovinos estresados por calor activan ajustes fisiológicos para disminuir la carga de calor corporal, mantener el equilibrio hídrico y para disipar calor. Para el primer caso, la principal respuesta es la disminución del consumo de alimento. En corderos de lana se ha observado que temperaturas entre 28 °C y 45 °C disminuyen la ingesta de alimento de un 13 % a un 17 % (Chauhan et al., 2014a; Mahjoubi et al., 2015). No obstante, en razas termorresistentes, puede no verse afectado el consumo de materia seca por efecto de altas temperaturas (Macías-Cruz et al., 2020; Mahjoubi et al., 2014). Por otra parte, los ajustes que realizan ovinos estresados por calor para evitar la deshidratación son el aumento de ingesta de agua y disminución de su eliminación en heces y orina, así como la reabsorción renal de Na⁺ y Cl⁻ y eliminación de K⁺ (Piccione et al., 2012; Macías-Cruz et al., 2016). Para la disipación de calor, los ovinos emplean vías no evaporativas y evaporativas que si bien, disminuyen la carga de calor corporal, también contribuyen a aumentar la producción de radicales libres (Belhadj et al., 2016).

Las condiciones de hipertermia generan redistribución del flujo sanguíneo hacia la periferia del cuerpo para la disipación de calor por mecanismos no evaporativos, siendo la principal vía la radiación cutánea (Al-Dawood, 2017; Pantoja et al., 2017). Estudios realizados con termografía infrarroja determinaron que todas las regiones corporales pueden disipar calor mientras el gradiente de temperatura entre la superficie del animal y el ambiente se mantenga a favor del cuerpo del animal (Santos et al., 2006; Macías-Cruz et al., 2016). Las regiones corporales de mayor disipación son aquellas con un menor efecto aislante de la lana o pelo. Mientras que los

ovinos de lana disipan mayor proporción de calor a través de las orejas y las piernas, áreas con poca lana (Marai et al., 2007), los ovinos de pelo disipan más calor a través de la zona ocular y perianal, debido a la menor densidad y tamaño de pelo en estas regiones (McManus et al., 2011; Macías-Cruz et al., 2016). Otro hallazgo interesante que se ha determinado mediante termografía, es la capacidad que tienen los machos jóvenes y adultos de mantener la termorregulación testicular. Recientemente, Nicolás-López (2019) y Pantoja et al. (2017) determinaron que animales Dorper, Santa Inés, Morada Nova y Texel, mantienen una diferencia entre la temperatura rectal y testicular ≥ 6 °C, a pesar de condiciones ambientales cálidas. No obstante, la información sobre el impacto del estrés calórico en la espermatogénesis, viabilidad espermática y conducta reproductiva aún es limitada.

A medida que incrementa la temperatura ambiente, las pérdidas de calor no evaporativas resultan insuficientes y comienza la activación de vías evaporativas (Macías-Cruz et al., 2016), principalmente la respiración (Fonseca et al., 2017). Estudios sobre variaciones circadianas de radiación cutánea y frecuencia respiratoria (Santos et al., 2006; Chauhan et al., 2015; Macías-Cruz et al., 2016) demuestran que, a medida que disminuye la diferencia entre la temperatura superficial del animal y del ambiente (entre 12 h y 18 h), se incrementa la evaporación respiratoria. Lo anterior es un ajuste fisiológico conocido como heterotermia adaptativa (Macías-Cruz et al., 2018b) e implica que los animales toleren una mayor carga de calor durante el día para evitar un gasto excesivo de energía y deshidratación por el incremento de la frecuencia respiratoria.

A pesar de la importancia de la radiación cutánea y evaporación respiratoria para disipar calor, estos ajustes también conllevan a una excesiva producción de radicales libres. La redistribución del flujo sanguíneo hacia la

periferia ocasiona hipoxia en los órganos internos (Marai et al., 2007). Por esto, ante la falta de O₂ en las mitocondrias, se puede presentar una acumulación excesiva de nicotín adenín dinucleótido (NADH) y flavín adenín dinucleótido (FADH₂), agentes reductores que emplean el poco O₂ disponible como sustrato para la producción de radicales libres (Belhadj et al., 2014). Asimismo, algunos autores han demostrado que el incremento de la frecuencia respiratoria también contribuye al desequilibrio pro y antioxidante. Chauhan et al. (2016) demostraron una mayor producción de ROS a causa de la evaporación respiratoria al observar, en corderos Merino × Poll Dorset, un incremento en la cantidad de peróxido de hidrógeno (H₂O₂) exhalado cuando los animales fueron expuestos a una temperatura ambiente de entre 28-40 °C. Por su parte, Belhadj et al. (2019a) demostraron que existe una correlación positiva entre la frecuencia respiratoria y la concentración sérica de MDA. Esta respuesta fue asociada a una mayor concentración de ROS y menor actividad enzimática antioxidante en las fibras musculares que intervienen en la respiración (Kubik et al., 2018).

Ajustes endocrinos y metabólicos

Hasta el momento, los ajustes endocrinos-metabólicos que realizan los ovinos estresados por calor han sido estudiados principalmente en razas de lana, y de acuerdo a los resultados obtenidos, las respuestas pueden considerarse como aclimatación aguda y crónica (Sejian et al., 2017). La activación del eje hipotálamo-hipófisis-adrenales tiene como objetivos activar los mecanismos evaporativos y no evaporativos de termorregulación, así como proveer energía a estos para que se lleven a cabo. La principal fuente de energía en ovinos estresados por calor es la glucosa (Al-Dawood, 2017), por lo cual la acción de estas hormonas está encaminada en primera instancia a acti-

var la glucogenólisis y gluconeogénesis hepática para una rápida disponibilidad de energía. No obstante, factores como el estado fisiológico y la restricción alimenticia durante el insulto térmico pueden comprometer la euglucemia bajo estrés calórico.

Macías-Cruz et al. (2018b) detectaron que corderas en crecimiento y ovejas en lactación Dorper × Pelibuey estresadas por calor presentaron niveles de glucosa por debajo del nivel normal. Por su parte, Sejian et al. (2017) observaron en ovejas Malpura que, mientras una temperatura ambiente de 40 °C no afecta la concentración sérica de glucosa, la combinación del estrés térmico con restricción nutricional disminuye su concentración. Ante esta situación, el cortisol y las catecolaminas ejercen su efecto catabólico en los tejidos adiposo y muscular para emplear ácidos grasos no esterificados (NEFAS) como fuente de energía para la termorregulación y liberar aminoácidos gluconeogénicos (Mahjoubi et al., 2014; Macías-Cruz et al., 2018b). En este sentido, Mahjoubi et al. (2014) demostraron en corderos Afshari que, al disminuir la disponibilidad de glucosa durante el estrés agudo, incrementa la concentración sérica de NEFAS. Por su parte, otros autores han reportado un incremento en la concentración sérica de urea (Indu et al., 2015; Macías-Cruz et al., 2016), hallazgo que asociaron a un mayor catabolismo proteico, aunado a posibles alteraciones en el ciclo de urea debido una menor síntesis de proteína microbiana en el rumen (Sejian et al., 2017).

Hasta el momento no hay estudios previos que determinen el grado de asociación entre la concentración de cortisol y catecolaminas durante el estrés calórico agudo con el estrés oxidativo en ovinos. No obstante, estudios en mamíferos demuestran que el cortisol ocasiona un incremento de la producción de radicales libres, afectando principalmente a órganos con mayor cantidad de lípidos en su estructura (Celi, 2011). Así, los órganos que

presentan de mayor a menor susceptibilidad al daño oxidativo ante un incremento de cortisol son el cerebro, hígado, sangre y el corazón (Costantini *et al.*, 2011). Lo anterior sugiere que el incremento de cortisol en ovinos estresados por calor puede aumentar directamente la producción de ROS y, como consecuencia, causar disturbios en funciones vitales, metabolismo y en el transporte de oxígeno y nutrientes a los tejidos. Sin embargo, durante, el estrés calórico crónico, cuando la concentración de cortisol disminuye (Sejian *et al.*, 2014), los daños oxidativos, también podrían disminuir. Futuras investigaciones deberán determinar la relación cortisol-estrés oxidativo en ovinos estresados por calor, así como sus implicaciones en la homeostasis y productividad de los animales.

Los ajustes endócrinos de aclimatación crónica consisten en una disminución en la concentración de hormonas tiroideas y mayor concentración de insulina. Las condiciones de hipertermia generan una menor liberación de tirotropina (Macías-Cruz *et al.*, 2018a), disminuyendo así la concentración sérica de tiroxina (T4) y su desiodación a triiodotironina (T3; Afsal *et al.*, 2018). No obstante, el nivel de disminución de la actividad tiroidea en ovinos bajo estrés calórico dependerá del tipo racial. En este sentido, Ross *et al.* (1985) observaron una mayor concentración de T4 en ovejas de raza Black Belly estresadas por calor en comparación con animales Dorset. En congruencia con lo anterior, Rathwa *et al.* (2017) observaron que en ovejas de lana se presenta una mayor disminución entre el verano e invierno en las concentraciones de T3 y T4, en comparación con lo obtenido por Nicolás-López (2019) y Nicolás-López *et al.* (2021) en corderos de pelo Dorper × Katahdin. Adicionalmente, dentro de las razas de pelo, factores como el estado fisiológico (Macías-Cruz *et al.*, 2018b), color del pelaje (McManus *et al.*, 2011) y la calidad de alimento también pueden influir en la concentración de estas hormonas bajo condiciones de estrés calórico.

Por otra parte, los ovinos con estrés calórico crónico presentan una actividad más eficiente del sistema glucosa-insulina. Estudios realizados en corderos Afshari demuestran que independientemente de la severidad del estrés calórico (29-45 °C) y de cambios en el consumo de alimento, los animales mantuvieron su euglucemia y concentración normal de insulina (Mahjoubi *et al.*, 2015). Este ajuste evitó el catabolismo lipídico y proteico, permitiendo que los animales continuaran ganando peso. Un posible efecto similar fue sugerido por Macías-Cruz *et al.* (2020) en corderos de pelo Dorper × Katahdin estresados por calor, animales en los que un uso más eficiente de la glucosa asociado a la insulina pudo contribuir a que los animales no presentaran detrimentos en características y rendimiento de la canal caliente, y que incrementaran su deposición de grasas viscerales. Además de sus implicaciones en el metabolismo post absorción, la insulina puede ejercer actividad antiapoptótica en las células β del páncreas y estimular la expresión de HSP's (Baumgard y Rhoads, 2013). Futuras investigaciones deberán esclarecer el impacto del estrés por calor en el sistema glucosa-insulina en razas de pelo, así como sus implicaciones en la termorregulación, metabolismo y comportamiento productivo.

Resultados de estudios sugieren que durante el estrés calórico crónico hay una disminución en la producción de radicales libres asociada a los ajustes endócrinos. Valadez-García (2019) observó en corderas de pelo una disminución en el índice de estrés oxidativo después de una exposición prolongada (40 d) de los animales al estrés calórico estacional en una región árida. En congruencia con lo anterior, en ovejas de raza Balkhi y Damani, Shakirullah *et al.* (2017) observaron una mayor defensa enzimática antioxidante después de 28 d de exposición a condiciones de hipertermia. De manera conjunta, la disminución de cortisol después del estrés calórico agudo, aunado a

la menor actividad tiroidea y el efecto antilipolítico de la insulina durante el estrés calórico crónico, podrían ser factores que contribuyan a disminuir la producción de radicales libres después de una exposición prolongada al estrés calórico. Sin embargo, aún no hay estudios que demuestren esta asociación.

Ajustes celulares

Parte de los ajustes de aclimatación y adaptación que realizan los ovinos estresados por calor se atribuyen a la expresión de genes específicos, cuya identificación permite la selección de razas resistentes al calor (Berihulay et al., 2019). La disponibilidad de datos genómicos generados mediante análisis de polimorfismo de un solo nucleótido (SNP) en todo el genoma y la comparación de patrones genómicos de variación de polimorfismos entre razas, ha permitido identificar genes candidatos de termorresistencia (Sejian et al., 2019). Dichos genes se asocian con el desarrollo de adaptaciones morfológicas, a la regulación del estado hídrico y metabólico, y a la expresión de HSPs.

Los genes involucrados en la adaptación morfológica intervienen en aspectos de color de piel y talla corporal de los animales. Kim et al. (2016) demostraron en ovinos Barki, raza adaptada a condiciones desérticas de Egipto, que poseen una mayor expresión de genes melanogénicos (*FGF2*, *GNAB* y *PLCB1*). Este proceso adaptativo se relacionó con una reducción de la penetración de rayos ultravioleta a través de la piel (McManus et al., 2011), lo que contribuyó a una menor carga de calor corporal. Por otra parte, en ovejas Creole, Morada Nova, Santa Inés y Barki, se ha observado una expresión de genes que están relacionados con un menor tamaño corporal (*DIS3L2*, *PLAG1*, *NIPB1*, *BMP2*, *BMP4*, *GJA3* y *GJB2*) (Kim et al., 2016; de Simoni Gouveia et al., 2017). Así, al disminuir el tamaño y ser mayor la superficie de contacto de la piel con el

ambiente, estas razas presentan mayor facilidad para disipar calor por vías no evaporativas.

Los genes asociados a la regulación del estado hídrico en ovinos estresados por calor son *CALM2*, *CACNA2D1*, *KONJS*, *COX2* (Yang et al., 2016). Tales genes fueron encontrados en la vía de señalización de la oxitocina y están relacionados con la regulación del estado hídrico al ocasionar dilatación de los vasos preglomerulares, además de estimular la reabsorción de agua en ovinos estresados por calor. Por otra parte, los genes *CPA3*, *CPVL* y *EVE1* se han asociado con la estimulación del sistema renina-angiotensina (Yang et al., 2016).

Actualmente también se han identificado algunos genes específicos involucrados en el metabolismo energético de ovinos estresados por calor (Berihulay et al., 2019). De acuerdo con Li et al. (2019), la expresión de los genes *VNN1* y *NR1H3* en el hígado en ovejas raza Hu estresadas por calor juega un papel importante en la regulación de gluconeogénesis y, por lo tanto, en el aporte de glucosa para facilitar la termorregulación. En congruencia con lo anterior, Kim et al. (2016) concluyeron que los genes *MYH*, *TRHDE*, *ALDH1A3* se relacionaron directamente con el metabolismo de la energía para diversas funciones como la contracción muscular en presencia de altas temperaturas.

Otra de las adaptaciones celulares que realizan los ovinos bajo estrés térmico es la expresión de HSPs (Collier et al., 2019). La expresión de estas proteínas es inducida por la activación de factores de transcripción de choque térmico (HSF, por sus siglas en inglés), principalmente por la isoforma HSF1 (Archana et al., 2017). A su vez, la activación y translocación nuclear del HSF1 en mamíferos es estimulada por diferentes señales lipídicas como el incremento de fosfatidilinositol bifosfato y fosfolipasas (A2 y C), así como por la activación de canales de Ca^{2+} dependiendo del grado de estrés calórico (Belhadj et al.,

2016). Por lo tanto, a mayor temperatura y daño celular, mayor concentración de Ca^{2+} intracelular y de las señales lipídicas, lo cual causa una mayor expresión de HSPs (Figura 1) (Balogh et al., 2013).

Las principales HSPs inducibles durante estrés calórico son HSP70 y HSP90, proteínas que han sido asociadas con una mayor termotolerancia al presentar diferentes implicaciones celulares, inmunológicas y metabólicas (Archana et

al., 2017). Las funciones celulares de HSP consisten en garantizar el correcto plegamiento de proteínas, evitar su oxidación e impedir la acumulación de complejos proteicos dañados que activen rutas apoptóticas (Chauhan et al., 2014b). Las funciones inmunológicas y metabólicas de las HSPs son la disminución de la expresión de citoquinas proinflamatorias (Chauhan et al., 2014a) y garantizar un mejor funcionamiento hepático y pancreático (Rout et al., 2016), respectivamente.

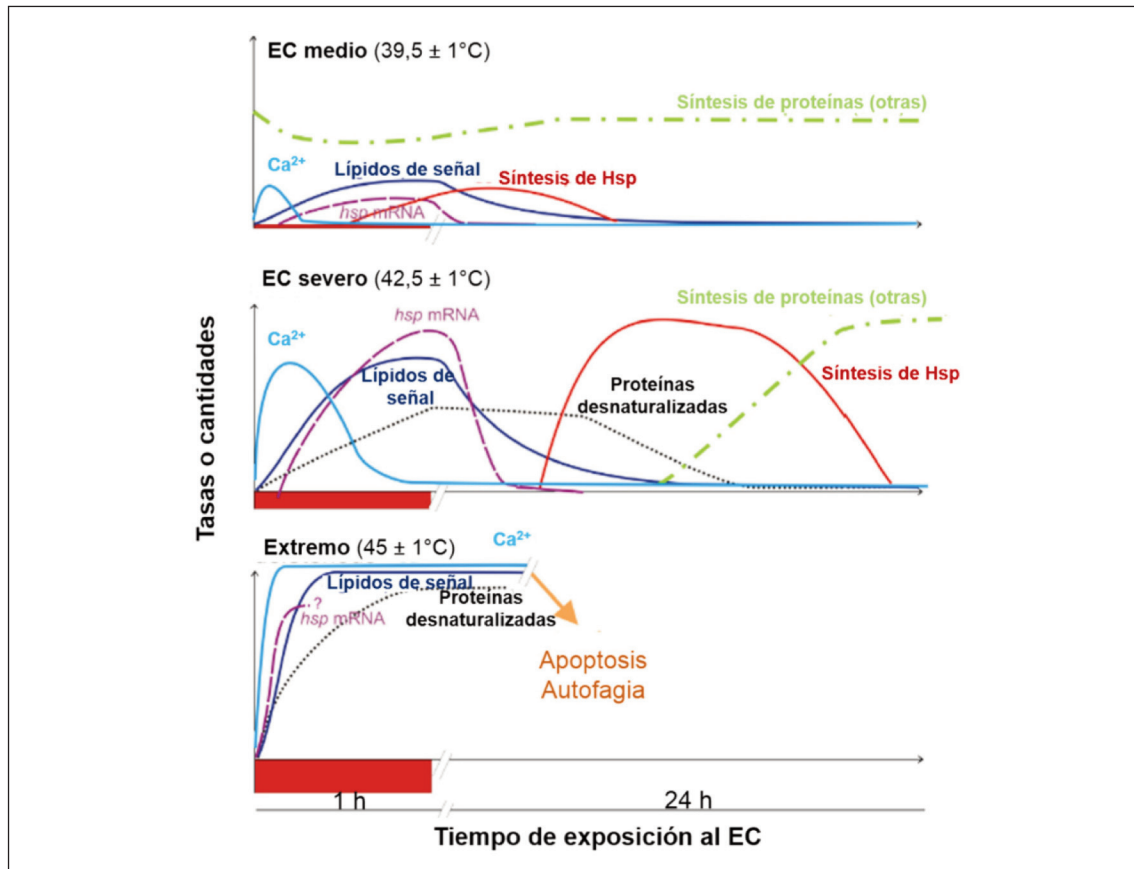


Figura 1. Representación esquemática de la secuencia de eventos durante y después de una hora (h) de choque térmico en células de mamíferos expuestas a diferentes temperaturas. EC = estrés calórico; Hsp = proteínas de choque térmico (Adaptado de Balogh et al., 2013).

Figure 1. Schematic representation of the sequence of events during and after one hour (h) of thermal shock in mammalian cells exposed to different temperatures. EC = heat stress; Hsp = heat shock proteins (Adapted from Balogh et al., 2013).

Actualmente son pocos y controversiales los estudios que se han publicado sobre el efecto de las altas temperaturas ambientales sobre la expresión de HSPs en ovinos. Chauhan et al. (2014b) observaron un incremento en la cantidad de ARNm de HSF1 y HSP70 de 1,3 y 3,5 veces, respectivamente en el músculo *Longissimus dorsi* de corderos Merino × Poll Dorset estresados por calor con respecto a animales no estresados; se consideró que esta respuesta fue estimulada para disminuir la inflamación y daño en el tejido muscular. Por su parte, Romero et al. (2013) expusieron células mononucleares periféricas de ovejas Pelibuey y Suffolk a condiciones de hipertermia (43 °C), encontrando un mayor aumento en las concentración de HSP70 y, por consiguiente, mejor viabilidad celular en ovinos raza Pelibuey. Considerando lo anterior, los autores asociaron una mayor expresión de HSPs con una mayor termorresistencia. Un efecto similar fue sugerido por Akinyemi et al. (2019), quienes al comparar la concentración sérica de HSP70 en cinco diferentes razas de ovinos observaron que aquellas con mejor capacidad de termorregulación (menor tempera-

tura rectal), presentaron concentraciones más altas de HSP70. Contrario a lo anterior, Singh et al. (2017) observaron una menor expresión de HSP70 y HSP90 en razas de ovejas con mayor termorresistencia. La discrepancia entre estudios puede deberse a diferentes factores como nivel de adaptación de la raza (Shakirullah et al., 2017), intensidad y duración del estrés calórico (Romero et al., 2013) y célula u órgano donde se está determinando la expresión (Rout et al., 2016). Futuras investigaciones deberán determinar la importancia de las HSPs en la aclimatación de ovinos estresados por calor.

Consecuencias del estrés oxidativo en ovinos estresados por calor

La acumulación de ROS debido al estrés calórico compromete el funcionamiento de los órganos y tejidos, y en última instancia, el bienestar animal y la productividad de los ovinos (Figura 2). Recientemente, diferentes estudios han demostrado la presencia de

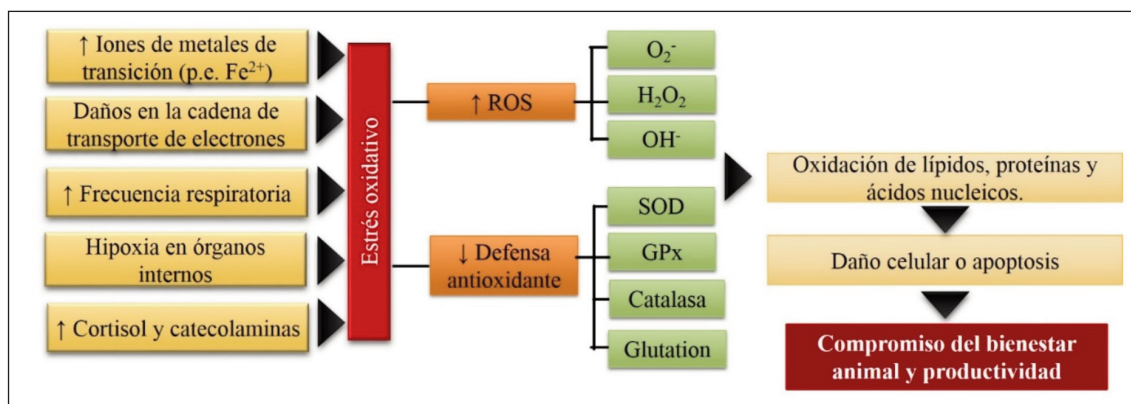


Figura 2. Producción de estrés oxidativo debido al estrés calórico (ROS = especies reactivas de oxígeno; Fe^{2+} = ion ferroso; O_2^- = superóxido; H_2O_2 = peróxido de hidrógeno; OH^- = radical hidróxilo; SOD = superóxido dismutasa; GPx = glutatión peroxidasa; Elaboración propia).

Figure 2. Production of oxidative stress due to heat stress. ROS = reactive oxygen species; Fe^{2+} = ferrous ion; O_2^- = superoxide; H_2O_2 = hydrogen peroxide; OH^- = hydroxyl radical; SOD = superoxide dismutase; GPx = glutathione peroxidase (Own elaboration).

daño oxidativo y de menor actividad antioxidante en suero y diferentes tejidos de ovinos estresados por calor. En suero, Chauhan et al. (2014) observaron un incremento de ROS, índice de estrés oxidativo y PAOP por efecto del estrés calórico en corderos Merino × Poll Dorset. Asimismo, en corderos Ujumqin, Liu et al. (2016) observaron menor concentración de las enzimas SOD y GPx, aunado a un incremento en la concentración de MDA. Respuestas similares fueron obtenidas en ovejas nativas de la India, animales en los que también disminuyó la actividad antioxidante e incrementó la peroxidación lipídica durante el verano (Rathwa et al., 2017).

Las células y tejidos en los que se ha medido el daño oxidativo provocado por el estrés calórico en ovinos son eritrocitos, leucocitos, hígado y músculo esquelético. Sin embargo, la información aún es limitada. Con respecto a células sanguíneas, mientras que en eritrocitos no se observó efecto de exponer corderos a temperaturas de hasta 40 °C, en leucocitos se presentó una menor actividad de las enzimas SOD y GPx (Chauhan et al., 2014a y 2015). Estos últimos resultados concuerdan con lo obtenido por otros autores (Romero et al., 2013; Belhadj et al., 2019b), quienes observaron una menor viabilidad celular en linfocitos de ovinos de lana y pelo expuestos a altas temperaturas. Dicha respuesta estuvo correlacionada negativamente con la concentración de H₂O₂ en la célula (Belhadj et al., 2019b). Por otra parte, Liu et al. (2016) evidenciaron en hígado y músculo un incremento en la concentración de MDA, así como una disminución de las enzimas SOD y GPx después de exponer a corderos Ujumqin a estrés calórico crónico (56 días). De manera general, todos los resultados mencionados demuestran el efecto negativo del estrés oxidativo asociado a estrés calórico en el estado de salud y metabolismo de corderos, al provocar daño a células de defensa y al hígado, principal órgano que regula el metabolismo.

Diferentes autores han asociado el estrés oxidativo de corderos bajo condiciones de estrés calórico a un menor comportamiento productivo y detrimentos en características de la canal y calidad de la carne. Chauhan et al. (2014) reportaron una disminución en el consumo de alimento corderos de lana (Merino × Poll Dorset) bajo condiciones de hipertermia. De igual manera Mahjoubi et al. (2015) observaron disminución de consumo, ganancia de peso y eficiencia alimenticia de corderos Afshari estresados por calor. Por su parte, Macías-Cruz et al. (2020) reportaron en corderos Dorper × Katahdin estresados por calor una disminución en el peso final, ganancia diaria de peso y eficiencia alimenticia, lo cual condujo a obtener canales más ligeras y con un menor rendimiento de cortes primarios. La disminución de ingesta de alimento y el catabolismo lipídico y muscular en animales estresados por calor contribuye a una reducción en la deposición de grasa en la canal y en la grasa intramuscular (Zhang et al., 2020). Si bien una parte del tejido adiposo es utilizado para cubrir los requerimientos energéticos, otra parte del tejido sufre peroxidación a causa del aumento de ROS, promoviendo la alteración del color, olor, sabor y valor nutricional de la carne (Bekhit et al., 2013; Morgado et al., 2018). Por otra parte, los aldehídos, productos de la peroxidación de lípidos pueden afectar a las proteínas debido a su actividad prooxidante provocando detrimentos en las propiedades físicas de la carne (Cunha et al., 2018). En este sentido, el estrés oxidativo puede causar menor rendimiento en cortes primarios al afectar las fibras musculares oxidativas al aumentar la concentración de ROS en este tipo de fibras. Macías-Cruz et al. (2020) reportaron en corderos Dorper × Katahdin menor rendimiento en el lomo, región corporal con abundantes fibras oxidativas, limitando el desarrollo de este músculo. Dada la alta exigencia de la industria cárnica por mejorar las características de la canal y de la carne de ovino y evitar daños en la salud del

consumidor, el uso de antioxidantes naturales es una opción para disminuir los detrimentos causados por el estrés oxidativo.

Uso de antioxidantes para mitigar el estrés calórico en ovinos

Algunas razas de ovinos (principalmente razas de pelo) presentan una mayor termorresistencia debido a las adaptaciones fenotípicas que han desarrollado con el paso de las generaciones (Collier et al., 2019). Sin embargo, el constante aumento de la temperatura ambiente asociado al calentamiento global, es un factor importante que limita la eficacia de dichas adaptaciones. Por lo tanto, una estrategia para mitigar los efectos negativos del estrés oxidativo asociado al estrés térmico es el uso de antioxidantes (Belhadj et al., 2019b; Jiang et al., 2019). La adición de los antioxidantes se debe aplicar principalmente en condiciones de estrés calórico agudo, en animales no adaptados y con una alta tasa metabólica (por ejemplo, durante la lactación o en crecimiento; Chauhan et al., 2014a; Jiang et al., 2019).

Diferentes autores han evaluado el efecto de utilizar antioxidantes exógenos en ovinos estresados por calor, principalmente administrando vitamina E + Se, así como extractos vegetales ricos en polifenoles y flavonoides. Los resultados obtenidos demuestran que la administración de estos compuestos puede mejorar la capacidad de termorregulación, comportamiento productivo y actividad reproductiva al disminuir el estrés oxidativo y evitar la inflamación (Tabla 1). Sin embargo, la eficacia de los antioxidantes depende de factores como dosis empleada (Chauhan et al., 2014a), severidad del estrés calórico (Valadez-García, 2019) y raza (Shakirullah et al., 2017). Por esto, deben realizarse más estudios que contribuyan a establecer estrategias de suplementación de acuerdo al antioxidante utilizado.

Algunos beneficios informados hasta el momento se describen a continuación.

La dosis supra nutricional de la combinación vitamina E + Se disminuye el estrés oxidativo y restablece la normotermia en ovinos de lana estresados por calor. Esto ha sido asociado a la sinergia de estos antioxidantes para disminuir la cantidad de radicales libres e incrementar la producción de HSPs (Chauhan et al., 2015). Estas funciones se deben a una mayor disponibilidad de Se para el funcionamiento de la enzima GPx, a la inhibición de la peroxidación lipídica por efecto de la vitamina E y a una mayor expresión del HSF1 (Chauhan et al., 2014a). Así, al mejorar la actividad enzimática antioxidante e impedir la oxidación de lípidos y proteínas, la vitamina E y Se evitan la inflamación y la alcalosis (Chauhan et al., 2014a y 2015), favorecen la termorregulación y, consecuentemente, mejoran el crecimiento y la reproducción (Sejian et al., 2017; Shakirullah et al., 2017).

Por otra parte, algunos compuestos fenólicos y flavonoides también han demostrado actividad antioxidante. Estudios recientes en corderos Dorper estresados por calor demuestran que la adición dietaria de ácido ferúlico libre (Valadez-García, 2019) o unido a oligosacáridos (Wang et al., 2019) evitó la oxidación de proteínas y estimuló su anabolismo, respuestas que fueron asociadas a una mayor concentración sérica de GPx, catalasa, SOD y albúmina. Resultados similares se obtuvieron en corderos de lana al ser tratados con taninos, animales en los que adicionalmente se observó un mejor estado inmunológico y menores detrimentos en el color de la carne después de estar expuestos a estrés calórico crónico (Liu et al., 2016). Asimismo, el uso de extracto de *Curcuma longa* (planta rica en flavonoides) y naringina (Alhidary y Abdelrahman, 2016), también mejoraron el estado oxidativo, metabólico e inmunológico de corderos de lana bajo estrés calórico, favoreciendo la capacidad de termorregulación, además del crecimiento e integridad testicular.

Tabla 1. Efecto del uso de antioxidantes en ovinos estresados por calor.
 Table 1. Effect of the use of antioxidants in sheep under heat stress.

Raza y/o Cruce	Antioxidante	Efecto o Respuesta	Fuente
Ovejas Merino x Poll Dorset	Vitamina E + Se	Fisiológica: ↓ FR. Antioxidante: ↓ PAOP.	Chauhan et al., 2014a
Ovejas Merino x Poll Dorset	Vitamina E + Se	Fisiológica: ↓ TR y FR. Antioxidante: ↓ ROS y expresión de genes asociados a la inflamación y ↑ HSP70.	Chauhan et al., 2014b
Ovejas Merino x Poll Dorset	Vitamina E + Se	Fisiológica: ↓ FR y evitó alcalosis. Antioxidante: ↓ ROS e IEO y ↑ CAT. Comportamiento productivo: ↑ Consumo de alimento.	Chauhan et al., 2015
Ovejas Damani y Balkhi	Vitamina E y Se	Fisiológica: ↓ FR y TR. Endocrina: ↑ T3, T4 y P4, y ↓ cortisol.	Shakirullah et al., 2017
Ovejas Malpura	Mezcla de minerales y vitamina E	Antioxidante: ↓ MDA e ↑ SOD y GPx. Fisiológica: no afectó FR ni TR. Endocrina: ↓ Cortisol, E2 y ↑ T3, T4 y P4. Sanguínea: ↑ Hb y HCT.	Sejian, 2017
Corderos Dorper x Han	Ferulolil oligosacáricos	Antioxidante: ↑ GPx, CAT, SOD, glutatión y albúmina. Metabólica: ↑ PT. Comportamiento productivo: ↑ GDP y EA.	Wang et al., 2019

Se = Selenio; GPx = glutatión peroxidasa; CAT = catalasa; SOD = superóxido dismutasa; PT = proteína total; GDP = ganancia diaria de peso; EA = eficiencia alimenticia; PAOP = productos avanzados de la oxidación de proteínas; IEO = índice de estrés oxidativo; FR = frecuencia respiratoria; TR = temperatura rectal; ROS = especies reactivas de oxígeno; HSP = proteínas de choque térmico; MDA = malondialdehído; AST = aspartato aminotransferasa; E2 = estrógenos; T3 = triiodotironina; T4 = tiroxina; P4 = progesterona; Hb = hemoglobina; HCT = hematocrito; Ig = inmunoglobulina.

Tabla 1. Efecto del uso de antioxidantes en ovinos estresados por calor (continuación).
 Table 1. Effect of the use of antioxidants in sheep under heat stress (continuation).

Raza y/o Cruce	Antioxidante	Efecto o Respuesta	Fuente
Corderas Katahdin x Dorper	Ác. ferúlico libre	Antioxidante: ↓ PAOP e IEO.	Valadez-García, 2019
Corderos Ujumquin	Taninos	Comportamiento productivo: ↑ GDP y EA.	Liu et al., 2016
		Antioxidante: ↑ SOD y GPx, y ↓ MDA.	
Corderos Awasi	Naringina	Comportamiento productivo: ↑ GDP y EA, y mejoró calidad de la carne.	Alhidary y Abdelrahman, 2014
		Fisiológica: ↓ FR y TR.	
Corderos Awasi	Naringina	Metabólica: ↓ Creatinina en sangre.	Alhidary y Abdelrahman, 2016
		Inmunológica: ↑ Anticuerpos.	
Corderos Hu en finalización	<i>Curcuma longa</i> (rico en flavonoides)	Metabólica: ↑ AST en hígado.	Jiang et al., 2019
		Antioxidante: ↑ SOD, GPx y albúmina.	
Corderos Hu en finalización	<i>Curcuma longa</i> (rico en flavonoides)	Comportamiento productivo: ↑ GDP y EA.	Jiang et al., 2019
		Antioxidante: ↑ SOD y GPx.	
Corderos Hu en finalización	<i>Curcuma longa</i> (rico en flavonoides)	Inmunológica: ↑ IgA, IgM e IgG.	Jiang et al., 2019
		Reproductiva: ↑ Testosterona.	

Se = Selenio; GPx = glutatión peroxidasa; CAT = catalasa; SOD = superóxido dismutasa; PT = proteína total; GDP = ganancia diaria de peso; EA = eficiencia alimenticia; PAOP = productos avanzados de la oxidación de proteínas; IEO = índice de estrés oxidativo; FR = frecuencia respiratoria; TR = temperatura rectal; ROS = especies reactivas de oxígeno; HSP = proteínas de choque térmico; MDA = malondialdehído; AST = aspartato aminotransferasa; E2 = estrógenos; T3 = triiodotironina; T4 = tiroxina; P4 = progesterona; Hb = hemoglobina; HCT = hematocrito; Ig = inmunoglobulina.

Cabe mencionar que los antioxidantes tienen un efecto positivo en la calidad de la carne y en los subproductos cárnicos mejorando sus atributos más importantes (Bekhit *et al.*, 2013). Además de prevenir la oxidación de lípidos y proteínas y disminuir los efectos negativos del estrés calórico, la administración de vitamina E, con o sin Se, ha demostrado reducir la oxidación de la carne mejorando la estabilidad del color en ovinos estresados por calor (Zhang *et al.*, 2020). Si bien la adición de antioxidantes en la dieta tiene resultados positivos, las industrias también han optado por agregarlos directamente en la carne o en los empaques de envasado (Falowo *et al.*, 2014; Cunha *et al.*, 2018). La adición de especies como el orégano, frutas secas y semillas de oleaginosas, han demostrado tener un efecto benéfico en la calidad de la carne y sus subproductos mejorando su color, evitando su oxidación y presencia de malos olores (Falowo *et al.*, 2014).

Conclusiones

Ante condiciones de estrés calórico los ovinos activan diferentes ajustes de aclimatación. Los ajustes fisiológicos son los más efectivos para la eliminación de calor, sin embargo, causan un mayor gasto energético. Por lo tanto, los ajustes metabólicos se encargan de cubrir las demandas de energía, además de disminuir la producción de calor metabólico. No obstante, la acción conjunta de dichos mecanismos, en combinación con el daño directo que ejercen las altas temperaturas sobre la actividad de las mitocondrias, conducen a una excesiva producción de radicales libres y menor actividad antioxidante. El estrés oxidativo puede comprometer el funcionamiento de células y tejidos, y en última estancia, el bienestar y productividad de los ovinos. Considerando lo anterior, conocer los ajustes de aclimatación de los ovinos y sus implicaciones

celulares, permitirá establecer estrategias para mejorar su estado antioxidante y así garantizar la producción de carne ovina a pesar de condiciones adversas del ambiente generadas por el cambio climático.

Agradecimientos

El primer autor agradece a CONACYT-México por la beca recibida para realizar sus estudios de doctorado. De igual manera, se agradece a los integrantes del Cuerpo Académico Fisiología y Genética Animal por su apoyo en la realización de esta revisión.

Referencias bibliográficas

- Afsal A, Sejian V, Bagath M, Krishnan M, Devaraj C, Bhatta R (2018). Heat stress and livestock adaptation neuro-endocrine regulation. *International Journal of Veterinary and Animal Medicine* 1(2): 1-8.
- Akinyemi MO, Osamede OH, Eboreime AE (2019). Effects of heat stress on physiological parameters and serum concentration of HSP70 in indigenous breeds of sheep in Nigeria. *Slovak Journal Animal Science* 52: 119-126.
- Al-Dawood A (2017). Towards heat stress management in small ruminants – A review. *Annals of Animal Science* 17: 59-88. <https://doi.org/10.1515/aoas-2016-0068>.
- Alhidary IA, Abdelrahman MM (2014). Effect of naringin supplementation on performance and physiological responses of heat stressed lambs. *Journal of Animal and Veterinary Advances* 13: 1126-1130.
- Alhidary IA, Abdelrahman MM (2016). Effects of naringin supplementation on productive performance, antioxidant status and immune response in heat-stressed lambs. *Small Ruminant Research* 138: 31-36. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2016.03.030>.

- Archana PR, Aleena J, Pragna P, Vidya MK, Niyas PAA, Bagath M, Krishnan G, Manimaran A, Bena V, Kurien EK, Sejian V, Bhatta R (2017). Role of heat shock proteins in livestock adaptation to heat stress. *Journal of Dairy, Veterinary & Animal Research* 5: 13-19. <https://doi.org/10.15406/jdvar.2017.05.00127>.
- Balogh G, Péter M, Glatz A, Gombos I, Török Z, Horváth I, Harwood JL, Vígh L (2013). Key role of lipids in heat stress management. *FEBS Letters* 587: 1970-1980. <https://doi.org/10.1016/j.febslet.2013.05.016>.
- Baumgard LH, Rhoads RP (2013). Effects of heat stress on postabsorptive metabolism and energetics. *Annual Review of Animal Biosciences* 1: 311-337. <https://doi.org/10.1146/annurev-animal-031412-103644>.
- Bekhit AEA, Hopkins DL, Fahri FT, Ponnampalam EN (2013). Oxidative processes in muscle systems and fresh meat: sources, markers, and remedies. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 12: 565-597. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12027>.
- Belhadj I, Najar T, Ghram A, Dabbebi H, Ben Mrad M, Abdrabbah M (2014). Reactive oxygen species, heat stress and oxidative-induced mitochondrial damage. A review. *International Journal of Hyperthermia* 30: 513-523. <https://doi.org/10.3109/02656736.2014.971446>.
- Belhadj I, Najar T, Ghram A, Abdrabbah M (2016). Heat stress effects on livestock: molecular, cellular and metabolic aspects, a review. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* 100: 401-412. <https://doi.org/10.1111/jpn.12379>.
- Belhadj I, Chabaane H, Chniter M, Mabrouk M, Ghram A, Miled K, Behi I, Abderrabba M, Najjar, T. (2019b). Thermoprotective properties of *Opuntia ficus-indica f. inermis* cladodes and mesocarps on sheep lymphocytes. *Journal of Thermal Biology* 81: 73-81. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2019.02.018>.
- Belhadj I, Chniter M, Najar T, Ghram A (2019a). Meta-analysis of some physiologic, metabolic and oxidative responses of sheep exposed to environmental heat stress. *Livestock Science* 229: 179-187. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2019.09.026>.
- Berihulay H, Abied A, He X, Jiang L, Ma Y (2019). Adaptation mechanisms of small ruminants to environmental heat stress. *Animals* 9: 75. <https://doi.org/10.3390/ani9030075>.
- Celi P (2011). Biomarkers of oxidative stress in ruminant medicine. *Immunopharmacology and Immunotoxicology* 33: 233-240. <https://doi.org/10.3109/08923973.2010.514917>.
- Chauhan SS, Celi P, Leury BJ, Clarke IJ, Dunshea FR (2014a). Dietary antioxidants at supranutritional doses improve oxidative status and reduce the negative effects of heat stress in sheep. *Journal of Animal Science* 92: 3364-3374. <https://doi.org/10.2527/jas.2014-7714>.
- Chauhan SS, Celi P, Fahri FT, Celi P, Dunshea FR (2014b). Dietary antioxidants at supranutritional doses modulate skeletal muscle heat shock protein and inflammatory gene expression in sheep exposed to heat stress. *Journal of Animal Science* 92: 4897-4908. <https://doi.org/10.2527/jas.2014-8047>.
- Chauhan SS, Celi P, Leury BJ, Dunshea FR (2015). High dietary selenium and vitamin E supplementation ameliorates the impacts of heat load on oxidative status and acid-base balance in sheep. *Journal of Animal Science* 93: 3342-3354. <https://doi.org/10.2527/jas.2014-8731>.
- Chauhan SS, Celi P, Leury B, Liu F, Dunshea FR (2016). Exhaled breath condensate hydrogen peroxide concentration, a novel biomarker for assessment of oxidative stress in sheep during heat stress. *Animal Production Science* 56: 1105-1112. <https://doi.org/10.1071/AN14070>.
- Collier RJ, Gebremedhin KG (2015). Thermal biology of domestic animals. *Annual Review of Animal Biosciences* 3: 513-532. <https://doi.org/10.1146/annurev-animal-022114-110659>.
- Collier RJ, Baumgard LH, Zimbelman RB, Xiao Y (2019). Heat stress: Physiology of acclimation and adaptation. *Animal Frontiers* 3: 12-19. <https://doi.org/10.1093/af/vfy031>.
- Correa MPC, Cardoso MT, Castanheira M, Landim AV, Dallago BSL, Louvandini H, McManus C (2012). Heat tolerance in three genetic groups of lambs in central Brazil. *Small Ruminant Research* 104: 70-77. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2011.11.001>.

- Costantini D, Marasco V, Møler AP (2011) A meta-analysis of glucocorticoids as modulators of oxidative stress in vertebrates. *Journal of Comparative Physiology B* 181: 447-456. <http://doi.org/10.1007/s00360-011-0566-2>.
- Cunha LCM, Monteiro MLG, Lorenzo JM, Munkata PES, Muchenje V, de Carvalho FAL, Conte-Junior CA (2018). Natural antioxidants in processing and storage stability of sheep and goat meat products. *Food Research International* 111: 379-390. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.05.041>.
- de Simoni Gouveia JJ, Paiva SR, McManus CM, Caetano AR, Kijas JW, Facó O, Azevedo HC, de Araujo AM, de Souza CJH, Yamagishi MEB, Carneiro PLS, Braga RNL, Pinheiro de Oliveria SM, da Silva MVGB (2017). Genome-wide search for signatures of selection in three major Brazilian locally adapted sheep breeds. *Livestock Science* 197: 36-45. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2017.01.006>.
- Falowo AB, Fayemi PO, Muchenje V (2014). Natural antioxidants against lipid-protein oxidative deterioration in meat and meat products: A review. *Food Research International* 64: 171-181. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2014.06.022>.
- Fonseca VC, Saraiva EP, Maia ASC, Nascimento CCN, da Silva JA, Pereira WE, Filho ECP, Almeida MEV (2017). Models to predict both sensible and latent heat transfer in the respiratory tract of Morada Nova sheep under semiarid tropical environment. *International Journal of Biometeorology* 61: 777-784. <https://doi.org/10.1007/s00484-016-1255-3>.
- Hahn GL (1999). Dynamic responses of cattle to thermal heat loads. *Journal of Animal Science* 77: 10-20. https://doi.org/10.2527/1997.77suppl_210x.
- Henry BK, Eckard RJ, Beauchemin KA (2018). Review: Adaptation of ruminant livestock production systems to climate changes. *Animal* 12: s445-s456. <https://doi.org/10.1017/S1751731118001301>.
- Indu S, Sejian V, Naqvi SMK (2015). Impact of simulated semiarid tropical environmental conditions on growth, physiological adaptability, blood metabolites and endocrine responses in Malpura ewes. *Animal Production Science* 55: 766-776. <https://doi.org/10.1071/AN14085>.
- Jiang Z, Wan Y, Li P, Xue Y, Cui W, Chen Q, Chen J, Wang F, Mao D (2019). Effect of curcumin supplement in summer diet on blood metabolites, antioxidant status, immune response and testicular gene expression in Hu sheep. *Animals* 9: 720. <https://doi.org/10.3390/ani9100720>.
- Kim ES, Elbeltagy AR, Aboul-Naga AM, Rischkowsky B, Sayre B, Mwacharo JM, Rothschild MF (2016). Multiple genomic signatures of selection in goats and sheep indigenous to a hot arid environment. *Heredity* 116: 255-264. <https://doi.org/10.1038/hdy.2015.94>.
- Kubik RM, Tietze SM, Schmidt TB, Yates DT, Petersen JL (2018). Investigation of the skeletal muscle transcriptome in lambs fed β adrenergic agonists and subjected to heat stress for 21 d. *Translational Animal Science* 2: s53-s56. <https://doi.org/10.1093/tas/txy053>.
- Li Y, Kong L, Deng M, Lian Z, Han Y, Sun B, Guo Y, Liu G, Liu D (2019). Heat stress-responsive transcriptome analysis in the liver tissue of Hu sheep. *Genes* 10: 395. <https://doi.org/10.3390/genes10050395>.
- Liu H, Li K, Mingbin L, Zhao J, Xiong B (2016). Effects of chestnut tannins on the meat quality, welfare, and antioxidant status of heat-stressed lambs. *Meat Science* 116: 236-242. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.02.024>.
- Macías-Cruz U, López-Baca MA, Vicente R, Mejía A, Álvarez FD, Correa-Calderón A, Meza-Herrera CA, Mellado M, Guerra-Liera JE, Avendaño-Reyes L (2016). Effects of seasonal ambient heat stress (spring vs. summer) on physiological and metabolic variables in hair sheep located in an arid region. *International Journal of Biometeorology* 60: 1279-1286. <https://doi.org/10.1007/s00484-015-1123-6>.
- Macías-Cruz U, Correa-Calderón A, Mellado M, Meza-Herrera CA, Aréchiga CF, Avendaño-Reyes L (2018a). Thermoregulatory response to outdoor heat stress of hair sheep females at different physiological state. *International Journal of Biometeorology* 62: 2151-2160. <https://doi.org/10.1007/s00484-018-1615-2>.

- Macías-Cruz U, Gastélum MA, Avendaño-Reyes A, Correa-Claderon A, Mellado M, Chay-Canul A, Arehiga AF (2018b). Variations in the thermoregulatory responses hair ewes during the summer months in a desert climate. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 9: 738-753. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v9i4.4527>.
- Macías-cruz U, Saavedra R, Correa-Calderón A, Mellado M, Torrentera NG, Chay-Canul A, López-Baca MA, Avendaño-Reyes L (2020). Feedlot growth, carcass characteristics and meat quality of hair breed male lambs exposed to seasonal heat stress (winter vs. summer) in an arid climate. *Meat Science* 169: 108202. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108202>.
- Mahjoubi E, Amanlou H, Mirzaei-Alamouti HR, Aghaziarati N, Hossein Yazdi M, Noori GR, Yuan K, Baumgard LH (2014). The effect of cyclical and mild heat stress on productivity and metabolism in Afshari lambs. *Journal of Animal Science* 92: 1007-1014. <https://doi.org/10.2527/jas.2013-7153>.
- Mahjoubi E, Hossein Yazdi M, Aghaziarati N, Noori GR, Afsarian O, Baumgard LH (2015). The effect of cyclical and severe heat stress on growth performance and metabolism in Afshari lambs. *Journal of Animal Science* 93: 1632-1640. <https://doi.org/10.2527/jas.2014-8641>.
- Marai IFM, El-Darawany AA, Fadiel A, Abdel-Hafez MAM (2007). Physiological traits as affected by heat stress in sheep –A review. *Small Ruminant Research* 71: 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2006.10.003>.
- McManus C, Louvandini H, Gugel R, Sasaki LCB, Bianchini E, Bernal FEM, Paiva SP, Paim TP (2011). Skin and coat traits in sheep in Brazil and their relation with heat tolerance. *Tropical Animal Health and Production* 43: 121-126. <https://doi.org/10.1007/s11250-010-9663-6>.
- Misztal I (2017). Breeding and genetics symposium: Resilience and lessons from studies in genetics of heat stress. *Journal of Animal Science* 95(4): 1780-1787. <https://doi.org/10.2527/jas.2016.0953>
- Morgado AA, Nunes GR, Villas Bôas BR, Carvalho PBJ, Rodrigues PHM, Susin I, Sucupira MCA, Pereira ASC (2018). Meat quality of lambs supplemented with intramuscular vitamin E. *Pesquisa Veterinária Brasileira* 38: 679-684. <https://doi.org/10.1590/1678-5150-pvb-5128>.
- Neves MLMW, De Azevedo M, Da Costa LAB, Guim A, Leite AM, Chagas JC (2009). Níveis críticos do índice de conforto térmico para ovinos da raça Santa Inês criados a pasto no agreste do Estado de Pernambuco. *Acta Scientiarum – Animal Sciences* 31: 167-175. <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v31i2.3766>.
- Nicolás-López P (2019). Efecto de época del año (verano vs. invierno) en variables fisiológicas y metabólicas de corderos en engorda en una región árida. Tesis de Maestría. Mexicali, Baja California: Universidad Autónoma de Baja California.
- Nicolás-López P, Macías-Cruz U, Mellado M, Correa-Calderón A, Meza-Herrera CA, Avendaño-Reyes L (2021). Growth performance and changes in physiological, metabolic and hematological parameters due to outdoor heat stress in hair breed male lambs finished in feedlot. *International Journal of Biometeorology* 1-9. <https://doi.org/10.1007/s00484-021-02116-x>
- Pantoja MHA, Esteves SN, Jacinto MAC, Pezzone JM, Paz CCP, Silva JAR, Lourenco JBJ, Brandao FZ, Moura ABB, Romanello N, Botta D, Garcia AR (2017). Thermoregulation of male sheep of indigenous or exotic breeds in a tropical environment. *Journal of Thermal Biology* 69: 302-310. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2017.09.002>.
- Piccione G, Messina V, Vazzana I, Dara S, Giannetto C, Assenza A (2012). Seasonal variations of some serum electrolyte concentrations in sheep and goats. *Comparative Clinical Pathology* 21: 911-915. <https://doi.org/10.1007/s00580-011-1198-3>.
- Rathwa SD, Vasava AA, Pathan MM, Madhira SP, Patel YG, Pande AM (2017). Effect of season on physiological, biochemical, hormonal, and oxidative stress parameters of indigenous sheep. *Veterinary World* 10: 650-654. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2017.650-654>.
- Romero RD, Montero Pardo A, Montaldo HH, Rodríguez D, Hernández Cerón J (2013). Differences in body temperature, cell viability, and

- HSP-70 concentrations between Pelibuey and Suffolk sheep under heat stress. *Tropical Animal Health and Production* 45: 1691-1696. <https://doi.org/10.1007/s11250-013-0416-1>.
- Ross TT, Goode L, Linnerud AC (1985). Effects of high ambient temperature on respiration rate, rectal temperature, fetal development and thyroid gland activity in tropical and temperate breeds of sheep. *Theriogenology* 24: 259-269. [https://doi.org/10.1016/0093-691X\(85\)90190-6](https://doi.org/10.1016/0093-691X(85)90190-6).
- Rout PK, Kaushik R, Ramachandran N (2016). Differential expression pattern of heat shock protein 70 gene in tissues and heat stress phenotypes in goats during peak heat stress period. *Cell Stress and Chaperones* 21: 645-651. <https://doi.org/10.1007/s12192-016-0689-1>
- Salami SA, Guinguina A, Agboola JO, Omede AA, Agbonlahor EM, Tayyab U (2016). *In vivo* and *postmortem* effects of feed antioxidants in livestock: a review of the implications on authorization of antioxidant feed additives. *Animal* 10: 1375-1390. <https://doi.org/10.1017/S1751731115002967>.
- Santos JRS, Souza BB, Souza WH, Cesar MF, Tavares GP (2006). Physiologic responses and thermal variation of Santa Inês, Morada Nova sheep and their crossbreed with Dorper breed to the semi-arid northeastern of Brazil. *Ciência e Agrotecnologia* 30: 995-1001. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542006000500025>.
- Sejian V, Singh AK, Sahoo A, Naqvi SMK (2014). Effect of mineral mixture and antioxidant supplementation on growth, reproductive performance and adaptive capability of Malpura ewes subjected to heat stress. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* 98: 72-83. <https://doi.org/10.1111/jpn.12037>.
- Sejian V, Bhatta R, Gaughan J, Malik PK, Naqvi SMK, Lal R (2017). Adapting Sheep Production to Climate Change. En: *Sheep Production Adapting to Climate Change* (Ed. Sejian V, Bhatta R, Gaughan J, Malik PK, Naqvi SMK, Lal R) pp. 1-29. Springer Nature. https://doi.org/10.1007/978-981-10-4714-5_1.
- Sejian V, Bagath M, Krishnan G, Rashamol VP, Pragna P, Devaraj C, Bhatta R (2019). Genes for resilience to heat stress in small ruminants: A review. *Small Ruminant Research* 173: 42-53. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2019.02.009>.
- Shakirullah QMS, Akhtar S, Khan RU (2017). The effect of vitamin E and selenium on physiological, hormonal and antioxidant status of Damani and Balkhi sheep submitted to heat stress. *Applied Biological Chemistry* 60: 585-590. <https://doi.org/10.1007/s13765-017-0313-9>.
- Singh KM, Singh S, Ganguly I, Nachiappan RK, Ganguly A, Venkataramanan R, Chopra A, Narula HK (2017). Association of heat stress protein 90 and 70 gene polymorphism with adaptability traits in Indian sheep (*Ovis aries*). *Cell Stress and Chaperones* 22: 675-684. <https://doi.org/10.1007/s12192-017-0770-4>.
- Valadez-García K (2019). Adición dietaria de ácido ferúlico en corderos de pelo estresados por calor: termorregulación, crecimiento, metabolismo y estrés oxidativo. Tesis de Maestría. Mexicali, Baja California: Universidad Autónoma de Baja California.
- Valadez-García KM, Avendaño-Reyes L, Díaz-Molina R, Mellado M, Meza-Herrera CA, Correa-Calderón A, Macías-Cruz U (2021). Free ferulic acid supplementation of heat-stressed hair ewe lambs: Oxidative status, feedlot performance, carcass traits and meat quality. *Meat Science* 173: 108395. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108395>
- Wang Y, Meng Z, Guo J, Wang W, Duan Y, Hao X, Wang R, An X, Qi J (2019). Effect of wheat bran feruloyl oligosaccharides on the performance, blood metabolites, antioxidant status and rumen fermentation of lambs. *Small Ruminant Research* 175: 65-71. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2019.04.006>.
- Zhang M, Dunshea FR, Warner RD, DiGiacomo K, Osei-Amponsah R, Chauhan SS (2020). Impacts of heat stress on meat quality and strategies for amelioration: a review. *International Journal of Biometeorology* 64: 1613-1628. <https://doi.org/10.1007/s00484-020-01929-6>.

(Aceptado para publicación el 1 de febrero de 2021)

Perfil sensorial de la carne de vacuno de la raza Retinta procedente de dos sistemas de producción durante la maduración

Sol Zamuz¹, Susana García-Torres², María Cabeza de Vaca², David Tejerina², Alberto Ortiz², Mamen Oliván^{3,4}, Miguel A. Sentandreu⁵, María López-Pedrouso⁶, Laura Purriños¹, José M. Lorenzo¹ y Daniel Franco^{1,*}

¹ Centro Tecnológico de la Carne de Galicia, Av. de Galicia n.º 4, Parque Tecnológico de Galicia, San Cibrao das Viñas, Ourense, España

² CICYTEX (Centro de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de Extremadura), Junta de Extremadura, Ctra. A-V, Km 372, 06187 Guadajira, España

³ Servicio Regional de Investigación y Desarrollo Agroalimentario (SERIDA), AS-267 PK 19, 33300 Villaviciosa, España

⁴ ISPA, Avda Roma s/n, 33011 Oviedo, España

⁵ Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos (CSIC), Avenida Agustín Escardino, 7, Paterna, 46980 Valencia, España

⁶ Departamento de Zoología, Genética y Antropología Física, Universidad de Santiago de Compostela, 15872 Santiago de Compostela, España

Resumen

El creciente interés de los consumidores por productos de calidad diferenciada, no sólo en cuanto a la calidad sensorial y nutricional, sino también en función de parámetros como el bienestar animal, el origen del producto y el sistema de producción, hace necesario reevaluar la importancia de las razas autóctonas criadas en sistemas de tipo extensivo que se caracterizan por ser más sostenibles y donde los niveles de bienestar suelen ser mayores. Además, sin dejar de lado los aspectos sensoriales, es bien conocido que la maduración es uno de los principales factores que influyen en la calidad final de la carne de vacuno. Por tanto, el objetivo de este trabajo fue estudiar el comportamiento de los atributos organolépticos de la carne de la raza autóctona Retinta proveniente de dos sistemas de producción (intensivo y extensivo) en dos momentos del proceso de maduración (7 días y 14 días) y la valoración de los consumidores por este tipo de carne. Los resultados mostraron que el sistema de producción en extensivo mejoró los parámetros de calidad (terneza, jugosidad y la untuosidad) de la carne de vacuno. Los parámetros de textura fueron los primeros en cambiar durante los primeros días de maduración. En cuanto al estudio hedónico, no hubo una preferencia y/o aceptabilidad clara por alguna de las muestras, lo que podría indicar que, para el consumidor, los sistemas de producción no dan lugar a una calidad diferen-

* Autor para correspondencia: danielfranco@ceteca.net

Cita del artículo: Zamuz S, García-Torres S, Cabeza de Vaca M, Tejerina D, Ortiz A, Oliván M, Sentandreu MA, López-Pedrouso M, Purriños L, Lorenzo JM, Franco D (2021). Perfil sensorial de la carne de vacuno de la raza Retinta procedente de dos sistemas de producción durante la maduración. ITEA-Información Técnica Económica Agraria 117(5): 513-531. <https://doi.org/10.12706/itea.2021.006>

ciada a nivel organoléptico, siendo necesario promover un mayor conocimiento acerca de los atributos organolépticos que deben ser considerados en el consumo de carne de vacuno de calidad, para que el sistema de producción pueda ser tenido en cuenta por el consumidor en la decisión de compra.

Palabras clave: Intensivo, extensivo, parámetros de textura, análisis sensorial, análisis consumidores.

Sensory profile of beef meat of Retinta breed from two livestock production system during ageing

Abstract

The growing consumers' interest in quality differentiated products, not only in terms of sensory and nutritional quality but also in terms of parameters such as animal welfare, product origin and production system, makes necessary to research the importance of autochthonous breeds, raised in more sustainable extensive systems, where welfare levels are often high. Additionally, it is well known that ageing is one of the main factors that has influence in the final quality of beef meat. Therefore, this work aimed to study the sensorial profile of organoleptic attributes of Retinta autochthonous breed from two livestock production systems (intensive and extensive) at 7 days and 14 days of ageing. Moreover, a consumer's assessment was also carried out. Findings showed that the extensive production system improved the quality parameters (tenderness, juiciness and oiliness) of beef meat. The texture parameters were the first to change during the first days of ageing. Regarding the hedonic study, the consumers did not show a clear preference and/or acceptance for any sample, which could indicate that the production systems did not result in a differentiated quality at the organoleptic level by the consumers. It is necessary to promote higher knowledge about the organoleptic attributes which must be considered in the consumption of quality beef, so that the production system can be taken into account in the purchase decision by the consumers.

Keywords: Intensive, extensive, textural parameters, sensorial analysis, consumer analysis.

Introducción

Según datos del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA, 2019), el sector de carne de vacuno en España representa el 17,5 % de la Producción Final Ganadera y el 6,3 % de la Producción Final Agraria. En los últimos años, la producción de carne de vacuno ecológica y amparada por denominaciones de calidad se ha incrementado de manera notable, ya que los consumidores buscan productos de calidad diferenciada tanto desde el punto de vista nutricional y sensorial como desde el punto de vista de bienestar animal, producción más sostenible y origen de la carne.

La explotación de las razas autóctonas, que poseen características diferentes tanto a nivel productivo como a nivel de productos con respecto a las razas foráneas, en sistemas

de cría menos intensivos está siendo fuertemente promovidas por la Política Agrícola Común (PAC). Según el Catálogo Oficial de Razas de Ganado de España (Anexo I de BOE, 2019), en España hay 40 razas autóctonas de ganado bovino, de las cuales 32 están en peligro de extinción y 8 (Asturiana de los Valles, Avileña-Negra Ibérica, Lidia, Morucha, Parda de la Montaña, Pirenaica, Retinta y Rubia Gallega) se consideran Razas Autóctonas de Fomento, que son aquellas que se han originado en España y que por su censo y organización se encuentran en expansión (MAPA, 2019). La raza Retinta forma parte de este grupo y aquellas medidas de la PAC encaminadas a potenciar una ganadería menos intensiva, el empleo de prácticas de producción que disminuyan los efectos contaminantes, la conservación de pastos y dehesas para evitar

su abandono suponen un fuerte impulso en la comercialización de esta raza. Además de la influencia de los sistemas productivos la componente genética también influye en la calidad de la carne (Ruíz et al., 2006).

Según la Asociación Nacional de Criadores de Ganado Vacuno Selecto Retinto (ACRE), la raza Retinta constituye la principal raza bovina autóctona de la España seca y se distribuye por la mitad sur de la Península Ibérica, siendo Andalucía y Extremadura las principales áreas de distribución, con más del 90 % del censo animal. Tiene una gran capacidad de adaptación a zonas secas y áridas, y el sistema de cría más habitual es en extensivo. Se trata de una raza de aptitud cárnica, y la comercialización de la carne está certificada por la marca de calidad "Carne de Retinto".

Para que la carne de vacuno adquiera las características óptimas de calidad, ésta no debe consumirse recién sacrificado el animal, sino que tiene que ser sometida a un periodo de maduración durante el cual se van a producir cambios en sus características organolépticas (textura, sabor y aroma) que conllevan modificaciones en su calidad final (Oliván et al., 2013). De estos atributos, la textura y en particular la terneza y la jugosidad quizás sean los más importantes en carne bovina. Sin embargo, son difíciles de predecir al estar muy influenciadas por factores inherentes al animal, como su constitución genética, sexo, raza, peso del animal, el manejo y la alimentación, y también por el manejo pre-sacrificio y posterior manipulación *postmortem* de las canales en matadero (Huff-Lonergan et al., 1996; Koohmaraie, 1996). En muchas auditorías de calidad de carne vacuna de diferentes países siempre se concluye que la pérdida de valor de los productos cárnicos se debe a las altas variabilidades encontradas en la calidad y en concreto, en la terneza. Este hecho, es consecuencia de una gran variedad de factores –tanto intrínsecos como extrínsecos– que la afectan y donde no siempre se conoce el peso de los mismos, ni cómo actúan.

En definitiva esta es todavía una problemática no resuelta, como lo demuestra la numerosa bibliografía publicada en carne de vacuno en los últimos años (Christensen et al., 2011; Oliván et al., 2013; Steinhauserová et al., 2013; Gomes et al., 2014; Zamuz et al., 2018). Actualmente, se conoce que la maduración de la carne a temperatura de refrigeración es sin duda un eficaz método para disminuir la dureza de la carne, al igual que el proceso de maduración en condiciones refrigeradas conlleva un elevado coste en energía eléctrica (Brunner et al., 2014).

Dentro del análisis sensorial, los estudios de perfiles sensoriales basados en el análisis descriptivo cuantitativo (QDA) son de los métodos más completos y más sofisticados usados para la caracterización sensorial ya que proporciona una descripción completa de las propiedades organolépticas (Gomes et al., 2014). Este tipo de análisis se complementan con estudios de consumidores de aceptabilidad y preferencia.

Por lo tanto, con la finalidad de seguir avanzando en el estudio de la calidad sensorial de la carne de vacuno y teniendo en cuenta que la demanda de carnes de calidad tipo "Premium" o "Superior" en razas autóctonas es cada vez mayor, se estudió el perfil sensorial en carne de terneros de raza Retinta criados en dos sistemas de producción (intensivo y extensivo) y madurada en dos tiempos (7 días y 14 días). Además, se llevó a cabo un estudio hedónico para conocer la aceptabilidad y preferencia de los consumidores extremeños por este tipo de carne.

Material y métodos

Animales y selección de muestras

Se utilizaron un total de 22 animales de la raza autóctona Retinta (RE) procedentes de Extremadura criados con dos sistemas de ma-

nejo diferentes: extensivo (Ex) e intensivo (In) en la Finca Valdesequera perteneciente al Centro de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de Extremadura (CICYTEX). Todos los terneros fueron destetados con un peso aproximado de 220 kg, momento en el que se separaron. El grupo Ex, compuesto por 12 terneros, dispuso de una parcela con pasto natural, base de su alimentación, y estuvo suplementado con pienso de engorde a razón de 4 kg/animal/día. El grupo In, compuesto por 10 terneros, consumió una media de 7 kg/animal/día de concentrado que fue la base de su alimentación y fue mantenido en corral durante toda la fase de acabado. Los terneros, todos machos, fueron sacrificados con 15 meses de edad, que es la media de edad en la que los terneros Retintos alcanzan su peso vivo comercial de 550-580 kg. Fueron trasladados al matadero en camión, tratando de minimizar en lo posible el estrés pre-sacrificio. El grupo extensivo mostró valores medios de $561,5 \pm 26,9$ kg de peso vivo y $313,7 \pm 15,0$ kg de peso canal, mientras el grupo intensivo se caracterizó por valores medios de $560,2 \pm 52,7$ kg de peso vivo y $316,6 \pm 33,4$ kg de peso canal. Los terneros fueron sacrificados con pistola de perno cautivo de acuerdo a la normativa europea (DOCE, 1993) en mataderos acreditados. Las canales fueron enfriadas durante 24 h en cámara de refrigeración a 2 °C (humedad relativa 98 %). Se extrajo el músculo *Longissimus thoracis et lumborum* (LTL) de la canal izquierda de cada uno de los terneros entre la quinta y la décima costilla y se cortó en seis filetes. El primer filete se utilizó para determinar el pH, color y pérdidas de agua por goteo. El segundo para evaluar la oxidación lipídica y los cuatro siguientes (de 3,5 cm de grosor) se emplearon para la determinación de la textura instrumental mediante la prueba de Warner–Bratzler (3^{er} y 4^o filete) y para el análisis sensorial (5^o y 6^o filete). Para la determinación de la oxidación lipídica, textura y análisis sensorial a los 7 días y 14 días, los file-

tes se envasaron sobre una bandeja de porepan 1825-65, recubierta de film plástica retráctil de polipropileno y permeable al oxígeno ($1.200 \text{ cm}^3/(\text{m}^2\cdot\text{día})$), a 23 °C y 0 % de humedad relativa y se maduraron en condiciones refrigeradas (4 °C). Después del tiempo de maduración estipulado (7 días y 14 días) los filetes para análisis de textura y sensorial fueron congelados y almacenados a -20 °C hasta su correspondiente análisis, mientras que los de oxidación lipídica se mantuvieron congelados en -80 °C hasta su análisis (máximo de 7 días).

Determinaciones fisicoquímicas

A las 24 h *postmortem* el pH fue medido en el LTL a la altura de la sexta costilla con un pH-metro portátil provisto de electrodo de penetración (InLab Solids Go-ISM, Mettler-Toledo S.A.E., Barcelona, España). El color en el espacio CIELAB se midió con un colorímetro portátil (Minolta CM-2300d, Madrid, España). Los resultados después de una hora de oxigenación (t_{60}) fueron expresados como luminosidad (L^*), índice rojo (a^*), índice amarillo (b^*), Chroma o cromaticidad (C^*) y tono (h^*) utilizando iluminante D65 y observador de 10 °. Se tomaron un total de tres medidas sobre el filete y se calculó la media de cada uno de los parámetros de color. Los parámetros de Chroma y tono se calcularon de acuerdo con las siguientes expresiones:

Chroma = $\sqrt[2]{(a^{*2} + b^{*2})}$ y tono ($^\circ$) = $\tan^{-1}(b^*/a^*)$. La capacidad de retención de agua, expresada como pérdidas por goteo (% de exudado) se determinó por duplicado sobre 50 g de muestra de carne fresca a las 24 h *postmortem* que se colocaron en un recipiente adecuado (Meat juice collector, Sarstedt, Alemania), siguiendo la metodología de Honikel (1998).

El test de determinación de fuerza máxima de corte con la sonda Warner–Bratzler (WB) se realizó sobre muestras de carne cocidas en

baño de agua a 100 °C. La cocción terminó cuando las muestras llegaron a una temperatura interna de 70 °C. Después de enfriarse se tomaron 8 trozos de 1 cm² y se cortaron en dirección perpendicular a las fibras con una sonda tipo WB acoplada a un texturómetro (TA.XT Plus, Stable Micro Systems, Londres, UK). La carga máxima de corte necesaria para cortar en su totalidad la muestra fue expresada en N/cm². La oxidación lipídica se determinó siguiendo el método de Salih *et al.* (1987), sobre las muestras congeladas a -80 °C tras los periodos de maduración establecidos. Para ello, las muestras fueron descongeladas a 4 °C desde el día anterior y se tomaron 2,5 g de cada muestra, fueron homogeneizadas con una homogeneizadora digital ULTRA-TURRAX T 25 (IKA-Werke GmbH & Co. KG, Staufen, Alemania) a 16.000 rpm con 7,5 mL de ácido perclórico (3,86 %) y 0,25 mL de butilhidroxitolueno (BHT; 4,2 % en solución de etanol). Posteriormente fueron filtradas con un papel de filtro de flujo rápido (90 mm de diámetro y 100pk⁻¹) y el filtrado se centrifugó a 2000 rpm durante 2 min. El sobrenadante se recogió en un Erlenmeyer de 10 mL y se diluyó con 3,86 % de ácido perclórico, se tomó una alícuota de 2 ml del sobrenadante y se mezcló con 2 mL de ácido tiobarbitúrico (TBA) (0,02 M) en agua destilada. En tubos se mantuvieron en un baño de agua caliente a 90 °C durante 30 min y posteriormente fueron enfriados bajo el agua del grifo durante 10 min. Se midió la absorbancia de las muestras a 532 nm con un espectrofotómetro (Cary 60 UV-Vis-NIR, Agilent). Los valores de las sustancias reactivas del ácido tiobarbitúrico (TBARS) se calcularon a partir de la curva estándar (1,1,3,3-tetraetoxipropano en el 1 x 10⁸ a un rango de 8 x 10⁸ M) y se expresaron como mg malonaldehído /kg carne.

Análisis sensorial: análisis descriptivo cuantitativo y estudio hedónico

La evaluación sensorial se llevó a cabo sobre filetes del LTL, que fueron cocinados en un horno de convección a 180 °C hasta alcanzar una temperatura interna de 70 °C. Cada filete fue cortado en trozos de 1,5 cm x 1,5 cm y cada muestra fue envuelta en papel de aluminio y codificada con un número de 3 dígitos elegido aleatoriamente (Macfie *et al.*, 1989).

Se hizo un análisis descriptivo cuantitativo (QDA) con un panel de cata formado por 5 miembros entrenados pertenecientes a la plantilla de trabajadores del Centro Tecnológico de la Carne de Galicia (CTC) que valoraron los atributos relacionados con el olor y el flavor (olor a vacuno, olor a grasa, flavor a vacuno, flavor a grasa, flavor a hígado y flavor ácido) y la textura (terneza, jugosidad, untuosidad, fibrosidad y arenosidad), en una escala lineal estructurada de 10 puntos, donde 0 representa la ausencia o intensidad mínima del atributo y 10 su presencia o intensidad máxima.

Se realizaron 6 sesiones que se llevaron a cabo en el Laboratorio de Análisis Sensorial del CTC equipado con cabinas individuales siguiendo el Reglamento UNE-EN ISO 8589:2010/A1: 2014 y bajo luz roja.

El análisis hedónico se llevó a cabo en el CICYTEX con 75 consumidores de diferentes municipios de la Comunidad Autónoma de Extremadura al ser una de las principales áreas de producción de carne de vacuno de la raza Retinta. Las características sociodemográficas de los consumidores se muestran en la Tabla 1.

El estudio de preferencia se realizó mediante un test de ordenación UNE-ISO 8587:2010/Amd 1:2017 que se basa en pedirle a los consumidores participantes que ordenen las muestras bajo estudio en función de su preferencia para la valoración global de las muestras, de

Tabla 1. Caracterización socio-demográfica de los consumidores (n = 75) que realizaron el estudio hedónico.
 Table 1. Socio-demographic characterization of consumers (n = 75) who carry out hedonic study.

	Segmentación	Porcentaje (%)
Sexo	Mujer	57
	Hombre	43
Edad (años)	19-35	27
	36-50	39
	51-65	35
Nivel de estudios	Enseñanza Secundaria Obligatoria (ESO)	5
	Bachillerato	12
	Formación Profesional (FP)	11
	Estudios Universitarios	72
Nivel de ingresos (€/mes)	Menos de 1500	41
	1500-2500	47
	Más de 2500	12
Consumidor habitual de carne de ternera	Sí	61
	No	39

modo que adjudiquen la puntuación de 1 cuando la muestra resulta la más preferida y 4 a la menos preferida. Para la aceptabilidad global se realizó un test de aceptabilidad utilizando una escala hedónica de 9 puntos (1 = me disgusta muchísimo; 9 = me gusta muchísimo) siguiendo la metodología propuesta por Lago *et al.* (2017). La evaluación hedónica se llevó a cabo en una única sesión utilizando una única ficha de cata en la que a los consumidores se les preguntó por la preferencia y por la aceptabilidad.

Tanto al panel entrenado como a los consumidores se le presentaron todas las muestras en diferente orden para evitar el "efecto carry over", siguiendo un diseño experimental en bloques completos equilibrados y al inicio de la sesión y entre muestras se usó agua y pan tostado sin sal para limpiar el paladar.

Análisis estadístico

Las diferencias en los parámetros fisicoquímicos fueron examinadas mediante un análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de significación de $\alpha = 0,05$ y se calculó la Mínima Diferencia Significativa (MDS) mediante el test de Duncan. Para estudiar si había diferencias en los atributos organolépticos de los perfiles sensoriales obtenidos de las puntuaciones del QDA se llevó a cabo un ANOVA de dos vías; el modelo elegido fue aquel que considera tanto las sesiones como los cataadores como factores fijos y que tiene en cuenta la interacción producto/juez y se consideró un valor p -umbral = 0,1 para filtrar los atributos no discriminantes. También se llevó a cabo un ANOVA de dos vías para estudiar las interacciones entre la preferencia y los segmentos de consumidores. Los datos ob-

tenidos de la prueba de ordenación fueron analizados mediante el test de Friedman asumiendo como factores fijos e independientes las muestras y los consumidores. Para determinar cuáles fueron los tratamientos diferentes significativamente se calculó la MDS para un riesgo asumido ($\alpha = 0,05$). Finalmente, se creó un mapa de preferencia externo (PREFMAP) basado en el Análisis de Componentes Principales (ACP) para relacionar la aceptabilidad global de las muestras con sus atributos organolépticos y establecer un mapa de calidad sensorial desde el punto de vista de los consumidores (Zamuz et al., 2019). Los datos fueron analizados utilizando el software XLSTAT 2018.5.52745.

Resultados y discusión

Características fisicoquímicas

En la Tabla 2 se muestran los parámetros fisicoquímicos de las muestras de carne de Retinta en los dos sistemas de producción estudiados. No se observaron diferencias significativas ($p > 0,05$) para el pH, pérdidas por goteo ni para los parámetros relacionados con el color. El intervalo de valores de pH (5,42-5,63) y pérdidas por goteo (0,95-2,45 %) estuvieron dentro de los rangos normales para la raza Retinta y coinciden con los encontrados por Panea et al. (2016). En cuanto a los parámetros del color, la carne de la raza Retinta

Tabla 2. Valores medio de los parámetros fisicoquímicas de las muestras de carne de Retinta obtenidas a partir de los dos sistemas de producción ensayados en este estudio.

Table 2. Mean values of physico-chemical parameters for Retinta meat samples from two livestock production tested systems in this study.

		RE-In	RE-Ex	SEM	Sig.
0 días	pH	5,60	5,56	0,02	ns
	CRA por goteo (%)	1,71	1,83	0,08	ns
	L* _{t60}	39,66	37,13	0,86	ns
	a* _{t60}	20,67	20,74	0,58	ns
	b* _{t60}	10,37	9,92	0,45	ns
	C* _{t60}	23,31	23,00	0,70	ns
	h* _{t60}	26,13	25,37	0,44	ns
WB (N/cm ²)	7 días	99,91	115,71	0,59	ns
	14 días	93,35	106,75	0,55	ns
		ns	ns		
TBARs (mg MDA/kg carne)	7 días	0,14	0,18	0,03	ns
	14 días	0,18	0,52	0,08	*
		ns	*		

RE-In: Retinta criada en intensivo; RE-Ex: Retinta criada en extensivo; CRA: capacidad de retención de agua; WB: Warner-Bratzler; TBARs: sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico; SEM: error estándar muestral; Sig.: Significación.

sacrificada a los 15 meses es considerada como carne roja según la clasificación dada por Albertí et al. (2016) para la carne de vacuno comercial, como se puede comprobar al poseer ambos grupos (extensivo e intensivo) valores del índice de rojo (a^*) por encima de 20. Si bien es cierto que los sistemas de producción basados en diferente tipo de acabado juegan un papel importante en la diferenciación del color de la carne como han comprobado algunos autores en vacuno (Realini et al., 2004; Juniper et al., 2005; Vestergaard et al., 2007; Dunne et al., 2009; Franco et al., 2009) en el presente trabajo no se encontraron estas diferencias. Una posible explicación a la no diferencia en características fisicoquímicas podría atribuirse a que los terneros empleados provienen de un centro experimental donde la proximidad genética es elevada, después de muchos años de selección del genotipo Retinto, así como que la intensidad del acabado pudo no ser suficiente para manifestar estas diferencias en color y terneza. Sin embargo, en un estudio previo con razas autóctonas (Asturiana de los Valles, Retinta y Rubia Gallega) se encontraron resultados parcialmente coherentes con los del presente estudio, pues se comprobó que el sistema de producción afectó a los parámetros índice de rojo, chroma y tono, pero no a la luminosidad e índice de amarillo. Así mismo, en ese estudio los parámetros pH, pérdidas por goteo y dureza instrumental tampoco fueron afectados por el sistema de producción (López-Pedrouso et al., 2020).

Durante la maduración de la carne la textura es uno de los parámetros que mayor modificación sufre debido a la acción de las enzimas sobre la estructura miofibrilar (Koohmaraie, 1996; Oliván et al., 2013), lo cual es determinante para su calidad. La disminución de la dureza instrumental al aumentar el tiempo de maduración de 7 días a 14 días (Tabla 2) concuerda con los resultados obtenidos por otros autores (López-Gajardo, 2018; Oliván et al., 2013; Panea et al., 2016), aunque en este

estudio esta disminución no fue significativa ($p > 0,05$). No se encontraron diferencias significativas ($p > 0,05$) a los 7 días ni a los 14 días de maduración entre la carne de los terneros criados en extensivo y en intensivo. En el ganado vacuno es conocido que el sistema de explotación afecta a la terneza de la carne, concretamente Vestergaard et al. (2000), encontraron que la carne de toros jóvenes alimentados en régimen extensivo era más dura que la de animales en régimen intensivo. En estudios realizados en carne de raza Retinta, se observó que la carne producida en pastoreo fue inicialmente más dura que la de otros sistemas, aunque transcurridos 7 días de maduración, estas diferencias debidas a los sistemas de producción desaparecieron (García-Torres et al. 2020). Generalmente un acabado más intensivo disminuye los valores de la fuerza de corte instrumental como comprobaron diferentes autores en carne de vacuno mayor (Boleman et al., 1996; Franco et al., 2009). Estos autores correlacionaron el porcentaje de grasa intramuscular, elevado en este tipo de animales, con la fuerza de corte. Si bien en el presente trabajo no se encontraron diferencias significativas, los animales criados en sistema intensivo mostraron los valores más bajos numéricamente de fuerza de corte (Tabla 2). En este tipo de animal joven (ternero) el porcentaje de grasa aun no es elevado, por lo que el acabado con dieta más energética (sistema intensivo) no permite apreciar diferencias en fuerza de corte instrumental, a diferencia de los trabajos mencionados anteriormente. Resultados similares fueron encontrados por López-Pedrouso et al. (2020) para carne de terneros de raza Retinta.

En cuanto a los valores de oxidación de la grasa a los 7 días no se encontraron diferencias significativas ($p \geq 0,05$) debidas al efecto del sistema de producción, aunque sí se observaron a los 14 días ($p < 0,05$), siendo estos valores más elevados en las muestras de carne de terneros criados en extensivo. Además, se observó que el aumento en los valo-

res de oxidación lipídica de 7 días a 14 días, no fue significativo para las muestras procedentes del sistema de producción en intensivo ($p > 0,05$), pero sí para las del sistema de producción extensivo ($p < 0,05$). Los valores promedio a los siete días de 0,16 mg MDA/kg carne fueron tres veces superiores a los mostrados en un trabajo previo con raza Retinta y la diferencia radica en que en el presente estudio la carne se maduró en condiciones permeables al oxígeno, a diferencia del citado donde la maduración se realizó en vacío. Estos valores también fueron superiores a los mostrados por las razas Asturiana de los Valles y Rubia Gallega en los mismos días de maduración (López-Pedrouso et al., 2020). Valores similares fueron reportados por Realini et al. (2004) con terneros novillos de raza Hereford criados en dos sistemas (pasto vs. concentrado) y ligeramente superiores fueron indicados por Franco et al. (2012) con filetes de Rubia Gallega provenientes de diferentes dietas de acabado (0,28 mg MDA/kg carne). La evolución de la oxidación lipídica de 7 días a 14 días fue elevada en el caso de la carne procedente del sistema extensivo. Si bien, se conoce que los sistemas extensivos aportan niveles de α -tocoferol, presente en los pastos, así como de otros compuestos con capacidad antioxidante como ácido ascórbico o β -caroteno, como comprobó Descalzo et al. (2005) que deberían ayudar a controlar la oxidación lipídica, también hoy en día los concentrados que se formulan poseen niveles elevados de α -tocoferol sintético (vitamina E) para controlar el enranciamiento de los mismos, evitando pérdida de palatabilidad por parte del ganado y parte de esta vitamina se acumula en las membranas celulares favoreciendo la disminución del nivel de oxidación (Scollan et al., 2006). Desafortunadamente en el presente trabajo no se evaluó el alimento (pasto y concentrado) a nivel de estos compuestos en este estudio, para confirmar esta hipótesis. Sin embargo, podemos tomar como referencia el trabajo de Horcada et al.

(2020) donde se indicaron los niveles de α -tocoferol de la carne de Retinta producida en pastoreo y en cebo con pienso comercial (1,67 $\mu\text{g g}^{-1}$ vs. 0,82 $\mu\text{g g}^{-1}$ de carne, respectivamente), que indicaría el mayor aporte del pasto en cuanto a vitamina E. Por otra parte, también es conocido que los sistemas basados en pastoreo dan lugar a un perfil de ácidos grasos de la grasa intramuscular con mayores porcentajes de ácidos grasos poliinsaturados que son más propensos a oxidarse (Yang et al., 2002; Realini et al., 2004, Descalzo et al., 2005) lo cual podría explicar el valor elevado de TBARS. En este sentido, algunos autores (Horcada et al., 2017 y 2020) observaron un incremento de ácidos grasos poliinsaturados en terneros de raza Retinta en pastoreo frente a otros sistemas de producción, así como también constataron que el valor de α -tocoferol de la carne producida en pastoreo pudo ser insuficiente para minimizar la oxidación de los ácidos grasos poliinsaturados, especialmente del C18:3, muy abundante en la carne de terneros Retintos en pastoreo y altamente susceptible de oxidación.

De cualquier forma, los valores están lejos de alcanzar el valor de 2 mg MDA/kg carne, propuesto como umbral de detección de la rancidez en carne bovina (Campo et al., 2006).

Perfil sensorial

Los perfiles sensoriales en los dos puntos de maduración estudiados (7 días y 14 días de maduración) de las muestras de carne de raza Retinta criadas en intensivo y extensivo obtenidos a partir de los datos del QDA presentaron diferencias entre ellos. Otros autores, trabajando con otras razas han encontrado que el sistema de producción influye en las características sensoriales de la carne de vacuno (Oliván et al., 2003; Guerrero et al., 2011). A los 7 días de maduración (Figura 1) se observaron diferencias significativas

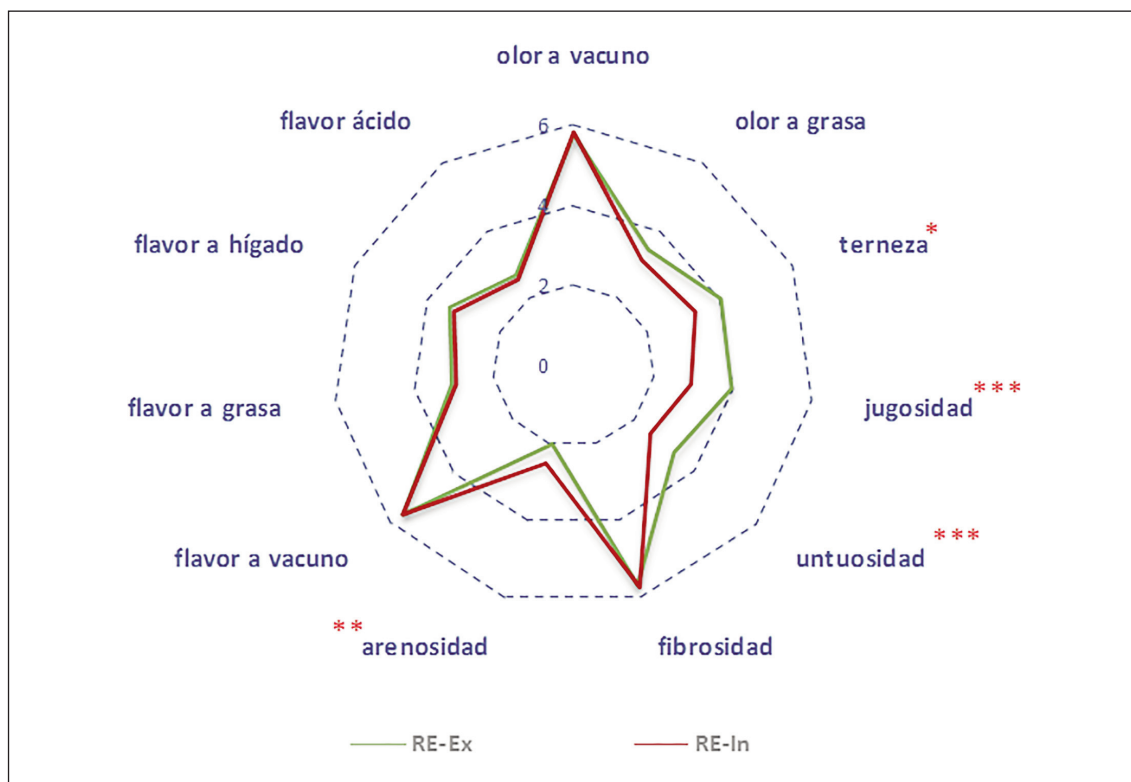


Figura 1. Perfil sensorial de la carne de raza Retinta a los 7 días de maduración procedente de animales criados en sistemas intensivo (RE-In) y extensivo (RE-Ex).

Figure 1. Sensory profile of Retinta meat at 7 days of ageing from animals raised in intensive (RE-In) and extensive systems (RE-Ex).

($p < 0,05$) en los parámetros relacionados con la textura evaluados: terneza, jugosidad, untuosidad y arenosidad, siendo las muestras de carne de terneros criados en extensivo las que presentaron valores más elevados para la terneza, jugosidad y la untuosidad, y los más bajos para la arenosidad. Por el contrario, a los 14 días de maduración (Figura 2) el único parámetro relacionado con la textura que presentó diferencias significativas ($p \leq 0,01$) fue la jugosidad, siendo más elevada en los terneros criados en extensivo. El hecho de que la textura instrumental no presentara diferencias significativas entre las muestras, pero sí se dieran en la evaluación sensorial de

sus atributos por un panel entrenado, corroboran los resultados obtenidos Ortiz-Huaccha (2017), quien observó que la textura de un alimento es demasiado compleja para ser evaluada sólo mediante propiedades físicas. Además, también se observaron diferencias significativas ($p < 0,05$) en el flavor –sensación conjunta del sabor y del aroma–, tanto en el flavor a vacuno, a hígado y ácido, presentando mayor intensidad las muestras de terneros criados en extensivo y dentro del rango de intensidades que son consideradas como favorables. Se sabe que la carne sometida a un período de maduración más prolongado proporciona un aroma más intenso y agrada-

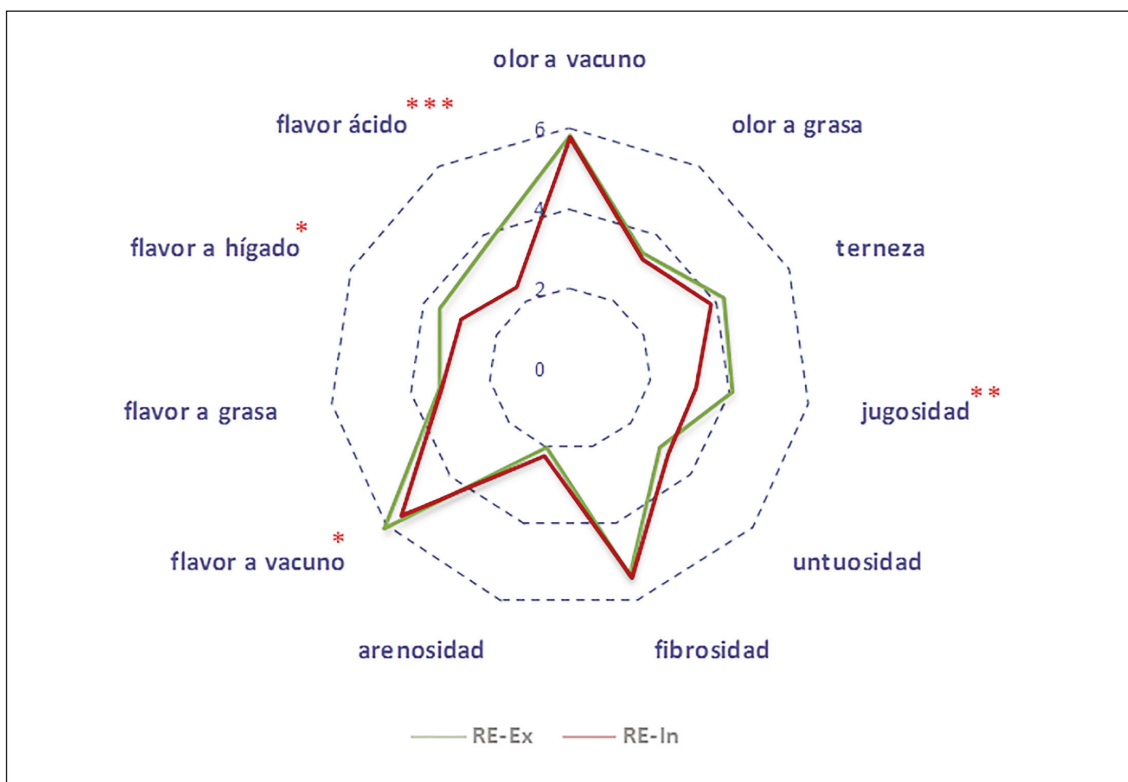


Figura 2. Perfil sensorial de la carne de raza Retinta a los 14 días de maduración procedente de animales criados en sistemas intensivo (RE-In) y extensivo (RE-Ex)

Figure 2. Sensory profile of Retinta meat at 14 days of ageing from animals raised in intensive (RE-In) and extensive systems (RE-Ex).

ble (Ruíz *et al.*, 2006). Esto es debido a que durante el proceso de maduración tienen lugar reacciones de oxidación que originan compuestos, responsables del aroma y del flavor característico de la carne (Mottram, 1998; Panea *et al.*, 2019). Las diferencias significativas en los valores de oxidación lipídica (0,18 vs. 0,52; $p < 0,05$) entre terneros criados en intensivo y extensivo pueden explicar en parte las diferencias encontradas en el flavor. El aumento de los valores de TBARS a los 14 días en la carne de terneros del sistema extensivo podría estar asociado con los aumentos significativos en el flavor a vacuno ($p < 0,05$), flavor a hígado ($p < 0,05$) y flavor

ácido ($p < 0,001$), pero no con el flavor a grasa ($p > 0,05$), como se muestran en la figura 2. Si bien numéricamente las diferencias no son tan altas, se alcanzó significancia estadística, sobre todo en el flavor ácido. Es difícil establecer un valor umbral único de TBARS que indique aspectos negativos en términos de valoración sensorial y distintos autores han establecido diferentes umbrales. Por ejemplo, Verma y Sahoo (2000) indican concentraciones entre 1 mg MDA/kg carne y 2 mg MDA/kg carne como valor límite para la percepción sensorial de la rancidez en carne de cabra. Campo *et al.* (2006) pone el límite en 2 mg MDA/kg carne para carne de vacuno

y Zhang *et al.* (2019) lo sube a 2,5 mg MDA/kg carne también para vacuno, mientras que Georgantelis *et al.* (2007) lo fija un valor más bajo, 0,6 mg MDA/kg carne en hamburguesas de ternera, si bien este valor podría ser debido a la mayor presencia de grasa en este producto transformado, con respecto a los anteriores autores que trabajaron con filetes. En cualquier caso, el valor de 0,52 mg MDA/kg carne obtenido en el presente trabajo debe considerarse como indicador de comienzo de oxidación, por lo que debería de confirmarse en futuros estudios. De ser afirmativo debe tenerse en cuenta de cara a la comercialización de carne madurada y envasada proveniente de este sistema de producción frente a la procedente del sistema intensivo.

Los cambios en la evolución del perfil sensorial del presente estudio concuerdan con los obtenidos por otros autores (White *et al.*, 2004; Christensen *et al.*, 2011) quienes mostraron como los primeros atributos que cambian durante el proceso de maduración son los relacionados con la textura y que además observaron que dicho efecto es mayor en los primeros días, mientras que a medida que avanza el proceso de maduración aquellos atributos relacionados con el aroma y sabor son los más afectados.

Estudio hedónico

Cuando se estudió la preferencia de las muestras en los distintos segmentos de consumidores, se observó (Tabla 3) que la única interacción que mostró diferencias significativas ($p < 0,05$) fue aquella entre muestra y el segmento sexo.

En la Tabla 4 se muestran las puntuaciones totales obtenidas de la prueba de ordenación para la valoración global de cada una de las muestras tanto para el conjunto de los 75 consumidores considerados como para cada uno de los segmentos que figuran en la Tabla 1. Sólo se encontraron diferencias significati-

Tabla 3. Interacción entre los resultados de preferencia y los segmentos de consumidores.

Table 3. Interactions between preference and consumers segments.

	F	Sig.
Muestra × Sexo	5,045	0,003
Muestra × Edad	1,653	0,139
Muestra × Estudios	0,456	0,901
Muestra × Renta	0,537	0,827
Muestra × Consumo	0,672	0,571

F: estadístico de prueba; Sig: Significación.

vas ($F_{\text{test}} > F_{\alpha} = 0,05$) al estudiar la preferencia en el segmento de consumidores agrupados en función del sexo; estas diferencias se observaron en el grupo de mujeres donde se pueden diferenciar dos tipos de muestras, las producidas en intensivo y maduradas durante 14 días (RE-Int14) y las producidas en extensivo y maduradas 7 días (RE-Ex7), siendo las preferidas las de las RE-Int14.

Tanto para el conjunto de consumidores sin segmentar como para los otros segmentos estudiados donde las diferencias no fueron significativas ($F_{\text{test}} < F_{\alpha} = 0,05$), en la mayoría de los casos también fueron las muestras de RE-Int14 las que obtuvieron la mejor puntuación. Estos resultados indican, por una parte, que las muestras de ternera maduradas 14 días tendieron a ser las preferidas por los consumidores (sin mostrar diferencias significativas) frente a las maduradas sólo 7 días. Por otra parte, el hecho de que los consumidores prefieran la carne procedente de sistemas de producción intensivo, fue también observado por García-Torres *et al.* (2016) y podría ser debido a que es el tipo de carne de vacuno a la que están más habituados los consumidores participantes, al ser la de mayor disponibilidad en el mercado. Lee y Yun (2015) indicaron que la percepción de las condiciones de producción de los animales da

Tabla 4. Valores de preferencia y resultados del test MDS.
 Table 4. Preference values and LSD test results.

	Muestra más preferida	Muestra menos preferida
Total de consumidores	RE-In14 (166)	RE-Ex7 (202)
Sexo		
Mujer	RE-In14 (92)	RE-Ex14 (116)
Hombre	RE-In14 (74)	RE-Ex7 (78)
Edad (años)		
19-35	RE-In14 (43)	RE-In7 (98)
36-50	RE-In14 (63)	RE-Ex14 (116)
51-65	RE-In7 (59)	RE-Ex7 (78)
Nivel de estudios		
ESO	RE-Ex14 (8)	RE-In7 (12)
Bachillerato	RE-In14 (21)	RE-Ex7 (25)
FP	RE-In14 (16)	RE-Ex7 (24)
Universitarios	RE-In14 (120)	RE-Ex14 (142)
Nivel de renta (€/mes)		
< 1500	RE-Ex14 (69)	RE-Ex7 (85)
1500-2500	RE-In14 (74)	RE-Ex7 (93)
>2500	RE-In7 (19)	RE-Ex7 (24)
Consumidor habitual de carne de ternera		
Sí	RE-In14 (102)	RE-Ex7 (119)
No	RE-In14 (64)	RE-Ex14 (75)

Muestras encima de la misma línea no presentan preferencias significativas; muestras en distintas líneas presentan diferencias significativas. Números entre paréntesis son Σ de las puntuaciones, calculado como sumatorio de las puntuaciones adjudicadas por los consumidores a cada una de las muestras en función de la preferencia de los participantes (1 = muestra más preferida; 4 = menos preferida), según determina la norma UNE-ISO 8587:2010/Amd 1:2017. MDS: mínima diferencia significativa; RE-In 7: Retinta criada en intensivo y carne madurada 7 días; RE-In14: Retinta criada en intensivo y carne madurada a 14 días; RE-Ex7: Retinta criada en extensivo y carne madurada 7 días; RE-Ex14: Retinta criada en extensivo y carne madurada 14 días.

lugar a una actitud positiva ante la intención de compra, por lo que el aumentar el nivel de formación en los consumidores podría ser positivo pues les permitiría conocer los criterios para determinar los atributos sensoriales, así como aquellos factores que pueden ejercer mayor influencia en el sistema de producción y saber cómo evaluarlos para valorar carne con características organolépticas diferentes.

En cuanto a la aceptabilidad (Figura 3) de los consumidores por la carne de ternera Retinta, no se encontraron diferencias significativas ($p > 0,05$) entre las muestras estudiadas, con puntuaciones en torno a 5 que en la escala hedónica se corresponde al segmento “Ni me gusta ni me disgusta”.

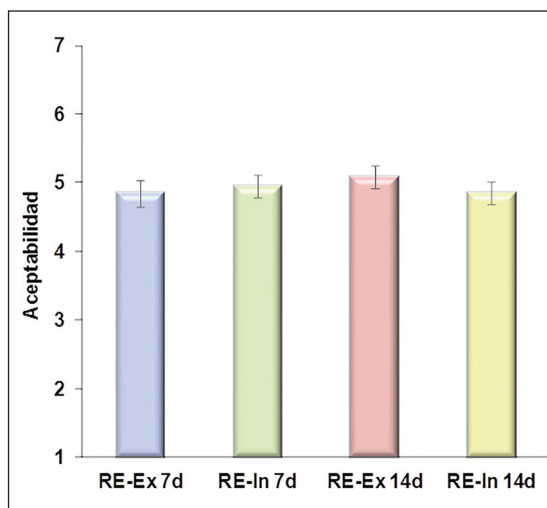


Figura 3. Aceptabilidad global (media \pm ES).

RE-Ex7: Retinta criada en extensivo y carne madurada 7 días; RE-In 7: Retinta criada en intensivo y carne madurada 7 días; RE-Ex14: Retinta criada en extensivo y carne madurada 14 días; RE-In14: Retinta criada en intensivo y carne madurada a 14 días.

Figure 3. Global acceptability (mean \pm SE).

RE-Ex7: Retinta meat at 7 days of ageing from animals raised in extensive systems; RE-In 7: Retinta meat at 7 days of ageing from animals raised in intensive systems; RE-Ex14: Retinta meat at 14 days of ageing from animals raised in extensive systems; RE-In14: Retinta meat at 14 days of ageing from animals raised in intensive systems.

Para relacionar la aceptabilidad de los consumidores con los atributos sensoriales de las muestras se construyó un mapa de preferencia externo siguiendo el método PREF-MAP (Zamuz et al., 2019). El mapa de atributos creado previamente con los atributos organolépticos mostró que los dos primeros componentes principales (F1 y F2) acumularon el 87,5 % de la variabilidad total y se observa como las muestras de ternera quedan perfectamente separadas en función de sus características organolépticas. Reis et al. (2013) considera que para que el ACP (Análisis de Componentes Principales) sea efectivo tiene que acumular una variabilidad igual o superior al 70 %. En el mapa de preferencia externo (Figura 4) se puede observar cómo los 75 consumidores fueron agrupados en tres grupos en función de su respuesta ante la aceptabilidad de las muestras. Este gráfico permite apreciar como el grupo 2 tiene una fuerte inclinación por las muestras procedentes de animales criados en extensivo cuya carne se maduró durante 7 días (RE-Ex7) y que se caracterizó por los siguientes atributos: olor y flavor graso, ternieza, untuosidad y jugosidad. Los otros dos grupos no mostraron una inclinación tan definida por ninguno de los otros tres grupos de muestras. También se puede comprobar como los atributos característicos de las muestras RE-Ex14 fueron el flavor a hígado, vacuno y ácido, así como en menor medida la jugosidad, mientras que las muestras RE-In7 se caracterizaron por la arenosidad, la fibrosidad y el olor a vacuno.

Conclusiones

Los resultados obtenidos en este trabajo indicaron que el sistema de producción de los terneros de raza Retinta influyó en la intensidad de los atributos sensoriales durante la maduración. Las muestras de carne procedente de terneros criados en extensivo presentaron mejores parámetros de calidad sen-

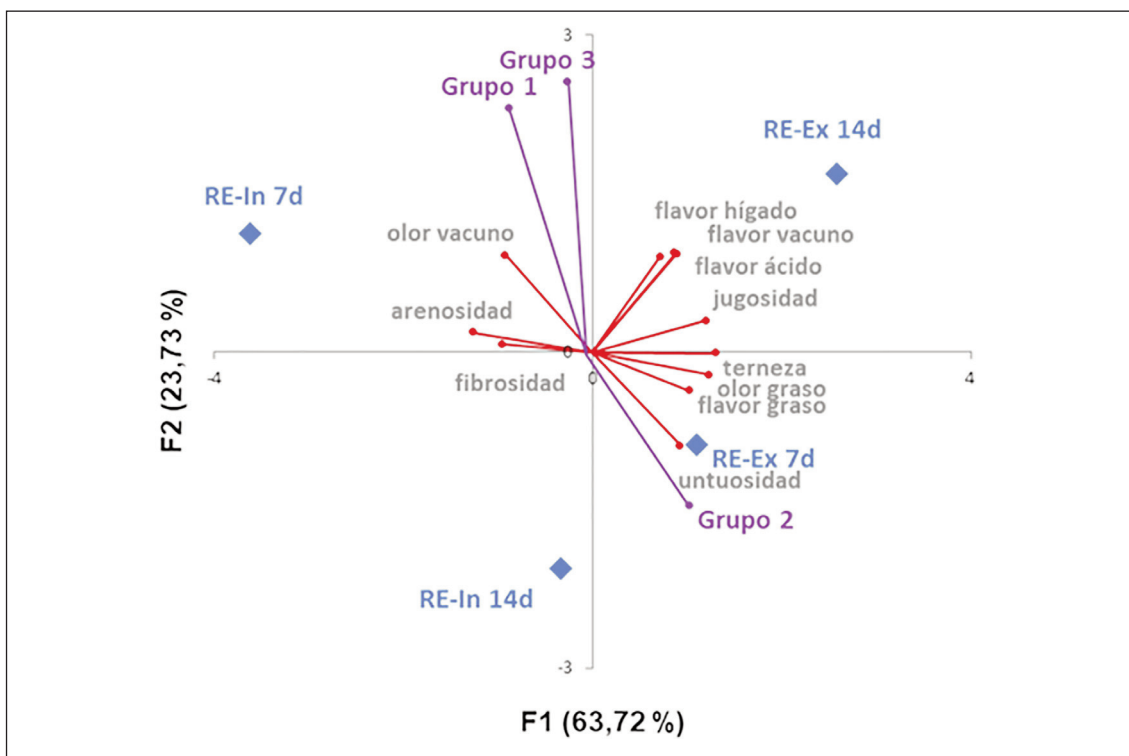


Figura 4. Mapa de atributos y mapa de preferencia externa de la carne de Retinta. Grupo = Agrupamiento homogéneo de consumidores obtenidos mediante Clasificación Ascendente Jerárquica al realizar el mapa de preferencia externa por el método PREFMAP.

RE-Ex7: Retinta criada en extensivo y carne madurada 7 días; RE-In 7: Retinta criada en intensivo y carne madurada 7 días; RE-Ex14: Retinta criada en extensivo y carne madurada 14 días; RE-In14: Retinta criada en intensivo y carne madurada a 14 días.

Figure 4. Attribute map and external preference map of Retinta meat. Group = Homogeneous cluster of consumers obtained by Hierarchical Ascending Classification using the external preference map following PREFMAP method.

RE-Ex7: Retinta meat at 7 days of ageing from animals raised in extensive systems; RE-In 7: Retinta meat at 7 days of ageing from animals raised in intensive systems; RE-Ex14: Retinta meat at 14 days of ageing from animals raised in extensive systems; RE-In14: Retinta meat at 14 days of ageing from animals raised in intensive systems.

sorial (más tiernas, más jugosas, más untuosas y menos arenosas) que las muestras de terneros criados en intensivo tanto a los 7 días como a los 14 días de maduración, excepto el atributo untuosidad, que sólo fue mayor a los 7 días sin presentar diferencias a los 14 días de maduración. También mostraron mayor intensidad de flavor a vacuno, a hígado y a ácido

en los dos puntos de maduración estudiados, salvo el flavor a vacuno que a los 7 días presentó valores similares de intensidad, característicos de la carne de vacuno.

Respecto al estudio hedónico, sólo un grupo de consumidores mostró una preferencia clara por las muestras de carne procedente de animales criados en extensivo y madurada

durante 7 días. En general, se ha podido comprobar que no hubo una preferencia ni una aceptabilidad clara por alguna de las muestras, lo cual indica que los consumidores no fueron capaces de diferenciar atributos sensoriales diferenciadores en función de los sistemas de producción en contra de los resultados obtenidos con el panel de catadores. Es por ello, que plantear la formación de los consumidores de carne de vacuno Retinto en la identificación de atributos afectados por el sistema de producción, redundaría en la posibilidad de poder seleccionar el producto, poniendo en valor los sistemas productivos, siguiendo el criterio actual de los consumidores ante los productos de origen animal.

Agradecimientos

Este trabajo fue financiado por el proyecto RTA 2014-00034-C04-00 (INIA-AEI) y fondos FEDER. Sol Zamuz está contratada con financiación a cargo de las ayudas para Personal Técnico de Apoyo (PTA2017-14156-I) de la Agencia Estatal de Investigación y Alberto Ortiz quiere agradecer al Fondo Social Europeo y a la Junta de Extremadura por la beca predoctoral (PD16057) concedida. José M. Lorenzo y Daniel Franco son miembros de la red HealthyMeat del programa CYTED (Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, ref. 119RT0568). Gracias al GAIN (Agencia Gallega de Innovación, Xunta de Galicia) por la financiación al CTC (IN607A2019/01).

Referencias bibliográficas

Albertí P, Ripoll G, Albertí C, Panea B. (2016). Clasificación objetiva del color de la carne de las denominaciones de venta de vacuno. *Eurocarne* 244: 131-142.

BOE (2019). RD 45/2019, de 8 de febrero, por el que se establecen las normas zootécnicas aplicables a los animales reproductores de raza pura, porcinos reproductores híbridos y su material reproductivo, se actualiza el Programa nacional de conservación, mejora y fomento de las razas ganaderas y se modifican los Reales Decretos 558/2001, de 25 de mayo; 1316/1992, de 30 de octubre; 1438/1992, de 27 de noviembre; y 1625/2011, de 14 de noviembre. *Boletín Oficial del Estado*, núm. 52, de 1 de marzo de 2019, pp. 19716-19748.

Boleman SJ, Miller RK, Buyck MJ, Cross HR, Savell JW (1996). Influence of realimentation of mature cows on maturity, color, collagen solubility, and sensory characteristics. *Journal of Animal Science* 74: 2187-2194. <https://doi.org/10.2527/1996.7492187x>.

Brunner C, Fluch J, Kulterer K, Glatzi W (2014). GREENFOODS branch concept for enhancing energy efficiency in the food and drink industry. *ECEEE Industrial Summer Study Proceedings*, 233-238.

Campo MM, Nute GR, Hughes SI, Enser M, Wood JD, Richardson RI (2006). Flavour perception of oxidation in beef. *Meat Science* 72(2): 303-311. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2005.07.015>.

Christensen M, Ertbjerg P, Failla S, Sañudo C, Richardson RI, Nute GR, Olleta JL, Panea B, Albertí P, Juárez M, Hocquette JF, Williams JL (2011). Relationship between collagen characteristics, lipid content and raw and cooked texture of meat from young bulls of fifteen European breeds. *Meat Science* 87 (1): 61-65. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2010.09.003>.

Descalzo AM, Insani EM, Biolatto A, Sancho AM, García PT, Pensel NA, Josifovich J (2005). Influence of pasture or grain-based diets supplemented with vitamin E on antioxidant/oxidative balance of Argentine beef. *Meat Science* 70: 35-44. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2004.11.018>.

DOCE (1993) Directiva 93/119/CE del Consejo, de 22 de diciembre de 1993, relativa a la protección de los animales en el momento de su sacrificio o matanza. *Diario Oficial de las Comunidades Europeas*, núm. 340, de 31 de diciembre de 1993, pp. 21-34.

- Dunne PG, Monahan FJ, O'Mara FP, Moloney AP (2009). Colour of bovine subcutaneous adipose tissue: A review of contributory factors, associations with carcass and meat quality and its potential utility in authentication of dietary history. *Meat Science* 81: 28-45. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2008.06.013>.
- Franco D, Bispo E, González L, Vázquez JA, Moreno T (2009). Effect of finishing and ageing time on quality attributes of loin from the meat of Holstein-Friesian cull cows. *Meat science* 83(3): 484-491. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2009.06.030>.
- Franco D, González L, Bispo E, Latorre A, Moreno T, Sineiro J, Sánchez M, Núñez MJ (2012). Effects of calf diet, antioxidants, packaging type and storage time on beef steak storage. *Meat Science* 90 (4): 871-880. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2011.10.008>.
- García-Torres S, López-Gajardo A, Mesías FJ (2016). Intensive vs. free-range organic beef. A preference study through consumer liking and conjoint analysis. *Meat Science* 114: 114-120. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2015.12.019>.
- García-Torres S, López-Gajardo A, Tejerina D, Prior E, Cabeza de Vaca M, Horcada A (2020) Effect of two organic production strategies and ageing time on textural characteristics of beef from the Retinta breed. *Foods* 9: 1417. <https://doi.org/10.3390/foods9101417>.
- Georgantelis D, Blekas G, Katikou P, Ambrosiadis I, Fletouris DJ (2007). Effect of rosemary extract, chitosan and α -tocopherol on lipid oxidation and colour stability during frozen storage of beef burgers. *Meat Science* 75(2): 256-264. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2006.07.018>.
- Gomes CL, Pflanzler SB, Cruz AG, de Felício PE, Bolini HMA (2014). Sensory descriptive profiling and consumer preferences of beef strip loin steaks. *Food Research International* 59: 76-84. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.01.061>.
- Guerrero A, Sañudo C, Albertí P, Campo MM, Olleta JL, Resconi V, Panea B, Ripoll G, Santolaria P (2011). Efecto del sistema de producción previo al cebo sobre el perfil de ácidos grasos y calidad sensorial de la carne de vacuno. XIV Jornadas Sobre Producción Animal, 17 y 18 de mayo de 2011, Zaragoza, España, pp. 664-666.
- Honikel KO (1998). Reference methods for the assessment of physical characteristics of meat. *Meat Science* 49(4): 447-457. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(98\)00034-5](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(98)00034-5).
- Horcada A, López A, Polvillo O, Pino R, Cubiles-de-la-Vega D, Tejerina D, García-Torres S (2017). Fatty acid profile as a tool to trace the origin of beef in pasture- and grain-fed young bulls of Retinta breed. *Spanish Journal of Agricultural Research* 15(4): e0607. <https://doi.org/10.5424/sjar/2017154-11032>.
- Horcada A, Polvillo O, González-Redondo P, López A, Tejerina D, García-Torres S (2020). Stability of fatty acid composition of intramuscular fat from pasture- and grain-fed young bulls during the first 7 d postmortem. *Archives Animal Breeding* 63: 45-52. <https://doi.org/10.5194/aab-63-45-2020>.
- Huff-Lonergan E, Mitsuhashi T, Beekman DD, Parrish FC, Olson DG, Robson RM (1996). Proteolysis of Specific Muscle Structural Proteins by μ -calpain at low pH and temperature is similar to degradation in postmortem bovine muscle. *Journal of Animal Science* 74 (5): 993-1008. <https://doi.org/10.2527/1996.745993x>.
- Juniper DT, Browne EM, Fisher AV, Bryant MJ, Nute GR, Beever DE (2005). Intake, growth and meat quality of steers given diets based on varying proportions of maize silage and grass silage. *Animal Science* 81: 159-170. <https://doi.org/10.1079/ASC41340159>.
- Koohmaraie M (1996). Biochemical factors regulating the toughening and tenderization processes of meat. *Meat Science* 43(S1): 193-201. [https://doi.org/10.1016/0309-1740\(96\)00065-4](https://doi.org/10.1016/0309-1740(96)00065-4).
- Lago AMT, Vidal ACC, Schiassi MCEV, Reis T, Pimenta C, Pimenta MESG (2017). Influence of the addition of minced fish on the preparation of fish sausage: Effects on sensory properties. *Journal of Food Science* 82: 492-499. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13586>.
- Lee HJ, Yun ZS (2015). Consumers' perceptions of organic food attributes and cognitive and affective attitudes as determinants of their purchase intentions toward organic food. *Food Quality and Preference* 39: 259-267. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2014.06.002>.

- López-Gajardo A (2018). Parámetros de calidad y características sensoriales de la carne de terneros de raza retinta criados en dos modelos de producción ecológica. Tesis Doctoral. Universidad de Sevilla.
- López-Pedrouso M, Rodríguez-Vázquez R, Purriños L, Oliván M, García-Torres S, Sentandreu MÁ, Lorenzo JM, Zapata C, Franco D (2020). Sensory and physicochemical analysis of meat from bovine breeds in different livestock production systems, pre-slaughter handling conditions and ageing time. *Foods* 9(2): 176. <https://doi.org/10.3390/foods9020176>.
- Macfie HJ, Bratchell N, Greenhoff K (1989). Designs to balance the effect of order of presentation and first-order carry-over effects in hall tests. *Journal of Sensory Studies* 4: 129-148. <https://doi.org/10.1111/j.1745-459X.1989.tb00463.x>.
- MAPA (2019). Catálogo oficial de razas. Disponible en: <https://www.mapa.gob.es/es/ganaderia/temas/zootecnia/razas-ganaderas/razas/catalogo-razas> (Consultado: 8 de abril de 2020).
- Mottram DS (1998). Flavour formation in meat and meat products: A review. *Food Chemistry* 62(4): 415-424. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(98\)00076-4](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(98)00076-4).
- Oliván M, Osoro K, Martínez A, Guerrero L (2003). Características físico-químicas y calidad sensorial de la carne de terneros añejos de las razas asturianas cebadas en intensivo o extensivo. *X Jornadas Sobre Producción Animal*, 14-16 de mayo, Zaragoza, España, pp. 22-24.
- Oliván M, Sierra V, García P (2013). Efecto del tiempo de maduración sobre la calidad organoléptica de la carne de vacuno. *Tecnología Agroalimentaria*, Boletín Informativo SERIDA 12: 45-52.
- Ortiz-Huaccha RM (2017). Análisis de la textura en productos cárnicos. Tesis, Universidad Nacional de Trujillo, Perú.
- Panea B, Ripoll G, Sañudo C, Olleta JL, Albertí P (2016). Calidad instrumental de la carne de terneros procedentes del cruce industrial de la raza Retinta. *ITEA-Información Técnica Económica Agraria* 112(3): 286-300. <https://doi.org/10.12706/itea.2016.018>.
- Panea B, Ripoll G, Insausti K, Beriain MJ, Sañudo C, Albertí P (2019). Influencia de la maduración y el tipo de cocinado en la valoración sensorial y el perfil de compuestos aromáticos del cruce industrial de raza Retinta. *ITEA-Información Técnica Económica Agraria* 115(2): 149-162. <https://doi.org/10.12706/itea.2018.030>.
- Realini CE, Duckett SK, Brito GW, Dalla Rizza M, De Mattos D (2004). Effect of pasture vs. concentrate feeding with or without antioxidants on carcass characteristics, fatty acid composition, and quality of Uruguayan beef. *Meat Science* 66(3): 567-577. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(03\)00160-8](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(03)00160-8).
- Reis RC, Regazzi AJA, Carneiro JCS, Minim VPR (2013). Mapa de preferênce. En: *Análise Sensorial Estudos com Consumidores* (Ed. Minim V), pp. 332. Viçosa, UFV.
- Ruiz J, Bonilla F, Hidalgo J, Morillo-Velarde M (2006). Calidad de la carne de razas de vacuno autóctono. *Las carnes de Extremadura. El vacuno de la Dehesa*, pp. 117-133.
- Salih AM, Smith DM, Price JF, Dawson LE (1987). Modified extraction 2-thiobarbituric acid method for measuring lipid oxidation in poultry. *Poultry Science* 66(9): 1483-1488. <https://doi.org/10.3382/ps.0661483>.
- Scollan N, Hocquette J-F, Nuernberg K, Dannenberger D, Richardson I, Moloney A (2006). Innovations in beef production systems that enhance the nutritional and health value of beef lipids and their relationship with meat quality. *Meat Science* 74: 17-33. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2006.05.002>.
- Steinhauserová I, Ježek F, Nečada V (2013). The evaluation of sensory properties of mature beef meat. *Maso International Journal of Food Science and Technology* 2/2013: 121-128
- UNE-EN ISO 8589:2010/A1:2014 Análisis sensorial. Guía general para el diseño de una sala de catas. Disponible en: <https://www.aenor.com/normas-y-libros/buscador-de-normas/une/?c=N0053610> (Consultado: 15 de junio de 2020).
- UNE-ISO 8587:2010/Amd 1:2017 Análisis sensorial. Metodología. Ordenación. Disponible en: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0045392> (Consultado 15 de junio de 2020).

- Verma SP, Sahoo J (2000). Improvement in the quality of ground chevon during refrigerated storage by tocopherol acetate preblending. *Meat Science* 56(4): 403-413. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(00\)00072-3](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(00)00072-3).
- Vestergaard M, Therkildsen M, Henckel P, Jensen LR, Andersen HR, Sejrsen K (2000). Influence of feeding intensity, grazing and finishing feeding on meat and eating quality of young bulls and the relationship between muscle fibre characteristics, fibre fragmentation and meat tenderness. *Meat Science* 54: 187-195. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(99\)00098-4](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(99)00098-4).
- Vestergaard M, Madsen NT, Bligaard HB, Bredahl L, Rasmussen PT, Andersen HR (2007). Consequences of two or four months of finishing feeding of culled dry dairy cows on carcass characteristics and technological and sensory meat quality. *Meat Science* 76: 635-643. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2007.02.001>.
- White A, O'Sullivan A, O'Neil EE, Troy DJ (2004). The significance of sarcomere length and proteolysis on the tenderness of bovine *M. longissimus dorsi*. *Proceedings of 50th International Congress of Meat and Technology (ICoMST)*, 8-13 de Agosto, Helsinki, Finland.
- Yang A, Lanari MC, Brewster MJ, Tume RK (2002). Lipid stability and meat colour of beef from pasture- and grain-fed cattle with or without vitamin E supplementation. *Meat Science* 60(1): 41-50. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(01\)00103-6](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(01)00103-6).
- Zamuz S, Pateiro M, López-Pedrouso M, Rodríguez-Vázquez R, Oliván M, García-Torres S, Santandreu MA, Lorenzo JM, Zapata C, Franco D (2018). Effect of different livestock production system on sensory characteristics of three Spanish bovine breeds. *64th International Congress of Meat Science and Technology*, 12-17 de agosto, Melbourne, Australia.
- Zamuz S, Purriños L, Galvez F, Zdolec N, Muchenje V, Barba FJ, Lorenzo JM (2019). Influence of the addition of different origin sources of protein on meat products sensory acceptance. *Journal of Food Processing and Preservation* 43: e13940. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13940>.
- Zhang Y, Holman BWB, Ponnampalam EN, Kerr MG, Bailes KL, Kilgannon AK, Collins D, Hopkins DL (2019). Understanding beef flavour and overall liking traits using two different methods for determination of thiobarbituric acid reactive substance (TBARS). *Meat Science* 149: 114-119. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.11.018>.

(Aceptado para publicación el 2 de febrero de 2021)

Evaluación de diferentes fórmulas zoométricas para la estimación de peso vivo en cabras criollas de Tamaulipas, México

Luz Yosahandy Peña-Avelino¹, Jorge Alva-Pérez¹, Ivonne Ceballos-Olvera², Said Hernández-Contreras¹ y Gregorio Álvarez-Fuentes^{2,*}

¹ Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Tamaulipas. Matamoros s/n, Zona centro, Ciudad Victoria, Tamaulipas, México. C.P. 87000

² Instituto de Investigaciones de Zonas Desérticas, Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Altair 200, Col del Llano, San Luis Potosí, México. C.P. 78377

Resumen

El peso vivo en los caprinos tiene importancia sobre los parámetros productivos, genéticos y de rentabilidad. Sin embargo, los caprinocultores en Tamaulipas tienen poco acceso a básculas, por lo que el desarrollo de técnicas para la estimación del peso, no costosas son deseables. El objetivo del presente estudio fue validar el peso vivo estimado con fórmulas diseñadas en el presente estudio y publicadas a partir de los pesos vivos actuales de las cabras Tamaulipecas. Se determinó la edad, el peso vivo y cinco medidas lineales zoométricas de 206 cabras adultas. El peso vivo actual de las cabras fue de $30,11 \pm 6,33$ kg, la altura a la cruz, $65,90 \pm 4,23$ cm; la anchura de la grupa, $14,54 \pm 1,41$ cm; la altura a la grupa, $66,89 \pm 1,34$ cm; la longitud corporal, $61,19 \pm 4,95$ cm; y el perímetro torácico, $74,70 \pm 5,61$ cm. La asociación entre las medidas zoométricas lineales (MLZ) y el peso vivo actual muestra que el perímetro torácico, posee una relación positiva alta ($r = 0,75$) y el resto de las MLZ mantienen una relación que va de moderada a baja ($r = 0,55$). En los modelos se evitó la multicolinealidad y se corrieron mediante regresión múltiple completos paso por paso (*stepwise*). Los modelos de regresión del presente estudio pueden ser usados de forma confiable pues tienen una raíz del error del cuadro medio de predicción (RECM) <6 %. Además, no se observaron diferencias entre el peso vivo estimado y peso vivo actual.

Palabras claves: Ecuaciones de predicción, medidas zoométricas.

Evaluation of different zoometric formulas for the estimation of live weight in Tamaulipas native goats

Abstract

The live weight in the goat species is important on the productive, genetic and profitability parameters. However, goat farmers in Tamaulipas have little or no access to scales, so the development and implementation of inexpensive weight estimation techniques is desirable. The objective of the present study was to validate the estimated live weights with formulas designed in the present study and the models described in the literature from the actual live weights of Tamaulipecan goats. Age, live weight and five zoometric linear measurements of 206 adult goats were determined. The Current live weight of the go-

* Autor para correspondencia: gregorio.alvarez@uaslp.mx

Cita del artículo: Peña-Avelino LY, Alva-Pérez J, Ceballos-Olvera I, Hernández-Contreras S, Álvarez-Fuentes G (2021). Evaluación de diferentes fórmulas zoométricas para la estimación de peso vivo en cabras criollas de Tamaulipas. ITEA-Información Técnica Económica Agraria 117(5): 532-543. <https://doi.org/10.12706/itea.2021.007>

ats was 30.11 kg, the height at the withers, 65.90 ± 6.33 cm; the width of the rump, 14.54 ± 1.41 cm; the height at the rump, 66.89 ± 1.34 cm; the body length, 61.19 ± 4.95 cm; and the heart girth, 74.70 ± 5.61 cm. The association between linear zoometric measurements and current live weight shows that thoracic circumference has a high positive ratio ($r = 0.75$) and the rest of the linear zoometric measurements have a moderate to low ratio ($r = 0.55$). In the models, multicollinearity was avoided and they were run by means of complete multiple regression step by step (stepwise). The regression models of the present study can be used reliably since the RECM $< 6\%$. Furthermore, no differences were observed between estimated live weight and current live weight.

Keywords: Prediction equations, zoometric measurements.

Introducción

En el mundo la población ganadera caprina al 2018 fue de 1.184.298.887 (FAOSTAT, 2020), siendo Asia el continente que cuenta con la mayor población de esta especie, seguido de África y América. En México, el inventario caprino en el 2018 fue de 8.755.204; mientras que Tamaulipas está posicionado en el lugar 12 a nivel nacional con 270.900 (3,1%) cabezas de ganado caprino (SIAP, 2019). La producción caprina en Tamaulipas presenta heterogeneidad en el manejo de los animales y la disponibilidad de recursos vitales como forraje y agua, no es abundante (Vázquez-Rocha et al., 2019). El principal producto de la producción caprina es el cabrito de dos meses de edad (Alva-Pérez et al., 2019).

Los caprinocultores son primordialmente de escasos recursos y con estudios básicos o sin estudios (75 %; Alva-Pérez et al., 2019). El número de los animales por unidad productiva (UP) en el Altiplano Tamaulipeco fluctúa entre los 62 y los 100; bajo pastoreo continuo con uso de tierras comunes y nulo ajuste en carga animal (Vázquez-Rocha et al., 2019). Bajo las características de la caprinocultura Tamaulipeca, la determinación del peso vivo en la especie tiene importancia sobre los parámetros productivos, genéticos y de rentabilidad como: la aplicación de los medicamentos con dosis individual, selección del pie de

cría y ganancias económicas por la venta de animales (adulto o en crecimiento). Sin embargo, los caprinocultores en Tamaulipas, tienen poco o nulo acceso a básculas, por lo que el desarrollo y la implementación de técnicas para la estimación del peso, no costosas son deseables. En este sentido, el uso de medidas zoométricas para el desarrollo de ecuaciones de predicción de peso se han propuesto anteriormente (Tsegaye et al., 2013; Younas et al., 2013; Dorantes-Coronado et al., 2015a) debido a la correlación que mantienen estas medidas con el peso vivo en los animales (Mahmud et al., 2014). Las medidas zoométricas asociadas frecuentemente a la estimación del peso vivo son: perímetro torácico (PT), altura a la cruz (AC), longitud del cuerpo (LC), anchura de la grupa (AG), y altura de la grupa (ALG) (Khan et al., 2006; Semakula et al., 2010; Yakubu et al., 2011; Younas et al., 2013; Agamy et al., 2015). No obstante, las ecuaciones de predicción pueden, en ocasiones resultar complejas y difíciles de recordar. El uso de fórmulas sencillas puede facilitar la estimación del peso en condiciones de campo (Moaeen-ud-Din et al., 2006; Pérez et al., 2016). El presente estudio tuvo como objetivo comparar diferentes fórmulas para la determinación del peso vivo en cabras utilizando mediciones zoométricas y con ello determinar el potencial de aplicación en campo.

Material y métodos

Lugar de estudio y animales

El estudio se realizó durante el invierno del año 2019 (28 de febrero y hasta el 20 de marzo) en municipios de Jaumave, Tula, y Miquihuana con coordenadas latitud: 23° 30' 29,60", 99° 22' 17,60 oeste y en los municipios de Méndez, Burgos y Cruillas con coordenada latitud norte 24° 52' 34" y latitud oeste 98° 46' 36,6". Se utilizaron 206 ejemplares de hembras caprinas criollas de 16 UP clasificándose en cuatro grupos. La determinación de la edad se realizó a través de la evaluación de las piezas dentarias, según la guía descriptiva de la FAO (2012).

Obtención del peso vivo

Los animales fueron pesados por la mañana antes de salir al pastoreo y sólo se registraron los datos de las cabras criollas que el productor indicó que no estaban gestantes. El peso vivo fue estimado con una báscula digital de 150 kg (L. Noval SA de CV). El estudio fue aprobado por el Comité de bioética de la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la Tamaulipas.

Variables explicativas o predictoras

Para obtener las variables explicativas candidatas para los modelos de efectos mixtos se realizaron cinco mediciones lineales zoométricas (MLZ) a las cabras presentes de la UP (Figura 1). Altura a la cruz (AC), medida como la distancia entre el punto más dorsal de la cruz y el suelo; Anchura de la grupa (AG), máxima distancia entre las dos tuberosidades ilíacas externas o puntas del anca; Alzada o altura a la grupa (ALG), distancia de la espina ilíaca al suelo; Longitud corporal (LC), medida como la distancia entre la protuberancia occipital y la caída de la cola; Perímetro torácico (PT), circunferencia del pecho justo detrás de los miembros delanteros (Sañudo, 2009; FAO, 2012).

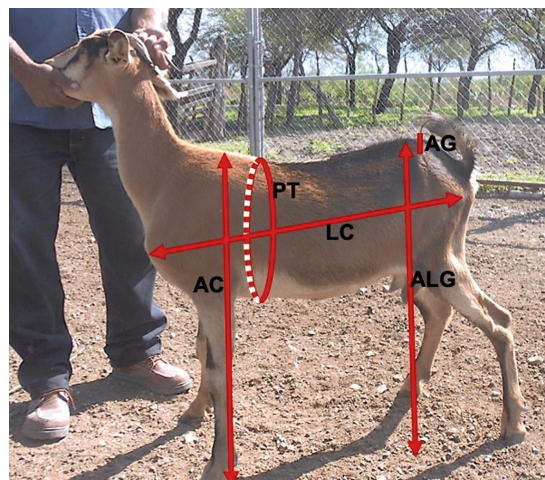


Figura. 1. Representación gráfica de la toma de Medias zoométricas: altura a la cruz (AC), perímetro torácico (PT), anchura de la grupa (AG), altura de la grupa (ALG) y longitud corporal (LC).

Figure 1. Graphic representation of zoometric measurement: height at withers (AC), heart girth (PT), rump width (AG), rump height (ALG) and body length (LC).

Modelos de predicción y fórmulas

Para los modelos de efectos mixtos a las variables explicativas individuales, primeramente, se les realizó un análisis de correlación por separado con las variables de respuesta. Las variables explicativas correlacionadas ($|r| > 0,7$) no se incluyeron en el modelo para evitar problemas de multicolinealidad (Apuhamy et al., 2014). Posteriormente se corrieron modelos de regresión múltiple completos paso por paso (stepwise) incluyendo todas las variables explicativas que tenían efectos significativos ($p < 0,05$), tomando en cuenta el R^2 -ajustado, entre mayor sea su valor, el modelo es mejor, ya que mide la capacidad predictiva del modelo. Una vez obtenido el modelo general y por grupos etarios donde las variables consideradas fueron significativas ($p \leq 0,05$), se analizaron los residuales; se realizó la prueba de Jarque-Bera,

para ver su normalidad; se aplicó la prueba de Durbin-Watson para ver que no hubiera autocorrelación, cuyos valores tiene que estar entre 1,5 y 2,5; posteriormente se verificó que no existiera multicolinealidad entre las variables explicativas, mediante la prueba del Factor de la Inflación de la Varianza (vif), valores menores a 10 indican que no existe multicolinealidad, dichos análisis se llevaron a cabo mediante el R statistical software (versión 3.6.3. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria).

Evaluación de los modelos

Los modelos desarrollados con las MLZ obtenidas de las cabras criollas en las UP y las 21 fórmulas para estimar el peso vivo, provenientes de la literatura (Singh y Mishra, 2004; Moaen-ud-Din et al., 2006; Fajemilehin y Salako, 2008; Pesmen y Yardimci, 2008; Chacón et al., 2011; Gebreyesus et al., 2012; Tadesse et al., 2012; Tsegaye et al., 2013; Lorato et al., 2015; Gezahegn et al., 2015; Gebrekiros et al., 2016; Pérez et al., 2016; Takele, 2016; Asefa et al., 2017; Belay y Meseretu, 2017) fueron probados con los datos obtenidos en campo.

Para establecer la concordancia general entre valores predichos por los modelos y los datos observados se determinó el error cuadrado medio de predicción (ECMP):

$$ECM = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2$$

Donde: n = número de observaciones;
 O_i = Valor observado; P_i = valor predicho.

Como la raíz cuadrada del ECM (RECM) lleva las mismas unidades de valores observados, RMSPE se expresó como un porcentaje del valor promedio observado (% RECM). El % RECM cuantifica la concordancia general entre los valores pronosticados y observados.

Resultados y discusión

Peso vivo y medidas lineales zoométricas

En la Tabla 1 se reportan los estadísticos descriptivos de las medidas zoométricas tomadas a las cabras criollas. El PVA de las cabras fue de $30,11 \pm 6,33$ kg; la altura a la cruz, AC: $65,90 \pm 4,23$ cm; la anchura de la grupa, AG: $14,54 \pm 1,41$ cm; la altura a la grupa, ALG: $66,89 \pm 1,34$ cm; la longitud corporal, LC:

Tabla 1. Estadísticos descriptivos de las mediciones zoométricas realizadas a las cabras criollas.
 Table 1. Descriptive statistics of zoometric measurements carried out on Creole goats.

Variable	Media	Desv. estándar	Mínimo	Máximo	CV
Peso	30,1	6,33	15,3	50,0	21,01
Edad	2,6	1,01	1,0	5,0	38,7
Perímetro torácico	74,7	5,61	60,0	92,0	7,5
Altura a la cruz	65,9	4,23	54,0	75,0	6,42
Longitud corporal	61,2	4,95	49,5	85,0	8,09
Anchura de grupa	14,5	1,41	11,0	18,0	9,73
Altura a la grupa	66,9	4,34	54,5	80,0	6,49

Coefficiente de variación (CV).

61,19 ± 4,95 cm; y el perímetro torácico, PT: 74,70 ± 5,61 cm. En estos resultados se observa que las cinco variables poseen un coeficiente de variación menor al 10 %, pero la edad y el PVA se caracterizaron por mostrar un coeficiente de variación superior al 15 %, considerado por tanto alto. Con relación al PVA y las MZL por grupos etarios (primero, segundo y tercero; Tabla 2), se observaron diferencias (AC, LC y PT). Mientras que AG y ALC solo son diferentes en el primer par dentario y son similares en el resto de los grupos etarios. El PVA reportado en el presente estudio es similar a las cabras criollas con en-

caste Nubio del Estado de México (Dorantes-Coronado, 2015b), pero ligeramente más altos que los reportados (26,5 kg) por Pérez et al. (2016). El peso vivo está influenciado por factores como: raza, alimentación, salud, sexo, edad y sistemas de producción que difieren en prácticas de manejo (Asefa et al., 2017). Las medidas zoométricas descritas en este estudio fueron mayores a las reportadas por Tadesse et al. (2012) y menores a las reportadas por Dorantes-Coronado et al. (2015b). Esto puede ser debido a las características de las razas predominantes en las diferentes áreas donde habitan las cabras.

Tabla 2. Medias del peso vivo y medidas zoométricas de las cabras criollas.
Table 2. Mean values of actual live weight and body measurements of creole goats.

Parámetro	Par dentario			EE
	1 ^{er}	2 ^{do}	3 ^{er}	
PVA (kg)	25,14 ± 4,5 ^c	29,58 ± 6,5 ^b	31,88 ± 5,5 ^{ab}	0,631
AC (cm)	61,80 ± 3,5 ^c	65,77 ± 3,8 ^b	67,18 ± 3,1 ^a	0,411
AG (cm)	13,16 ± 1,27 ^b	14,7 ± 1,1 ^a	15,05 ± 1,2 ^a	0,195
ALC (cm)	63,73 ± 3,5 ^b	66,61 ± 4,1 ^a	68,30 ± 4,1 ^a	0,442
LC (cm)	58,01 ± 6,2 ^c	60,47 ± 3,87 ^b	62,69 ± 3,9 ^{ab}	0,506
PT (cm)	69,53 ± 3,9 ^c	74,70 ± 4,84 ^b	76,35 ± 4,5 ^{ab}	0,546

Filas con diferente superíndice difieren estadísticamente ($P < 0,05$); EE: Error Estándar; Peso vivo actual (PVA); Altura a la cruz (AC); Anchura de la grupa (AG); Altura a la grupa (ALG); Longitud corporal (LC); Perímetro torácico (PT); Par dentario: 1^{er} par: 1-2 años; 2^{do} par: 2-3 años; 3^{er} par: 3-4 años.

Correlaciones

La asociación entre el peso vivo actual (Tabla 3) y el PT, muestra una relación positiva alta en cada uno de los grupos, mientras que el resto de las MLZ mantienen una relación que va de moderada a baja. Las variables explicativas PT y AG, tuvieron una correlación alta al igual que AC y ALG, sin embargo, no fueron significativas al incluirlas juntas o sepa-

radas en el modelo general, lo que evitó problemas de colinealidad entre las variables regresoras. La variable edad no fue significativa, por lo que no fue incluida en el modelo. En tanto, que la correlación que se observa para el PVA de las cabras criollas Tamaulipecas con las cinco MLZ es positiva, que va de alta a moderada (Tabla 4). Resultados similares se observan en otros estudios (Bello y Adama, 2012; Pérez et al., 2016) donde se mues-

Tabla 3. Correlaciones entre la variable dependiente (Peso) y las variables explicativas.
 Table 3. Correlations between the dependent variable (Weight) and the explanatory variables.

	Peso	Edad	PT	AC	LC	AG	ALG
Peso		0,430	0,760	0,502	0,555	0,584	0,495
Edad			0,439	0,406	0,365	0,354	0,366
PT				0,520	0,546	0,653	0,513
AC					0,453	0,503	0,595
LC						0,467	0,369
AG							0,540
ALG							

Perímetro torácico (PT); Altura a la cruz (AC); Longitud corporal (LC); Anchura de la grupa (AG); Altura a la grupa (ALG).

Tabla 4. Matriz de correlaciones entre el peso vivo actual y las medidas zoométricas de las cabras criollas.
 Table 4. Matrix of correlations between live weight, zoometric measurement and body condition of creole goats.

Age	PT	AC	LC	AG	ALG
1 ^{er} par	0,7118***	0,4151**	0,3774*	0,5281**	0,4230**
2 ^{do} par	0,6999***	0,4626***	0,5325***	0,4819***	0,4705***
3 ^{er} par	0,7589***	0,2419*	0,4575**	0,1981**	0,4145**
Todos	0,7598***	0,5016***	0,5549***	0,5840***	0,4953***

* $P < 0,05$; ** $P < 0,01$; *** $P < 0,001$. Altura a la cruz (AC); Anchura de la grupa (AG); Altura a la grupa (ALG); Longitud corporal (LC); Perímetro torácico (PT); 1^{er} par: 1-1,5 años; 2^{do} par: 2-2,5 años; 3^{er} par: 3-4 años.

tra que el PT es la MLZ con mayor fuerza de asociación para predecir el peso vivo (Asefa et al., 2017). Lo anterior indica que, a mayor coeficiente de correlación del peso vivo con alguna de las MLZ, mayor es la posibilidad de inclusión en los modelos de ecuación para la predicción del peso vivo.

Ecuaciones de predicción

En la Tabla 5, se indican los modelos obtenidos, el modelo que incluye las variables PT,

AC y LC que mostraron ser significativas ($p < 0,0001$; $p < 0,04$ y $p < 0,0014$). El R^2 ajustado, que explica la capacidad predictiva, fue mayor en el modelo general que en los demás modelos. Los cuatro modelos presentaron distribución normal. Esto es observado ya que los valores de X^2 fueron mayores al valor de p , por lo que se acepta H_0 que dice que hay normalidad. No existió autocorrelación entre las variables pues los valores estuvieron dentro del rango de 1,5 a 2,5. Tampoco se observó multicolinealidad ya que todos los valores son menores a 10.

Tabla 5. R^2 ajustado, Prueba de normalidad de los residuales (J.B) de los nuevos modelos; pruebas de autocorrelación y multicolinealidad de las variables utilizadas en los modelos.

Table 5. Adjusted R^2 , Residual normality test (J.B) of the new models; Autocorrelation and multicollinearity tests of the variables used in the models.

Ecuación	R^2 ajustado	J.B. χ^2	DW	VIF		
				PT	AC	LC
Peso _{general} = -45,3 + 0,69PT + 0,16AC + 0,22LC	0,64	12,98	1,81	1,64	1,45	1,51
Peso _{1-1,5} = -32,32 + 0,83PT	0,49	7,39	1,56	1,62		
Peso _{2-2,5} = -40,92 + 0,94PT	0,48	16,05	1,73	2,07		
Peso ₃₋₄ = -36,59 + 0,616PT + 0,346LC	0,56	1,93	1,52	1,64		1,27

PT: Perímetro torácico; AC: Altura a la cruz; LC: Longitud corporal; J.B: Prueba de Jarque Bera; DW: Prueba de Durbin-Watson; VIF: prueba del Factor de la Inflación de la Varianza; Los subíndices indican la edad en años de las cabras.

En la Tabla 6 se indica que los modelos diseñados en el presente estudio incluyeron de una a tres MZL: PT, LC y AC. Asimismo, el RECMF fue menor (FPVE = 3,92, FPV1p = 3,18, FPVW2p = 4,63) comparado con otros modelos (Pesmen y Yardimci, 2008; Gebreyesus et al., 2012; Tsegaye et al., 2013; Gezahegn, 2015; Pérez et al., 2016; Takele, 2016; Belay y Meseretu, 2017), con excepción de FPV3p (RECMF = 5,70) que, no obstante, fue superado al contrastarlo con otras fórmulas (Chacón et al., 2011; Dorantes-Coronado et al., 2015b; Lorato et al., 2015; Gebrekiros et al., 2016). De la misma forma, otros estudios han mostrado que las ecuaciones de predicción lineal incluyen de manera frecuente a PT (Chacón et al., 2011; Tsegaye et al., 2013; Gebrekiros et al., 2016). En tanto, que en ecuaciones múltiples incluyen PT y AC (Dorantes-Coronado et al., 2015a), o PT y LC (Khan et al., 2006; Gebrekiros et al., 2016). Chitra et al. (2012) utilizaron en su modelo LC y AC. Además, Pérez et al. (2016) en los modelos de predicción usan PT, LC y ALG.

Evaluación de los nuevos modelos y los ya publicados

Para evaluar los nuevos modelos (Tabla 6) se utilizó el 25 % del total de las MLZ, esta fracción de información no fue incluida en la generación de éstos, el mejor modelo para estimar el PV es el que incluye mediciones de 1 año a 1,5 años y solo utiliza la variable PT, ya que el RECMF es menor, seguido del modelo general que incluye mediciones de 1 año a 5 años.

El modelo general y para 1 año a 1,5 años, son más eficientes para la estimación del PV que los modelos ya publicados al tener un RECMF menor. El modelo de 2 años a 2,5 años es muy similar en la estimación del PV a los modelos publicados por Pesmen y Yardimci, (2008); Gebreyesus et al. (2012); Tsegaye et al. (2013); Gezahegn (2015); Takele (2016) y Belay y Meseretu (2017), con RECMF en 4 % y 5 %; el modelo que incluye mediciones de cabras de 3 años a 4 años es muy similar a los modelos publicados por Slippers et al. (2000);

Tabla 6. ECMP y RECMC de los nuevos modelos y los modelos ya publicados.
 Table 6. ECMP and RECMC of the new models and the models already published.

	Ecuación	ECMP	RECMC
Nuevos modelos			
FPVE	$= -45,3 + 0,69PT + 0,16AC + 0,22LC$	15,43	3,92
FPVE1p	$= -32,32 + 0,83PT$	10,08	3,18
FPVE2p	$= -40,92 + 0,94PT$	21,53	4,63
FPVE3p	$= -36,59 + 0,616PT + 0,346LC$	32,53	5,70
Modelos publicados			
Slippers et al., (2000)	$= -47,03 + 0,993PT$	26,17	5,12
Khan et a., (2006)	$= (PT+LC) \times 2/13,5$	128,24	11,32
Singh y Mishra (2004)	$= -13,6 + 0,53PT$	37,14	6,09
Fajemilehin y Salako (2008)	$= -13,6 + 0,53PT$	37,14	6,09
	$= -9,25 + 0,53LC$	76,38	8,74
	$= -7,63 + 0,57AC$	30,07	5,48
	$= -7,6 + 0,49ALC$	55,31	7,44
	$= -8,19 + 2,01AG$	109,05	10,44
Pesmen y Yardimci, (2008)	$= -53,061 + 1,12PT$	19,26	4,39
Gebreyesus et al, (2012)	$= -22,3 + 0,67PT$	23,49	4,85
Chacón et al., (2011)	$= (PT^3 \times 80)/1000000$	39,15	6,26
Dereje et al., (2013)	$= -31,32 + 0,83$	17,19	4,15
Dorantes-Coronado et al, (2015a)	$= -52,29 + 0,71PT + 0,3LC$	136,81	11,7
	$= -62,06 + 0,65PT + 0,45LC$	274,8	16,58
	$= -20,08 + 0,25PT + 0,32LC$	164,64	12,83
Gezahegn (2015)	$= -24,94 + 0,72PT$	19,02	4,36
Lorato et al., (2015)	$= -28,2 + 0,74PT$	26,44	5,14
Gebrekiros et al., (2016)	$= -48,33 + 1,21PT$	163,66	12,79
Pérez et al., (2016)	$= -53 + 0,6PT + 0,4LC + 0,2ALG$	29,6	5,44
Takele (2016)	$= -50,35 + 1,11PT$	24,92	4,99
Belay y Meseretu, (2017)	$= -16,2 + 0,6$	18,95	4,35

ECM: error cuadrado medio; RECMC: Raíz del error del cuadro medio de predicción; FPVE: Peso general; FPVE1p: Formula peso 1^{er} par dentario: 1-1,5 años; FPVE2p: Formula peso 2^{do} par dentario: 2-2,5 años; FPVE3p: Formula peso 3^{er} par dentario: 3-4 años.

Fajemilehin y Salako (2008) donde incluye AC; Lorato et al. (2015) y Pérez et al. (2016), con RECOMP de entre 5 % y 6 %. En los modelos nuevos la variable PT fue significativa y en la mayoría de los ya publicados se incluye, debido a que es la que tiene una mayor correlación con el PVA.

A partir de los análisis de regresión se proponen los siguientes modelos para estimar el peso vivo de las cabras en Tamaulipas:

Modelo general, todos los animales

$$FPVE \text{ (kg)} = 45,3 + 0,22 \times Lc \text{ (cm)} + 0,16 \times AC \text{ (cm)} + 0,69 \times PT \text{ (cm)}$$

Modelos cabras con primer par dentario

$$FPVE1p \text{ (kg)} = -33 + 0,84 \times PT \text{ (cm)}$$

Modelo, cabras con segundo par dentario

$$FPVE2p \text{ (kg)} = -41 + 0,94 \times PT \text{ (cm)}$$

Modelo, cabras con tercer par dentario

$$FPVE3p \text{ (kg)} = -36,6 + 0,35 \times LC \text{ (cm)} + 0,62 \times PT \text{ (cm)}$$

El PVE mediante el uso de MLZ y el diseño de fórmulas ha sido reportado anteriormente, por otros autores (Fajemilehin y Salako, 2008; Gebrekiros et al., 2016; Pérez et al., 2016). Los resultados observados en el presente estudio muestran que la comparación entre PVA y PVE, mediante las cuatro fórmulas diseñadas, es efectiva, pues no se observan diferencias entre los pesos (Tabla 7). En tanto que, al comparar las fórmulas de la literatura para estimar el peso vivo, solo dos modelos –el modelo 1, desarrollado por Pérez et al. (2016) y el modelo 2 propuesto por Fajemilehin y Salako (2008) – mostraron ser eficaces para estimar el PVA de las cabras criollas Tamaulipecas, sin que se observaran diferencias en dos grupos etarios. Pérez et al. (2016) encontró concordancia entre PVE y PVA de las cabras estudiadas. Además, al comparar fórmulas existentes en la literatura con sus resultados, observó similitud con nueve fórmulas, en contraste con el presente estudio donde solo se observó similitud con dos.

Tabla 7. Medias del peso vivo actual comparado con el peso vivo estimado mediante las fórmulas estimadas.
Table 7. Averages of current live weight compared to estimated live weight using the estimated formulas.

Grupo etario	PVA	Fórmula						EE
		FPVE1p	FPVE2p	FPVE3p	FVPE	F1	F2	
Todos	30,11 ^{ab}	29,75 ^{ab}	29,22 ^{ab}	31,13 ^a	30,25 ^{ab}	29,68 ^b	29,93 ^{ab}	0,966
1 ^{er} par	25,14 ^{ab}	25,41 ^{ab}	24,36 ^b	26,81 ^{ab}	25,33 ^{ab}	24,67 ^b	27,6 ^a	0,603
2 ^{do} par	29,59	29,22	29,22	30,88	30,07	29,33	29,86	0,528
3 ^{er} par	32,51 ^{ab}	31,52 ^{ab}	31,20 ^{ab}	33,0 ^a	32,39 ^{ab}	31,97 ^{ab}	30,93 ^b	0,454

PVA: Peso vivo actual; FPVE1p: Fórmula peso 1^{er} par dentario: 1-1,5 años; FPVE2p: Fórmula peso 2^{do} par dentario: 2-2,5 años; FPVE3p: Fórmula peso 3^{er} par dentario: 3-4 años; F1: Fórmula propuesta por Pérez et al., (2006); F2: Fórmula propuesta por Fajemilehin y Salako (2008); EE: error estándar.

Conclusiones

Los modelos obtenidos para estimar el peso vivo de las cabras criollas en Tamaulipas usando medidas zoométricas pueden ser usados satisfactoriamente en las condiciones de campo ya que tienen un RECMF <6 %, similar y en ocasiones más bajo a los modelos ya existentes. La variable perímetro torácico fue incluida en todos los modelos nuevos y los ya publicados, por lo que es una variable confiable para ser incluida en los modelos de predicción del peso vivo en cabras.

Agradecimientos

A los productores caprinos de las unidades productivas del Estado de Tamaulipas; a la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma de Tamaulipas.

Referencias bibliográficas

- Agamy R, Abdel-Moneim AY, Abd-Alla MS, Abdel-Mageed II, Ashmawi GM (2015). Using linear body measurements to predict body weight and carcass characteristics of three Egyptian fat-tailed sheep breeds. *Asian Journal of Animal and Veterinary Advances* 10: 335-344. <https://doi.org/10.3923/ajava.2015.335.344>.
- Alva-Pérez J, López-Corona LE, Zapata-Campos CC, Vázquez-Villanueva J, Barrios-García HB (2019). Condiciones productivas y zoonosanitarias de la producción caprina en el Altiplano de Tamaulipas, México. *Interciencia* 44: 154-160.
- Appuhamy JAD, Moraes LE, Wagner-Riddle C, Casper DP, France J, Kebreab E (2014). Development of mathematical models to predict volume and nutrient composition of fresh manure from lactating Holstein cows. *Animal Production Science* 54: 1927-1938. <https://doi.org/10.1071/AN14533>.
- Asefa B, Teshome A, Abera M (2017). Prediction of live body weight from heart girth measurement for small ruminant in Ethiopia : a review article. *International Journal of Agricultural Research, Sustainability, and Food Sufficiency* 4: 193-201.
- Belay Z, Meseretu M (2017). On farm phenotypic characterization of indigenous goat populations in Gamo Gofa Zone South Western Ethiopia. *Journal of Advances Studies in Agricultural, Biological and Environmental Sciences* 4: 23-32.
- Bello AA, Adama TZ (2012). Studies on body weight and linear body measurements of castrates and non-castrate savannah brown goats. *Asian Journal of Animal Sciences* 6: 140-146. <https://doi.org/10.3923/ajas.2012.140.146>.
- Chacón E, Macedo F, Velázquez F, Paiva SR, Pineda E, McManus C (2011). Morphological measurements and body indices for Cuban Creole goats and their crossbreds. *Revista Brasileira de Zootecnia* 40: 1671-1679. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982011000800007>.
- Chitra R, Rajendran S, Prasanna D, Kirubakaran A (2012). Prediction of body weight using appropriate regression model in adult female Malabari goat. *Veterinary World* 5: 409-411. <https://doi.org/10.5455/vetworld.2012.409-411>.
- Dorantes-Coronado EJ, Gómez TG, Jasso AX, Mondragón AJ, García HP (2015a). Utilización de las medidas zoométricas para predecir el peso corporal en cabras criollas, en el sur del estado de México. *Actas Iberoamericanas de Conservación Animal* 6(1): 525-534.
- Dorantes-Coronado EJ, Torres-Hernández G, Hernández-Mendo O, Rojo-Rubio R (2015b). Zoometric measures and their utilization in prediction of live weight of local goats in southern México. *SpringerPlus* 4: 695. <https://doi.org/10.1186/s40064-015-1424-6>.
- Fajemilehin SOK, Salako AE (2008). Body measurement characteristics of the West African Dwarf (WAD) Goat in deciduous forest zone of Southwestern Nigeria. *African Journal of Biotechnology* 7: 2521-2526.
- FAO (2012). Phenotypic characterization of animal genetic resources. *FAO Animal Production and*

- Health Guidelines: No 11. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Disponible en: <http://www.fao.org/3/i2686e/i2686e00.htm> (Consultado: 19 junio 2020).
- FAOSTAT (2020). Live Animals. Stocks. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Disponible en: <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QA> (Consultado: 23 septiembre 2020).
- Gebrekiros H, Kefelegn K, Banerjee AK, Zinabu W (2016). On-farm phenotypic characterization of begait goat and their production system in western zone of Tigray, Ethiopia. *International Journal of Research and Innovations in Earth Science* 3: 15-20.
- Gebreyesus G, Haile A, Dessie T (2012). Participatory characterization of the Short-eared Somali goat and its production environment around Dire Dawa, Ethiopia. *Livestock Research for Rural Development* 24: 184.
- Gezahegn TG, Gulich GA, Kebede K, Mekasha Y (2015). Phenotypic characterization of goat type in Nuer Zone of Gambella People Regional State, South Western. *Global Science Research Journals* 3(5): 164-172. <http://www.globalscienceresearchjournals.org/gjabg/270682015907>.
- Khan H, Muhammad F, Ahmad, R, Nawaz G, Zubair M (2006). Relationship of body weight with linear body measurements in goats. *Journal of Agricultural and Biological Science* 1: 51-54.
- Lorato Y, Ahmed KM, Belay B (2015). Morphological characterization of indigenous Woyto-Guji goat type in Loma district, Southern Ethiopia. *African Journal of Agricultural Research* 10(20): 2141-2151. <https://doi.org/10.5897/AJAR2015.9626>.
- Mahmud MA, Shaba P, Zubairu UY (2014). Live body weight estimation in small ruminants-A review. *Global Journal of Animal Scientific Research* 2: 102-108.
- Moaen-ud-Din M, Ahmad N, Iqbal A, Abdullah M (2006). Evaluation of different formulas for weight estimation in Beetal, Teddi and Cross-bred (Beetal X Teddi) Goats. *Journal of Animal and Plant Sciences* 16: 74-78.
- Pérez ZO, Ybañez AP, Ybañez RHD, Sandoval JFG (2016). Body weight estimation using body measurements in goats (*Capra hircus*) under field condition. *Philippine Journal of Veterinary and Animal Sciences* 42: 1-7.
- Pesmen G, Yardimci M (2008). Estimating the live weight using some body measurements in Saanen goats. *Archiva Zootechnica* 11: 30-40.
- Sañudo C (2009). Valoración morfológica de los animales domésticos. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Madrid, España. 862 pp.
- Semakula J, Mutetikka D, Kugonza RD, Mpairwe D (2010). Variability in body morphometric measurements and their application in predicting live body weight of Mubende and small East African goat breeds in Uganda. *Middle-East Journal of Scientific Research* 5: 98-105.
- SIAP (2019). SIACON-NG. Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta. Disponible en: <https://www.gob.mx/siap/documentos/siacon-161430> (Consultado: 19 junio 2020).
- Singh PN, Mishra AK (2004). Prediction of body weight using conformation traits in Barbari goats. *The Indian Journal of Small Ruminants* 10: 173.
- Slippers SC, Letty BA, De Villiers JF (2000). Prediction of the body weight of Nguni goats. *South African Journal of Animal Science* 30(4): 127-128. <https://doi.org/10.4314/sajas.v30i4.3940>.
- Tadesse A, Gebremariam T, Gangwar SK (2012). Application of linear body measurements for predicting body weight of Abergelle goat breed in Tigray region, Northern-Ethiopia. *Global Journal of Bio-science and Biotechnology* 1: 314-319.
- Takele A (2016). Phenotypic characterization of indigenous goat types and their production system in Shabelle Zone, South Eastern Ethiopia. *International Journal of Innovate Research & Development* 5: 234-252.
- Tsegaye D, Belay B, Haile A (2013). Linear body measurements as predictor of body weight in harghe highland goats under farmers environment: Ethiopia. *Global Veterinaria* 11: 649-656.

Vázquez-Rocha L, Peña-Avelino LY, Limas-Martínez AG, Lucero-Magaña FA, López-Aguirre D (2019). Pastoreo del ganado caprino en el Altiplano de Tamaulipas. *Transversalidad Científica y Tecnológica* 3: 109-114.

Yakubu A, Ladokun AO, Adua MM (2011). Bioprediction of body weight from zoometrical traits of non-descript goats using linear and non-linear models in north central Nigeria. *Livestock Research for Rural Development* 23: 1-11.

Younas U, Abdullah M, Bhatti JA, Pasha TN, Ahmad N, Nasir M, Hussain A (2013). Inter-relationship of body weight with linear body measurements in Hissardale sheep at different stages of life. *The Journal of Animal & Plant Sciences* 23: 40-44.

(Aceptado para publicación el 8 de febrero de 2021)

Uso de antioxidantes en los medios de congelación y descongelación de semen de cerdo Ibérico

Lucía Arranz-Virseda, Cristina Tomás-Almenar, Juan José Ciruelos, Emilio Gómez-Izquierdo y Eduardo de Mercado*

Subdirección de Investigación y Tecnología, Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León, Consejería de Agricultura y Ganadería, Ctra Riaza-Toro s/n, 40353 Hontalbilla, Segovia, España

Resumen

Los espermatozoides de cerdo Ibérico pueden ser más susceptibles a la peroxidación lipídica durante el proceso de crioconservación debido al alto contenido de ácidos grasos poliinsaturados de sus membranas. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de tres antioxidantes (glutatión reducido, α -tocoferol, hidroxitiroso) cuando estos son incluidos en los medios de enfriamiento-congelación o en el medio de descongelación. Se utilizaron doce eyaculados de cerdos Ibéricos sanos y se criopreservaron con un protocolo adecuado para esta raza porcina. Se evaluaron distintos parámetros de calidad espermática a los 30 min y 150 min post-descongelación: porcentaje de espermatozoides con el acrosoma intacto (EAI), vivos (EV), mótilos totales (EMT) y mótilos progresivos (EMP). Además, se evaluaron diferentes parámetros relacionados con balance redox en los mismos tiempos de incubación. La inclusión de antioxidantes en el medio de enfriamiento-congelación mejoró EV, EAI, EMT y EMP, pero solo estos dos últimos parámetros mejoraron al incluir los antioxidantes en el medio de descongelación, especialmente a lo largo del tiempo de incubación. Los resultados mostraron diferencias en la producción de sustancias oxígeno reactivas y la capacidad antioxidante total entre los tratamientos que incluyen antioxidantes en el medio de enfriamiento-congelación o en el medio de descongelación, sin diferencias entre tratamientos en la peroxidación lipídica y alcanzando todos valores similares en el tiempo. En conclusión, sería aconsejable incluir antioxidantes, especialmente glutatión reducido, en el medio de enfriamiento-congelación. E incluir antioxidantes en el medio de descongelación podría mantener una mayor motilidad de los espermatozoides a en tiempo.

Palabras clave: Cerdo Ibérico, criopreservación espermática, diluyentes, antioxidantes.

Use of antioxidants in the freezing and thawing extender in Iberian pig sperm

Abstract

Iberian pig sperm may be more susceptible to lipid peroxidation during the cryopreservation process due to the high content of polyunsaturated fatty acids in their membranes. Therefore, the aim of this study was to determine the effect of three antioxidants (reduced glutathione, α -tocopherol, hydroxytyrosol) when these are included in the cooling-freezing or in the thawing extender. Twelve ejaculates from healthy Iberian boars were used and cryopreserved with an adequate protocol for Iberian pig

* Autor para correspondencia: ita-merpened@itacyl.es

sperm. Different sperm quality parameters were evaluated at 30 min and 150 min post-thaw: the percentage acrosome intact sperm (AIS), live sperm (LS), total motile sperm (TMS) and progressively motile sperm (PMS). In addition, different parameters related to redox balance were evaluated at the same incubation times. The inclusion of antioxidants in the cooling-freezing extender improved LS, AIS, TMS and PMS, but only these last two parameters were improved by including antioxidants in the thawing extender, especially over incubation time. The results showed differences in the production of reactive oxygen species and the total antioxidant capacity between the treatments that include antioxidants in the cooling-freezing medium or in the thawing medium, without differences between any treatment in lipid peroxidation and reaching all similar values over time. In conclusion, it would be advisable to include antioxidants, especially reduced glutathione, in the cooling-freezing extender. And the inclusion of antioxidants in the thawing extender could maintain greater sperm motility over time.

Keywords: Iberian pig, sperm cryopreservation, extenders, antioxidants.

Introducción

El cerdo Ibérico es una raza porcina autóctona de España, que tiene un alto valor ecológico, económico y cultural al estar su producción ligada con la dehesa, la producción rural y la obtención de productos de alto valor organoléptico. Pero su censo y por tanto su variabilidad genética se ha visto afectado a lo largo de los años por factores como la peste porcina africana, el cruce con la raza Duroc, su menor uso en sistemas de producción intensivo debido a su menor rendimiento productivo y reproductivo, o la elección de solo determinadas variedades de cerdo Ibérico con mejores caracteres productivos, relegando al resto de variedades a una situación real de peligro de extinción (Herrero-Medrano *et al.*, 2013). En este contexto, la creación de bancos de recursos zogenéticos podría mejorar el manejo de estas poblaciones y preservaría su riqueza genética. Así la congelación de semen es una excelente manera de preservar material genético de alto valor (Johnson *et al.*, 2000), y tiene especial relevancia en el cerdo Ibérico, ya que es en especial en el macho el que más reducido se ve su número, debido a que la inseminación artificial hace que el número de machos necesarios para la reproducción sea muy bajo (1 macho por cada 100 hembras), o que el 95 % de los cerdos Ibéricos producidos ac-

tualmente son cruzados (hembra Ibérica pura y macho de raza Duroc) (MAPA, 2019). Un número reducido de machos implica una pérdida de variabilidad, un peligro añadido en las distintas variedades que son cada vez menos usadas. Pero la implementación del uso de sistemas de criopreservación espermática tiene que ir de la mano de la mejora de los mismos, ya que los actuales protocolos de congelación y descongelación afectan negativamente a la función y supervivencia espermática, causando una reducción en el rendimiento reproductivo (Johnson *et al.*, 2000; Yeste, 2017).

Algunos autores determinan que gran parte de los problemas derivados de la criopreservación son derivados de un estrés oxidativo, causado por un exceso de producción de sustancias oxígeno reactivas (ROS) (Awda *et al.*, 2009), y una disminución del sistema endógeno de defensa antioxidante (Gadea *et al.*, 2004; Barranco *et al.*, 2015), que provoca cambios físicos y químicos en la membrana espermática (Watson, 1995). Además, las membranas espermáticas de la especie porcina son ricas en ácidos grasos poliinsaturados (Maldjian *et al.*, 2005), lo que las hace más susceptibles a sufrir daños por peroxidación lipídica (Awda *et al.*, 2009). Y en este sentido, el cerdo Ibérico podría verse más afectado por este daño, ya que la composición lipídica de sus membranas espermáticas tiene un alto con-

tenido en ácidos grasos mono y poliinsaturados (de Mercado *et al.*, 2011).

Para evitar los posibles daños oxidativos son muchos los estudios que han investigado la adición de antioxidantes a los medios de congelación (Gadea *et al.*, 2005a; Breininger *et al.*, 2011; Yeste *et al.*, 2014; Pei *et al.*, 2018), y descongelación (Gadea *et al.*, 2005b; Gaddani *et al.*, 2017; Weng *et al.*, 2018) pero no siempre con los mismos resultados. Y hasta donde sabemos, no hay estudios reportados que hayan probado el efecto de los antioxidantes en el proceso de criopreservación espermática de cerdo Ibérico, por tanto, sería necesario determinar que antioxidantes podrían ser los más eficaces en esta raza. La disparidad de resultados y el alto número de compuestos con capacidad antioxidante hace difícil saber cuáles serían los más óptimos para el estudio en esta raza. El glutatión reducido ha tenido buenos resultados por distintos autores en su uso en los protocolos de congelación y descongelación de semen de porcino (Gadea *et al.*, 2005a,b), y lo mismo ocurre con el α -tocoferol (Jeong *et al.*, 2009; Breininger *et al.*, 2011). Por otra parte, el hidroxitirosol, un compuesto fenólico extraído del aceite de oliva virgen, ha demostrado tener varios efectos biológicos beneficiosos, entre ellos una alta actividad antioxidante (Tripoli *et al.*, 2005), y ha presentado buenos resultados en otras especies (Kedechi *et al.*, 2017; Arando *et al.*, 2019), pero no ha sido testado aun en la especie porcina.

Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto protector de estos tres antioxidantes (glutatión reducido, α -tocoferol e hidroxitirosol), determinando su efecto al añadirse en el medio de congelación o en el medio de descongelación, valorando diferentes parámetros de calidad espermática y estrés oxidativo.

Material y métodos

Diseño Experimental

Para este estudio, se evaluaron tres antioxidantes diferentes no probados en la raza de cerdo Ibérico, el glutatión reducido, el α -tocoferol y el hidroxitirosol. Para el glutatión reducido se seleccionó la concentración de 1 mM, ya que es la que ha mostrado buenos resultados tanto en su adición en el medio de congelación como en el medio de descongelación (Gadea *et al.*, 2005a,b). Para el α -tocoferol se seleccionó la concentración de 200 μ g/ml, la cual se ha observado como la que obtenía mejores resultados post-descongelación en distintos estudios (Jeong *et al.*, 2009; Breininger *et al.*, 2011). Por último, como el hidroxitirosol no ha sido testado hasta ahora en la raza porcina, se hizo una prueba previa (datos no incluidos) en base a los resultados de Kedechi *et al.*, 2016, donde la concentración de 200 μ g/ml fue la que mejores resultados obtuvo.

Se evaluó el efecto de los antioxidantes cuando fueron añadidos al medio de enfriamiento-congelación (tratamientos con el acrónimo LEY) o al medio de descongelación (tratamientos con el acrónimo BTS). Obteniendo así un total de 7 tratamientos diferentes: Tratamiento A: un control que no incorporaría antioxidantes ni en el medio de enfriamiento-congelación, ni en el medio de descongelación; Tratamientos GSH-LEY y GSH-BTS: tratamientos que incorporarían 1 mM de glutatión reducido, en el medio de enfriamiento-congelación (GSH-LEY) o en el medio de descongelación (GSH-BTS); Tratamientos TOC-LEY y TOC-BTS: tratamientos que incorporarían 200 μ g/ml de α -tocoferol, en el medio de enfriamiento-congelación (TOC-LEY) o en el medio de descongelación (TOC-BTS); y tratamientos HIDROX-LEY y HIDROX-BTS: tra-

tamientos que incorporarían 200 µg/ml de hidroxitirosol, en el medio de enfriamiento-congelación (HIDROX-LEY) o en el medio de descongelación (HIDROX-BTS).

En cada tratamiento fue analizada la calidad espermática y estrés oxidativo a los 30 min y 150 min de incubación post-descongelación.

Animales, recuperación del semen y protocolo de congelación-descongelación

Todos los procedimientos fueron llevados a cabo en conformidad con la normativa específica de la Directiva del Consejo de la Unión Europea (2010/63/UE) y el Gobierno de España (RD 53/2013), y previamente aprobados por el Comité de Ética del Instituto Tecnológico Agrario de Tecnología de Castilla y León (ITACyL).

En este estudio se utilizaron un total de 12 eyaculados de diferentes verracos Ibéricos (AIM, Segovia, España), obtenidos mediante método manual y diluidos en el diluyente Beltsville Thawing Solution (BTS) (Pursel y Johnson, 1975) (1:1, v/v), después de lo cual fueron transportados al laboratorio del Centro de Pruebas de Porcino (ITACyL) a 15-17 °C.

Los espermatozoides se congelaron utilizando un protocolo de criopreservación adecuado para cerdo Ibérico (de Mercado *et al.*, 2010). Brevemente, las muestras de semen diluidas para el transporte se centrifugaron a 2400g durante 3 min a 15 °C. Los pellets resultantes se diluyeron en un medio de enfriamiento LEY (80 % (v/v) de β-lactosa (310 mM), 20 % (v/v) de yema de huevo, 100 µg/ml de sulfato de kanamicina; 330 ± 5 mOsm/kg; pH ajustado a 7,2) hasta una concentración de 1,5 × 10⁹ células/ml. Después de enfriar las muestras hasta 5 °C en 120 min en un baño de agua termostático programable, los espermatozoides fueron rediluidos hasta una concentración final de 1 × 10⁹ células/ml con un medio de congelación LEYGO (92,5 % de diluyente LEY, 1,5 %

Equex STM (Nova Chemical Sales Inc, Scituate, Mass) y 6 % de glicerol (v/v); 1650 ± 15 mOsm/kg, pH ajustado a 7,2. A continuación, las muestras se cargaron en pajuelas de 0,5 ml (Minitüb, Tiefenbach, Alemania), se sellaron y se transfirieron a un congelador programable (IceCube 14S, Minitüb) donde se congelaron de la siguiente manera: desde 5 °C a -5 °C a un ratio de 6 °C/min, desde -5 °C a -80 °C a 40 °C/min; se mantuvieron 30 s a -80 °C, para a continuación enfriar las muestras a 70 °C/min hasta una temperatura final de -150 °C, paso en el cual fueron sumergidas en nitrógeno líquido, donde permanecieron almacenadas hasta su análisis. Los antioxidantes correspondientes a cada tratamiento que se incorporaban en el medio de enfriamiento-congelación (GSH-LEY, TOC-LEY y HIDROX-LEY) fueron añadidos antes de iniciar el proceso tanto en el medio LEY como en el LEYGO, para que la concentración de los mismos fuera siempre la misma durante todo el proceso.

La descongelación se realizó sumergiendo las pajuelas en un baño de recirculación de agua a 37 °C durante 20 s, diluyéndolas acto seguido en BTS (1:1, v/v) atemperado a 37 °C. Estas muestras se incubaron en el baño de agua a 37 °C hasta los 150 min, y se evaluó la calidad espermática y los parámetros relacionados con el estrés oxidativo a los 30 min y 150 min post-descongelación. Los antioxidantes correspondientes a cada tratamiento que se incorporaban en el medio de descongelación (GSH-BTS, TOC-BTS, HIDROX-BTS) fueron añadidos antes comenzar la descongelación.

Evaluación de calidad espermática post-descongelación

Análisis del estado del acrosoma

La morfología del acrosoma se evaluó mediante microscopía de contraste de fase ×1000. Las muestras se fijaron en glutaraldehído al 2 %, examinándose un mínimo de

200 acrosomas por muestra. El daño del acrosoma se clasificó por el sistema de puntuación reportado por Pursel *et al.* (1972), determinándose el porcentaje de espermatozoides con el acrosoma intacto (EAI, %).

Análisis de la viabilidad espermática

La viabilidad fue evaluada mediante la determinación de la integridad de la membrana plasmática de los espermatozoides, mediante una técnica que combinaba el uso de la fluorescencia y la microscopía de contraste de fase, como describen Tomás *et al.* (2014). Las muestras espermáticas, se tiñeron con 5 μ l de yoduro de propidio (IP, 0,5 mg/ml) y se incubaron a 37 °C en la oscuridad durante 10 min. Posteriormente, las muestras se analizaron utilizando microscopía de contraste de fase (Nikon Eclipse E400, Tokio, Japón), combinada con un equipo de fluorescencia (Nikon C-SHG1) con una lámpara de mercurio (100 W) y un filtro Nikon G-2A (excitación/barrera de 510/590) que permite una excitación simultánea de azul y verde. Después de observar la muestra bajo microscopía de contraste de fase, se conectó la fluorescencia mostrando los espermatozoides no viables de color rojo, y los espermatozoides viables sin teñir, pero visibles por contraste de fases. Se examinaron un mínimo de 300 células por portaobjetos, en campos aleatorios en cada muestra. Solo se consideró en los resultados el porcentaje de espermatozoides con membrana plasmática intacta como espermatozoides vivos (EV; %) (espermatozoides no teñidos de rojo por el IP).

Análisis de la motilidad

Los parámetros de calidad del movimiento se evaluaron objetivamente utilizando un sistema computarizado de análisis de semen (ISAS, Proiser, Valencia, España) operando a 25 frames por segundo (25 Hz), con un ajuste de área de partículas de 10 μ m a 80 μ m, y un radio de búsqueda de 11 μ m. Los esperma-

tozoides se definieron como no mótils si su velocidad media (VAP) era inferior a 10 μ m/s; y los espermatozoides se consideraron mótils progresivos si exhibían una VAP > 45 μ m/s y un índice de rectitud (STR) \geq 45 % (Cremades *et al.*, 2005).

Para este análisis se tomaron alícuotas de 3 μ l de cada muestra espermática en una cámara Makler precalentada (38 °C) (Sefi Medical Instruments, Haifa, Israel). De cada muestra se analizaron cinco campos, evaluando un mínimo de 100 espermatozoides por campo, evaluándose los siguientes parámetros espermáticos: porcentaje de espermatozoides motiles totales (EMT; %) y porcentaje de espermatozoides motiles progresivos (EMP; %).

Producción de sustancias oxígeno reactivas (ROS)

La determinación de ROS se realizó según el protocolo de Hayashi *et al.* (2007) con modificaciones para células espermáticas. El análisis se realizó en placas de 96 pocillos, usando 5 μ l de una solución estándar de peróxido de hidrógeno (para la generación de una curva de calibración) o de muestra. A esta cantidad se añadieron 40 μ l de tampón de acetato de sodio 0,1 M (pH 4,8), y se incubaron a 37 °C durante 5 min. Posteriormente, se añadieron 100 μ l de una solución mixta, con un cromógeno y una solución con ion metal de transición en una proporción de 1:25. Luego se incubó a 37 °C durante 1 min antes de la lectura espectrofotométrica a 505 nm durante 12 min, a intervalos de 1 min. Se construyó automáticamente una curva de calibración a partir de las pendientes, calculadas en función de la absorbancia variable (Δ) a 505 nm de cada lectura (min), correspondiente a la concentración de peróxido de hidrógeno. El analizador (lector de placas espectrofotométricas) calculó los niveles de ROS en las muestras a partir de la curva de calibración y se expresó en términos de niveles equivalentes de peróxido de hidrógeno (1 unidad = 1,0 mg de H₂O₂/l).

Capacidad antioxidante total (FRAP)

La capacidad antioxidante total se analizó mediante la prueba de poder antioxidante reductor férrico (FRAP) como describió Benzie y Strain (1996), con modificaciones para su uso con células espermáticas. Para este análisis, solo se usó un reactivo de trabajo, que consistía en 300 mmol/l de tampón de acetato (pH 3,6), 10 mmol/l de 2,4,6-tri-piridil-s-triazina (TPTZ) en 40 mmol/l de HCl y 20 mmol/l de $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ en una proporción de 10:1:1. El análisis se realizó en placas de 96 pocillos mezclando 180 μl de reactivo de trabajo con 6 μl de muestra o estándar (se utilizó como estándares distintas concentraciones de Fe (II). Fe (II) (1000 $\mu\text{mol/L}$) es equivalente a 1000 $\mu\text{mol/L}$ de FRAP), e incubando 10 min a 37 °C, para finalmente realizar la lectura espectrofotométrica a 593 nm. El cambio de absorbancia se traduce en un valor FRAP al relacionar el cambio de absorbancia a 593 nm de la muestra de prueba con el valor de concentración de una solución estándar de valor FRAP conocido (37,5-2400 $\mu\text{mol/l}$).

Para los análisis de ROS y FRAP, fue necesario un tratamiento previo de los espermatozoides para la liberación de los compuestos intracelulares oxidantes y antioxidantes. A los 30 min y 150 min, se tomó una alícuota de 100 μl de la muestra descongelada (200 millones de espermatozoides) y se homogeneizó con 100 μl de solución de PBS (solución salina tamponada con fosfato) con tritón al 0,4 % para solubilizar las membranas, incubándolas a temperatura ambiente durante 1 h. Después de ese tiempo, se centrifugaron a 3900g y se recuperó el sobrenadante en el cual se realizaron los análisis de ROS y FRAP.

Peroxidación lipídica de la membrana (MDA)

La peroxidación lipídica de la membrana se estimó mediante la generación final de malondialdehído (MDA), determinada por la prueba de ácido tiobarbitúrico (TBA) adaptada para

espermatozoides (Roca et al., 2004). Para su determinación, en primer lugar, se mezclaron 200 μl de cada muestra descongelada (250×10^6 espermatozoides/ml) con 1 ml de ácido tricloroacético frío al 20 % (p/v) para precipitar las proteínas. Las muestras se centrifugaron a 1500g durante 10 min y se descartó el precipitado. 200 μl de los sobrenadantes se incubaron con 200 μl de TBA al 0,67 % (p/v) en un baño de agua hirviendo a 100 °C durante 10 min. A continuación, las muestras se enfriaron con hielo y se realizó una lectura espectrofotométrica a 534 nm. Se realizó la curva estándar a partir de los resultados de absorbancia a 534 nm, correspondientes a las diferentes concentraciones de 1,1,3,3-tetrametoxipropano (precursor de MDA). Los resultados se expresaron como una concentración simple de MDA ($\text{pmol}/10^8$ células).

Análisis estadístico

Los análisis estadísticos se realizaron con el programa estadístico SAS versión 9.1 (SAS Institute Inc., Cary, Carolina del Norte, EE. UU.). Todos los datos se verificaron previamente para la normalidad (prueba de Shapiro-Wilk). Se utilizó el procedimiento de análisis de varianza del modelo MIXTO (ANOVA) para evaluar los efectos de los distintos tratamientos con antioxidantes (tanto en el medio de enfriamiento-congelación como de descongelación), así como el efecto del tiempo de incubación post-descongelación (30 min y 150 min) a 37 °C, sobre el estado del acrosoma, la viabilidad, motilidad y los parámetros de estrés oxidativo. Estos efectos y sus interacciones se incluyeron como efectos fijos y el verraco como un efecto aleatorio en el modelo mixto. En la prueba de efectos fijos, las interacciones no mostraron un efecto estadísticamente significativo y las medias que se muestran corresponden a cada uno de los efectos por separado en los diferentes parámetros de calidad espermática evaluados.

Cuando el ANOVA reveló un efecto significativo, los valores se compararon mediante la prueba de Tukey-Kramer y se consideraron significativos cuando P era inferior a 0,05. Los resultados se presentan como la media \pm ES (error estándar).

Resultados

Los resultados principales de la calidad espermática post-descongelación pueden verse en la Tabla 1. En términos generales, la adición de antioxidantes tuvo efecto sobre la calidad espermática, pero con resultados diferentes cuando se añadían en los medios de enfriamiento-congelación que en el medio de descongelación. El % de EAI se conserva mejor a los 30 min post-descongelación en todos los tratamientos comparado con el control. Pero a los 150 min los tratamientos que incluyeron los antioxidantes en los medios de enfriamiento-congelación (tratamientos LEY) son los que mantuvieron las diferencias significativas con el control, y los tratamientos con antioxidantes en el medio de descongelación (tratamientos BTS) mantuvieron valores intermedios.

En el % de EV a los 30 min no hay diferencias significativas entre ningún tratamiento, pero a los 150 min los tratamientos con antioxidantes en los medios de enfriamiento-congelación mostraron diferencias significativas con el control, manteniendo una mayor viabilidad de los espermatozoides en el tiempo, que si los antioxidantes se hubieran incluido en el medio de descongelación.

En el % de EMT a los 30 min post-descongelación, no hubo diferencias significativas entre ningún tratamiento (con la excepción del TOC-LEY). Pero a los 150 min, la motilidad de todos los tratamientos disminuyó significativamente, siendo el control el que tuvo el % más bajo. Los mejores resultados se observa-

ron en los tratamientos TOC-BTS, HIDROX-BTS y GSH-LEY. Por otra parte en el % EMP a los 30 min, los tratamientos con glutatión reducido (GSH-LEY y GSH-BTS) mostraron los mejores resultados, pero a los 150 min post-descongelación, los resultados se volvieron similares a los observados en los EMT.

Los resultados de ROS, FRAP y MDA se muestran también en la Tabla 1. Los resultados de MDA no mostraron diferencias significativas entre ningún tratamiento ni a los 30 min ni a los 150 min post-descongelación. Pero si hubo diferencias entre tratamientos en los parámetros de ROS y FRAP, mostrando cómo los tratamientos con antioxidantes en los medios de enfriamiento-congelación a los 30 min tienen los valores más altos, y los tratamientos con antioxidantes en el medio de descongelación los más bajos, mostrando valores intermedios el control ($P < 0,05$). A los 150 min, casi todos los tratamientos se equipararon entre sí en estos dos parámetros.

Discusión

Este estudio muestra que la incorporación de antioxidantes en el proceso de criopreservación espermática de cerdo Ibérico, podría proteger la calidad espermática post-descongelación, pero también muestra resultados diferentes cuando los antioxidantes se incorporan en el medio de enfriamiento-congelación que cuando están presentes solo en el medio de descongelación.

Los tratamientos con antioxidantes en los medios de enfriamiento-congelación (tratamientos LEY) mantuvieron más elevados los porcentajes de EV y EAI durante más tiempo. Estudios que han usado estos mismos antioxidantes ha visto también que pueden mejorar la viabilidad espermática en la especie porcina en razas de capa blanca (Gadea et al., 2005a; Jeong et al., 2009; Yeste et al., 2014)

Tabla 1. Efecto de la inclusión de diferentes antioxidantes en los diluyentes de congelación (LEY) y de descongelación (BTS) sobre la calidad espermática y el estrés oxidativo, a los 30 min y 150 min post-descongelación (37 °C).
 Table 1. Effect of the inclusion of different antioxidants in freezing (LEY) and thawing (BTS) extenders on sperm quality and oxidative stress, at 30 min and 150 min post-thawing (37 °C).

Variable	Tiempo (min)	A (Control)	TRATAMIENTOS					
			GSH-LEY	GSH-BTS	TOC-LEY	TOC-BTS	HIDROX-LEY	HIDROX-BTS
EAI	30	56 ± 0,66 ^{b*}	58,65 ± 0,83 ^{a*}	59,72 ± 1,21 ^{a*}	57,44 ± 1,54 ^{ab*}	58,78 ± 1,23 ^{a*}	59,67 ± 1,08 ^{a*}	59,28 ± 1,14 ^{a*}
EAI	150	45,69 ± 0,8 ^c	52,04 ± 1,36 ^a	47,63 ± 1,39 ^{bc}	49,05 ± 1,54 ^{ab}	48,69 ± 1,39 ^{abc}	50,78 ± 1,31 ^{ab}	48,37 ± 1,65 ^{bc}
EV	30	58,72 ± 0,76 [*]	59,82 ± 1,3	59,5 ± 0,89 [*]	58,77 ± 1,86	61,25 ± 1,1 [*]	59,85 ± 1,15	61,11 ± 0,75
EV	150	53,51 ± 0,63 ^c	60,83 ± 1,1 ^a	54,32 ± 1,31 ^c	58,37 ± 2,01 ^{ab}	54,81 ± 1,3 ^c	58,75 ± 1,11 ^a	55,65 ± 1,06 ^{bc}
EMT	30	70,04 ± 1,34 ^{a*}	70,95 ± 2,56 ^{a*}	72,43 ± 1,91 ^{a*}	59,57 ± 3,01 ^{b*}	73,29 ± 2,2 ^{a*}	70,32 ± 1,25 ^{a*}	69,01 ± 1,49 ^{a*}
EMT	150	34,71 ± 1,42 ^d	46,77 ± 2,55 ^{abc}	40,86 ± 1,57 ^c	41,22 ± 3,25 ^c	51,09 ± 2,32 ^a	44,84 ± 1,88 ^{bc}	49,46 ± 1,65 ^{ab}
EMP	30	55,02 ± 1,22 ^{b*}	57,12 ± 1,96 ^{ab*}	59,75 ± 1,11 ^{a*}	48,58 ± 2,75 ^{c*}	55,03 ± 1,6 ^{b*}	54,67 ± 1,09 ^{b*}	54,32 ± 1,55 ^{b*}
EMP	150	25,95 ± 1,21 ^c	36,03 ± 1,95 ^a	30,51 ± 1,46 ^b	30,94 ± 2,54 ^b	38,12 ± 2,33 ^a	34,83 ± 1,49 ^{ab}	38 ± 1,79 ^a
FRAP	30	360,23 ± 16,01 ^b	425,29 ± 21,22 ^{a*}	297,66 ± 13,93 ^{c*}	445,99 ± 14,3 ^{a*}	291,01 ± 16,77 ^{c*}	438,99 ± 16,19 ^{a*}	306,91 ± 14,93 ^{c*}
FRAP	150	331,42 ± 11,12 ^{ab}	352,82 ± 15,23 ^{ab}	338,59 ± 14,71 ^{ab}	364,77 ± 11,49 ^a	317,52 ± 24,16 ^{bc}	353,8 ± 18,89 ^{ab}	291,72 ± 17,6 ^c
ROS	30	12,49 ± 1,29 ^{b*}	17,31 ± 0,72 ^{a*}	6,07 ± 0,22 ^c	16,72 ± 0,4 ^{a*}	4,67 ± 0,36 ^c	16,2 ± 0,71 ^{a*}	5,47 ± 0,56 ^c
ROS	150	6,21 ± 0,37 ^{ab}	5,13 ± 0,51 ^{bc}	6,72 ± 0,39 ^a	4,97 ± 0,41 ^c	5,63 ± 0,78 ^{abc}	5,22 ± 0,34 ^{bc}	4,75 ± 0,39 ^c
MDA	30	6,3x10 ⁻⁴ ± 1,2x10 ⁻⁴	9,3x10 ⁻⁴ ± 1,8x10 ⁻⁴	6,3x10 ⁻⁴ ± 3x10 ⁻⁴	7,3x10 ⁻⁴ ± 1x10 ⁻⁴	6,2x10 ⁻⁴ ± 2,4x10 ⁻⁴	9,1x10 ⁻⁴ ± 1,8x10 ^{-4*}	5,9x10 ⁻⁴ ± 0,9x10 ⁻⁴
MDA	150	5,1x10 ⁻⁴ ± 0,8x10 ⁻⁴	5,7x10 ⁻⁴ ± 0,5x10 ⁻⁴	6,7x10 ⁻⁴ ± 1,9x10 ⁻⁴	6x10 ⁻⁴ ± 0,5x10 ⁻⁴	7x10 ⁻⁴ ± 1,5x10 ⁻⁴	5,4x10 ⁻⁴ ± 0,8x10 ⁻⁴	4,6x10 ⁻⁴ ± 1,2x10 ⁻⁴

A control, no incluye antioxidantes; GSH-LEY y GSH-BTS, incluyen 1 mM de glutatión reducido; TOC-LEY y TOC-BTS, incluyen 200 µg/mL de α-tocoferol; HIDROX-LEY y HIDROX-BTS, incluyen 200 µg/mL de hidroxitirosol. EAI: % espermatozoides con el acrosoma intacto; EV: % espermatozoides vivos; EMT: % espermatozoides motiles totales; EMP: % espermatozoides motiles progresivos; ROS: Producción de sustancias oxígeno reactivas (1 unidad = 1,0 mg de H₂O₂/l); FRAP: capacidad antioxidante total (µmol/l); MDA: peroxidación lipídica de la membrana (pmol/10⁸ células). Letras diferentes (a, b, c) dentro de una misma fila indican diferencias significativas entre tratamientos (P < 0,05). * Indica diferencias significativas entre los tiempos de incubación post-descongelación para un mismo tratamiento (P < 0,05). Los datos se expresan como la media ± error estándar (n = 12).

o también en otras especies diferentes (Hu et al., 2014; Pei et al., 2018). Incluso algunos autores, en cerdo de capa blanca, han observado al igual que en nuestro estudio que el efecto protector sobre las membranas se observa pasado un tiempo post-descongelación y no poco después de la descongelación (Malo et al., 2010). Muchos de estos autores asumen que la peroxidación lipídica es la causante del mayor porcentaje de espermatozoides con la membrana dañada post-descongelación. Pero en nuestro estudio, los resultados mostraron que la peroxidación, analizada indirectamente por MDA, fue muy baja y sin diferencias entre los tratamientos, y la viabilidad solo se mantuvo en el tiempo cuando los antioxidantes estaban presentes durante la congelación y no así en la descongelación. Por esta razón, el efecto beneficioso de los antioxidantes puede estar más relacionado con su capacidad para estabilizar las membranas (Wang y Quinn, 1999; Khan et al., 2020). Ciertos antioxidantes como el α -tocoferol pueden formar complejos con los componentes lipídicos de la membrana, haciendo que la membrana sea más estable (revisado por Wang y Quinn, 1999). Algunos estudios, en cerdos de capa blanca, han visto cómo los antioxidantes aumentan el porcentaje de espermatozoides con menor desorden lipídico en sus membranas (Peña et al., 2004; Gadea et al., 2005a), y han mostrado también un efecto estabilizador en la estructura de la nucleoproteína (Yeste et al., 2013 y 2014). Así sabiendo que el proceso de crioconservación induce cambios en la membrana de los espermatozoides que conducen a su desestabilización, lo que afecta a la integridad del acrosoma y el desorden lipídico de las membranas (revisado por Yeste, 2015), es posible que la estabilidad durante el enfriamiento y la congelación dada por los antioxidantes, pudiera permitir la existencia de un mayor porcentaje de espermatozoides sin cambios en la estructura de su membrana lipídica y, por lo tanto, una mejor resistencia

contra el proceso de crioconservación. Esto explicaría porque no se mantiene la viabilidad y la acrosomía igual cuando los antioxidantes están en el medio de enfriamiento-congelación que en el de descongelación.

La motilidad en términos generales a los 30 min (EMT y EMP) no se vio influenciada por la presencia de antioxidantes en el medio de congelación o descongelación. Esto se asemeja a lo observado en otros estudios en cerdos de otras razas, donde la motilidad tampoco se vio afectada por los antioxidantes justo después de la descongelación (Gadea et al., 2005a,b; Malo et al., 2010; Arando et al., 2019). Cabe remarcar que los tratamientos que incluían glutatión reducido (GSH-LEY y GSH-BTS), mostraron valores significativamente más altos de EMP que otros tratamientos y, resultados similares han sido observados en otros estudios en la especie porcina, donde usaron este antioxidante (Yeste et al., 2014; Giaretta et al., 2015). Por otro lado, el tratamiento TOC-LEY fue el único que mostró valores más bajos de EMT, hecho que podría ser debido al tipo de α -tocoferol utilizado, ya que mostró más problemas para su dilución en el medio LEY.

Aunque se ha descrito una disminución en la formación de MDA debido a la presencia de antioxidantes en el proceso de congelación espermática (Hu et al., 2014; Pei et al., 2018), en este estudio se ha observado que no existen diferencias significativas en su formación entre tratamientos, siendo además los valores muy bajos, lo que concuerda con estudios similares, en distintas especies, donde el porcentaje de espermatozoides peroxidados eran muy bajos (Guthrie y Welch, 2007; Gómez-Fernández et al., 2013; Arando et al., 2019).

Además, nuestro estudio muestra resultados muy diferentes en la capacidad antioxidante total y la producción de ROS cuando el antioxidante se encuentra en el medio de congelación o en el de descongelación a los 30

min post-descongelación. Esto podría ser debido al propio equilibrio redox espermático. Estudios recientes han determinado (Panner Selvam *et al.*, 2018) que medir el potencial de reducción oxidativa, que en esencia mide el potencial resultante entre todas las moléculas oxidativas y todas las moléculas reductoras, podría permitir medir el estrés oxidativo de manera más fiable. Y es que la mayoría de los trabajos se centran en analizar la producción de ROS o la peroxidación lipídica, sin tener en cuenta si existe o no un desequilibrio. El estrés oxidativo ocurre cuando el equilibrio entre la oxidación y los sistemas antioxidantes se interrumpe debido a los niveles excesivos de ROS o al agotamiento de los antioxidantes, por lo tanto, para evaluar adecuadamente el nivel de estrés oxidativo, estos marcadores deben interpretarse juntos (de Mercado *et al.*, 2018). En este estudio se intentó observar, si variaciones en la producción de sustancias ROS irían acompañadas también de variaciones en la capacidad antioxidante (medido por FRAP), observando así si hay una descompensación con respecto al control. Así, observando los resultados, el punto de mayor desequilibrio redox podría ser el momento de la descongelación. En el control los valores de ROS son altos, pero no es así en los tratamientos con antioxidantes en el medio de descongelación. Es posible que la presencia de estos antioxidantes en el diluyente de descongelación ayude a prevenir la formación temprana de ROS, que no ocurre en la muestra control. En consecuencia, la menor producción de ROS disminuye la respuesta antioxidante, y por eso estos tratamientos tienen valores de FRAP más bajos. Al observar los resultados en los tratamientos con antioxidantes en los medios de enfriamiento-congelación, se observaron niveles más altos de ROS que el control. Esto puede deberse a que, durante la descongelación, el momento de mayor desequilibrio redox, las muestras se diluyen en BTS 1:1 (sin ningún antioxidante para estos tratamientos), lo que

provoca que su capacidad antioxidante se reduzca bruscamente a la mitad; esto causaría el mayor incremento de ROS observado en los resultados y, en consecuencia, el aumento de la capacidad antioxidante (FRAP) como respuesta compensatoria. Con el tiempo (150 min post-descongelación), los valores de ROS y FRAP se equiparán entre todos los tratamientos, posiblemente debido a que el estrés oxidativo del momento inicial de la descongelación ha ido disminuyendo y por tanto todos los valores se van equilibrando. Esto mostraría que el momento de descongelación podría ser un punto clave del posible desequilibrio redox.

Todos estos resultados concuerdan con estudios anteriores que sugieren que el sistema endógeno de defensa frente a sustancias ROS en el esperma de cerdo es suficientemente eficiente para proteger las células durante el proceso de criopreservación (Guthrie *et al.*, 2008), y con estudios que han demostrado que los niveles de espermatozoides peroxidados son extremadamente bajos (Guthrie y Welch, 2007; Gómez-Fernández *et al.*, 2013; Arando *et al.*, 2019). Por lo tanto, esto podría sugerir que la peroxidación lipídica no es uno de los principales factores responsables de la disfunción espermática en la especie porcina atribuida a la criopreservación (Parrilla *et al.*, 2012).

Conclusiones

Este estudio muestra que el uso de antioxidantes en el medio de enfriamiento-congelación puede mejorar la criopreservación espermática de cerdo Ibérico, especialmente la inclusión de glutatión reducido (1 mM), facilitando la implementación del uso del semen congelado en la inseminación artificial en cerdo Ibérico. Por otro lado, en el caso de muestras espermáticas ya congeladas en, por ejemplo, bancos de recursos zoogenéticos,

sería interesante la inclusión de antioxidantes en el medio de descongelación, por ser capaces de mantener la motilidad espermática post-descongelación durante más tiempo. Aun así, serían necesarios más estudios para determinar si otras concentraciones u otros antioxidantes pudieran funcionar mejor en esta raza porcina, y también profundizar en su efecto sobre el equilibrio redox.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León y el Fondo Europeo de Desarrollo Regional FEDER.

Referencias bibliográficas

- Arando A, Delgado JV, Fernández-Prior A, León JM, Bermúdez-Oria A, Nogales S, Pérez-Marín CC (2019). Effect of different olive oil-derived antioxidants (hydroxytyrosol and 3,4-dihydroxyphenylglycol) on the quality of frozen-thawed ram sperm. *Cryobiology* 86: 33-39. <https://doi.org/10.1016/j.cryobiol.2019.01.002>.
- Awda BJ, Mackenzie-Bell M, Buhr MM (2009). Reactive oxygen species and boar sperm function. *Biology of Reproduction* 81: 553-561. <https://doi.org/10.1095/biolreprod.109.076471>.
- Barranco I, Tvarijonaviciute A, Perez-Patiño C, Parrilla I, Ceron JJ, Martinez EA, Rodriguez-Martinez H, Roca J (2015). High total antioxidant capacity of the porcine seminal plasma (SP-TAC) relates to sperm survival and fertility. *Scientific Reports* 5: 18538. <https://doi.org/10.1038/srep18538>.
- Benzie I, Strain J (1996). The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of antioxidant power. The FRAP assay. *Analytical Biochemistry* 239: 70-76. <https://doi.org/10.1006/abio.1996.0292>.
- Breining E, Descalzo A, Rossetti L, Abramovich D, Beconi MT (2011). Boar sperm functionality is related to α -tocopherol content after freezing-thawing. *Andrologia* 43: 409-415. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0272.2010.01094.x>.
- Cremades T, Roca J, Rodriguez-Martinez H, Abaigar T, Vazquez JM, Martinez EA (2005). Kinematic changes during the cryopreservation of boar spermatozoa. *Journal of Andrology* 26: 610-618. <https://doi.org/10.2164/jandrol.05028>.
- De Mercado E, Rodríguez A, Gómez E, Sanz E (2010). Cryopreservation of Iberian pig spermatozoa. Comparison of different freezing extenders based on post-thaw sperm quality. *Animal Reproduction Science* 118: 54-61. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2009.06.006>.
- De Mercado E, Tomás C, Gómez-Fernández J, Gómez-Izquierdo E, González-Bulnes A, Sánchez-Sánchez R (2011). Estudio de la composición de ácidos grasos de la membrana del espermatozoide de cerdo Ibérico y su posible relación con la resistencia al proceso de crioconservación. XIV Jornadas Sobre Producción Animal, 17-18 mayo 2011, Zaragoza, España, pp. 401-403.
- De Mercado E, Larrán AM, Pinedo J, Tomás-Almenar C (2018). Skin mucous: A new approach to assess stress in rainbow trout. *Aquaculture* 484: 90-97. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.10.031>.
- Gadani B, Bucci D, Spinaci M, Tamanini C, Galeati G (2017). Resveratrol and Epigallocatechin-3-gallate addition to thawed boar sperm improves *in vitro* fertilization. *Theriogenology* 90: 88-93. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2016.11.020>.
- Gadea J, Sellés E, Marco MA, Coy P, Matás C, Romar R, Ruíz S (2004). Decrease in glutathione content in boar sperm after cryopreservation. Effect of the addition of reduced glutathione to the freezing and thawing extender. *Theriogenology* 62: 690-701. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2003.11.013>.
- Gadea J, García-Vazquez F, Matás C, Gardón JC, Cánovas S, Gumbao D (2005a). Cooling and freezing of boar spermatozoa: supplementation of the freezing media with reduced glutathione preserves sperm function. *Journal of Andrology* 26: 396-404. <https://doi.org/10.2164/jandrol.04155>.

- Gadea J, Gumbao D, Matás C, Romar R (2005b). Supplementation of the thawing media with reduced glutathione improves function and the *in vitro* fertilizing ability of boar spermatozoa after cryopreservation. *Journal of Andrology* 26: 749-756. <https://doi.org/10.2164/jandrol.05057>.
- Giaretta E, Estrada E, Bucci D, Spinaci M, Rodríguez-Gil JE, Yeste M (2015). Combining reduced glutathione and ascorbic acid has supplementary beneficial effects on boar sperm cryotolerance. *Theriogenology* 83: 399-407. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2014.10.002>.
- Gómez-Fernández J, Gómez-Izquierdo E, Tomás C, Mocé E, de Mercado E (2013). Is sperm freezability related to the post-thaw lipid peroxidation and the formation of reactive oxygen species in boars? *Reproduction in Domestic Animals* 48: 177-182. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0531.2012.02126.x>.
- Guthrie HD, Welch GR (2007). Use of fluorescence-activated flow cytometry to determine membrane lipid peroxidation during hypothermic liquid storage and freeze-thawing of viable boar sperm loaded with 4, 4-difluoro-5-(4-phenyl-1,3-butadienyl)-4-bora-3a,4a-diaza-s-indacene-3-undecanoic acid. *Journal of Animal Science* 85: 1402-1411. <https://doi.org/10.2527/jas.2006-787>.
- Guthrie HD, Welch GR, Long, JA (2008). Mitochondrial function and reactive oxygen species action in relation to boar motility. *Theriogenology* 70: 1209-1215. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2008.06.017>.
- Hayashi I, Morishita Y, Imai K, Nakamura M, Nakachi M, Hayashi T (2007). High throughput spectrophotometric assay of reactive oxygen species in serum. *Mutation Research* 631: 55-61. <https://doi.org/10.1016/j.mrgentox.2007.04.006>.
- Hu J, Geng G, Li Q, Sun X, Cao H, Liu Y (2014). Effects of alginate on frozen-thawed boar spermatozoa quality, lipid peroxidation and antioxidant enzymes activities. *Animal Reproduction Science* 147: 112-118. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2014.04.007>.
- Jeong YJ, Kim MK, Song HJ, Kang EJ, Ock SA, Kumar BM, Balasubramanian S, Rho GJ (2009). Effect of alpha-tocopherol supplementation during boar semen cryopreservation on sperm characteristics and expression of apoptosis related genes. *Cryobiology* 58: 181-189. <https://doi.org/10.1016/j.cryobiol.2008.12.004>.
- Johnson LA, Weitze KF, Fiser P, Maxwell WMC (2000). Storage of boar semen. *Animal Reproduction Science* 62: 143-172. [https://doi.org/10.1016/s0378-4320\(00\)00157-3](https://doi.org/10.1016/s0378-4320(00)00157-3).
- Kedechi, S, Zribi N, Louati N, Menif H, Sellami A, Lassoued S, Ben Mansour R, Keskes L, Rebai T, Chakroun N (2016). Antioxidant effect of hydroxytyrosol on human sperm quality during *in vitro* incubation. *Andrologia* 49(1): e12595. <https://doi.org/10.1111/and.12595>.
- Khan M, Samrana S, Zhang Y, Malik Z, Daud Khan M, Zhu S (2020). Reduced glutathione protects subcellular compartments from Pb-Induced ROS injury in leaves and roots of upland cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Frontiers in Plant Science* 11: 412. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00412>.
- Maldjian A, Pizzi F, Gliozzi TM, Cerolini S, Penny P, Noble R (2005). Changes in sperm quality and lipid composition during cryopreservation of boar semen. *Theriogenology* 63: 411-421. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2004.09.021>.
- Malo C, Gil L, Gonzalez N, Martínez F, Cano R, de Blas I, Espinosa E (2010). Anti-oxidant supplementation improves boar sperm characteristics and fertility after cryopreservation: comparison between cysteine and rosemary (*Rosmarinus officinalis*). *Cryobiology* 61: 142-147. <https://doi.org/10.1016/j.cryobiol.2010.06.009>.
- MAPA (2019). Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. Censos de animales y productos comercializados. Disponible en: www.mapa.gob.es/es/alimentacion/temas/control-calidad/mesa-iberico/riber-publico/censos-animales-productos-comercializados/ (Consultado: Mayo 2020).
- Panner Selvam MK, Henkel R, Sharma R, Agarwal A (2018). Calibration of Redox potential in sperm wash media and evaluation of oxidation-reduction potential values in various assisted reproductive technology culture media using MiOXSYS system. *Andrology* 6: 293-300. <https://doi.org/10.1111/andr.12461>.

- Parrilla I, del Olmo D, Sijes L, Martínez-Alborcia MJ, Cuello C, Vazquez JM, Martínez EA Roca J (2012). Differences in the ability of spermatozoa from individual boar ejaculates to withstand different semen-processing techniques. *Animal Reproduction Science* 132: 66-73. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2012.04.003>.
- Pei Y, Yang L, Wu L, He H, Geng G, Xu D, Chen H, Li Q (2018). Combined effect of apigenin and ferulic acid on frozen-thawed boar sperm quality. *Animal Science Journal* 89: 956-965. <https://doi.org/10.1111/asj.13009>.
- Peña FJ, Johannisson A, Wallgren M, Rodríguez-Martínez H (2004). Antioxidant supplementation of boar spermatozoa from different fractions of the ejaculate improves cryopreservation: changes in sperm membrane lipid architecture. *Zygote* 12: 117-124. <https://doi.org/10.1017/s096719940400262x>.
- Pursell VG, Johnson LA, Schulman LL (1972). Interaction of extender composition and incubation period on cold shock susceptibility of boar spermatozoa. *Journal of Animal Science* 35: 580-584. <https://doi.org/10.2527/jas1972.353580x>.
- Pursell VG, Johnson LA (1975). Freezing of boar spermatozoa: fertilizing capacity with concentrated semen and a new thawing procedure. *Journal of Animal Science* 40: 99-102. <https://doi.org/10.2527/jas1975.40199x>.
- Herrero-Medrano JM, Megens H, Groenen MAM, Ramis G, Bosse M, Pérez-Enciso M, Crooijmans RPMA (2013). Conservation genomic analysis of domestic and wild pig populations from the Iberian Peninsula. *BMC Genet* 14: 106. <https://doi.org/10.1186/1471-2156-14-106>.
- Roca J, Gil MA, Hernández M, Parrilla I, Vazquez JM, Martínez EA (2004). Survival and fertility of boar spermatozoa after freeze-thawing in extender supplemented with butylated hydroxytoluene. *Journal of Andrology* 25: 397-405. <https://doi.org/10.1002/j.1939-4640.2004.tb02806.x>.
- Tomás C, Gómez-Fernández J, Gómez-Izquierdo E, de Mercado E (2014). Combined use of fluorescence and phase contrast microscopy for the determination of sperm viability. *Reproduction in Domestic Animals* 49: 103. <https://doi.org/10.1111/rda.12402>.
- Tripoli E, Giammanco M, Tabacchi G, Di Majo D, Giammanco S, La Guardia M (2005). The phenolic compounds of olive oil: structure, biological activity and beneficial effects on human health. *Nutrition Research Reviews* 18: 98-112. <https://doi.org/10.1079/NRR200495>.
- Wang X, Quinn PJ (1999). Vitamin E and its function in membranes. *Progress in Lipid Research* 38: 309-336. [https://doi.org/10.1016/s0163-7827\(99\)00008-9](https://doi.org/10.1016/s0163-7827(99)00008-9).
- Watson PF (1995). Recent developments and concepts in the cryopreservation of spermatozoa and the assessment of their post-thawing function. *Reproduction Fertility and Development* 7(4): 871-891. <https://doi.org/10.1071/rd9950871>.
- Weng XG, Cai MM, Zhang YT, Liu Y, Gao ZL, Song J, Liu ZH (2018). Effect of Astragalus polysaccharide addition to thawed boar sperm on in vitro fertilization and embryo development. *Theriogenology* 121: 21-26. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2018.07.030>.
- Yeste M, Flores E, Estrada E, Bonet S, Rigau T, Rodríguez-Gil JE (2013). Reduced glutathione and procaine hydrochloride protect the nucleoprotein structure of boar spermatozoa during freeze-thawing by stabilising disulfide bonds. *Reproduction, Fertility and Development* 25: 1036-1050. <https://doi.org/10.1071/RD12230>.
- Yeste M, Estrada E, Pinart E, Bonet S, Miró J, Rodríguez-Gil JE (2014). The improving effect of reduced glutathione on boar sperm cryotolerance is related with the intrinsic ejaculate freezeability. *Cryobiology* 68: 251-261. <https://doi.org/10.1016/j.cryobiol.2014.02.004>.
- Yeste M (2015). Recent advances in boar sperm cryopreservation: state of the art and current perspectives. *Reproduction in Domestic Animals* 50: 71-79. <https://doi.org/10.1111/rda.12569>.
- Yeste M (2017). State-of-the-art of boar sperm preservation in liquid and frozen state. *Animal Reproduction* 14: 69-81. <https://doi.org/10.21451/1984-3143-AR895>.

(Aceptado para publicación el 19 de febrero de 2021)

¿Existe un patrón de preferencias del consumidor diferente según el tipo de jamón ibérico?

Rubén Granado-Díaz^{1,2,*}, Anastasio J. Villanueva^{1,3}, Macario Rodríguez-Entrena¹, Melania Salazar-Ordóñez¹, Manuel Estévez², Alejandro Sanz² y Trinidad Manrique²

¹ Grupo de investigación *Water, Environmental and Agricultural Resources Economics (WEARE)*. Universidad de Córdoba. Campus Rabanales, Ctra. N-IV. 14014. Córdoba, España

² Agencia de Gestión Agraria y Pesquera de Andalucía (AGAPA) Avda. Menéndez Pidal, s/n Campus Agroalimentario Alameda del Obispo. 14004. Córdoba, España

³ Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera (IFAPA), Centro IFAPA Camino de Purchil, Granada, Camino de Purchil s/n. 18004. Granada, España

Resumen

Esta investigación tiene por objeto analizar el comportamiento diferencial del consumidor en relación con distintos atributos de búsqueda y confianza presentes en el jamón ibérico de bellota y de cebo. De forma novedosa, respecto del primer tipo de atributo se valora el formato de corte del jamón (a mano o loncheado a máquina) y, respecto del segundo tipo, la alusión en el empaquetado (con información escrita y gráfica) a la procedencia del sistema agrosilvopastoral de la dehesa –de alto valor natural y cultural–. Para ello, se utiliza la técnica de los experimentos de elección a partir de una amplia encuesta de consumidores de jamón ibérico en Andalucía. Los resultados obtenidos muestran que existe un patrón de preferencias del consumidor diferente dependiendo del tipo de jamón ibérico, no solo en cuanto a la disposición a pagar por cada tipo, mayor en el caso del jamón de bellota, como cabe esperar, sino también en cuanto a la composición de las funciones de utilidad. Así, se observa una mayor variedad de atributos significativos en el caso del jamón de bellota, fundamentalmente asociada al diferente patrón de preferencias respecto de los atributos relativos a la procedencia del producto. Estos resultados son de interés para el sector, al permitir establecer estrategias de comercialización diferentes para el jamón ibérico de bellota y de cebo.

Palabras clave: Jamón ibérico de bellota, dehesa, atributos de búsqueda, atributos de confianza, experimentos de elección, disposición a pagar.

Are there different consumers' preference patterns depending on the type of Iberian ham?

Abstract

This research analyses the differential consumer behaviour when search and credence attributes are involved in both acorn- and fodder-fed Iberian ham. Regarding the former attribute type, we assess ham-cutting (hand-cut *versus* machine-cut) and, related to the latter type, the product provenance (evoked in the packaging through written and graphic information) associated with the agroforestry systems of

* Autor para correspondencia: ruben.granado@juntadeandalucia.es

Cita del artículo: Granado-Díaz R, Villanueva AJ, Rodríguez-Entrena M, Salazar-Ordóñez M, Estévez M, Sanz A, Manrique T (2021). ¿Existe un patrón de preferencias del consumidor diferente según el tipo de jamón ibérico? ITEA-Información Técnica Económica Agraria 117(5): 557-579. <https://doi.org/10.12706/itea.2021.002>

dehesa (Iberian oak savanna) –which show high environmental and cultural values–. To the best of our knowledge, these attributes are scientifically assessed for the first time. To do so, the Discrete Choice Experiment technique was performed using a sample of Andalusian (southern Spain) consumers of Iberian ham. The results show different consumer's preference patterns for both types of Iberian ham, not only because of a diverse willingness to pay (higher for acorn-fed Iberian ham) but also according to the composition of the utility functions. In particular, a wider variety of significant attributes was observed for the acorn- compared to the fodder-fed Iberian ham, especially due to a different preference pattern toward the attribute of product provenance. These findings can allow the producers to design and implement different and improved marketing strategies for both acorn- and fodder-fed Iberian ham.

Keywords: Acorn-fed Iberian ham, dehesa, search attributes, credence attributes, discrete choice experiment, willingness to pay.

Introducción

El jamón ibérico es uno de los productos españoles más ampliamente reconocidos en el mundo (Díaz-Caro et al., 2019). Resulta muy apreciado, como se infiere de los elevados precios relativos en el mercado en relación con otros productos cárnicos derivados del cerdo, y engloba una amplia diversidad de categorías de productos que esencialmente varían según el sistema de producción, la pureza racial y el tipo de alimentación (Mesías et al., 2009).

Dentro de esta diversidad, el jamón ibérico de bellota es seguramente el producto más característico. Su singularidad está estrechamente ligada al sistema de producción, consistente en la no estabulación de los cerdos y una alimentación –en la fase final del engorde– a base de bellota, hierba y otros recursos naturales exclusivamente, todo ello enmarcado dentro del sistema agrosilvopastoral de la dehesa. Este sistema procede de la intervención humana sobre el ecosistema natural de bosque mediterráneo, adaptándolo a un uso fundamentalmente agroganadero, y que se caracteriza por un alto valor natural y cul-

tural (CAPDR, 2017). Ello le confiere al producto unas características diferenciales que, además de convertirlo en un alimento de alto valor añadido, es muy apreciado por el consumidor (Carrapiso et al., 2002). No en vano se aprecia una demanda creciente de este tipo de productos tradicionales de alta calidad (Pugliese y Sirtori, 2012).

No obstante, dentro del sector del porcino ibérico se han desarrollado otros sistemas de producción al margen de la dehesa. Estos productos, denominados “de cebo”, proceden de animales estabulados y cruzados, en la mayoría de las ocasiones, con una raza más precoz y de mayor tamaño como es la Duroc, y alimentados a base de piensos, mostrando por tanto un carácter productivo intensivo similar a los del resto del sector porcino. En algunas ocasiones, se pueden encontrar variaciones respecto de esta modalidad productiva general de jamón ibérico de cebo, especialmente en relación con la pureza racial (utilizando padres 100 % ibéricos) o la alimentación (utilizando recursos de la dehesa o del campo como complemento a los piensos, siendo este el caso del “cebo de campo”)¹.

1. Sobre estas modalidades menos frecuentes, cabe detenerse brevemente. Respecto del jamón ibérico de cebo 100 % ibérico, si bien está permitido por la Norma de Calidad (BOE, 2014a), su presencia es marginal porque no representa una estrategia empresarial atractiva (por mayores costes de producción sin que el consumidor aprecie

Así, el jamón ibérico de cebo en sus distintas modalidades, si bien presenta unas características organolépticas diferenciales asociadas a la raza (Ramírez y Cava, 2007), no alcanza a mostrar los parámetros de calidad que se atribuyen a los productos procedentes de animales alimentados con bellota.

Pese a ello, y aunque ambos tipos de jamón ibérico se diferencian en términos de calidad objetiva (especialmente al comparar el jamón ibérico de cebo –en su modalidad productiva más general– y el de bellota), existe cierta confusión a la hora de identificar las características propias de los distintos tipos de jamón ibérico (Espejel et al., 2007; Resano et al., 2007; Mesías et al., 2009), que puede conducir a ser percibidos por el consumidor como parcialmente sustitutivos, pudiéndose generar así problemas de diferenciación por calidades (Salazar-Ordóñez et al., 2018). Esta confusión se refiere no solo a las características intrínsecas del producto (como sabor, textura u olor), sino también a las características extrínsecas del mismo (sistema de producción, origen, o precio), que ofrecen al consumidor indicios sobre su calidad y que pueden ser integradas como atributos de búsqueda, experiencia y de confianza (Becker, 2000)². La ocurrencia de este fenómeno de sustituibilidad parcial, por falta de diferenciación efectiva por calidades, se ve agravada por la existencia de las diferentes modalidades productivas del jamón ibérico de cebo (en especial por la categoría “cebo de campo”).

En la literatura existen investigaciones previas relativas a cómo afectan estos atributos en el consumo de jamón ibérico y otros jamones curados, centradas especialmente en la importancia del origen del producto, mediante el lugar geográfico de procedencia, y del sistema de producción, mediante la raza y el tipo de alimentación. Entre los estudios que analizan los determinantes de compra de los jamones curados –incluyendo los ibéricos– caben destacar los de Resano et al. (2007 y 2012) y Mesías et al. (2009). Resano et al. (2007) emplean la técnica de precios hedónicos para analizar la aceptabilidad del jamón curado a partir de características como la región de origen, la certificación de calidad, la marca y la raza, obteniendo que la raza ibérica y el origen del producto son las características que afectan en mayor medida a la valoración del mismo. Mesías et al. (2009), por su parte, utilizan el análisis conjunto para estudiar las preferencias de los consumidores de jamón, estimando la importancia relativa del tipo de jamón (ibérico de bellota, ibérico de cebo o serrano), denominación de origen, formato de compra (pieza completa, loncheado y envasado o cortado en el establecimiento) y precio, obteniendo que el precio y el tipo de jamón son los atributos más importantes para el consumidor. Resano et al. (2012) emplean igualmente análisis conjunto para evaluar cómo la valoración sensorial y las actitudes respecto al jamón curado con denominación de origen protegida (DOP)

diferencias claras en la calidad organoléptica). Respecto de la categoría “cebo de campo”, como aparece en la mencionada norma, se trata de “animales que aunque hayan podido aprovechar recursos de la dehesa o del campo, han sido alimentados con piensos, constituidos fundamentalmente por cereales y leguminosas, y cuyo manejo se realice en explotaciones extensivas o intensivas al aire libre pudiendo tener parte de la superficie cubierta” (incluyendo un requisito de superficie mínima en su fase de cebo de 100 m² de suelo libre total por animal).

2. Los atributos de experiencia son aquellas características que el consumidor puede evaluar ex-post una vez ha consumido (experimentado) el producto. Los atributos de búsqueda son aquellas características que el consumidor puede evaluar durante el proceso previo de compra (Nelson, 1970). Los atributos de confianza son aquellas características del producto que son difícilmente comprobables por el consumidor al no tener este traza objetiva accesible ni durante su proceso de compra ni incluso después de su experiencia de consumo (Darby y Karni, 1973).

afecta a las preferencias del consumidor, obteniendo que el origen por sí mismo es una señal de calidad más importante para el consumidor que la certificación como DOP.

Para el caso concreto del jamón ibérico, la literatura previa se limita únicamente a los trabajos más recientes de Sahelices *et al.* (2017) y Díaz-Caro *et al.* (2019), ambos aplicando experimentos de elección. Sahelices *et al.* (2017) estudian el conocimiento de los consumidores y su valoración en relación con el sistema de producción del jamón ibérico (tipo de alimentación y pureza racial) y las DOP, obteniendo que, si bien las DOP son más conocidas que los atributos derivados del sistema de producción, estas solo aportan un valor añadido reducido al producto frente a atributos como el tipo de alimentación. Más recientemente, Díaz-Caro *et al.* (2019) estudian las preferencias de los consumidores respecto de varios tipos de jamón ibérico en función de la pureza racial, el tipo de alimentación del cerdo, el origen y el tipo de envasado (al vacío o en atmósfera modificada), mostrando que el tipo de alimentación y el origen del producto son los atributos más apreciados por el consumidor.

Como puede observarse, si bien los estudios previos evidencian extensamente la elevada importancia de algunos atributos (especialmente la pureza racial y el tipo de alimentación, así como el origen y el precio) respecto de la intención de compra de jamón ibérico, existen otros atributos relevantes de los que parece no existir literatura. El presente estudio pretende contribuir al conocimiento del comportamiento del consumidor respecto del proceso de toma de decisiones en el mercado del jamón ibérico; para ello se emplea la técnica de los experimentos de elección discreta a partir de una amplia encuesta a consumidores de jamón ibérico en Andalucía. Así, se analiza el comportamiento diferencial en relación con distintos atributos de búsqueda y confianza presentes en el jamón

ibérico de bellota y de cebo. Esto conlleva estudiar las preferencias y disposiciones a pagar de los consumidores hacia diferentes indicios de calidad que incluyen, no solo la pureza de la raza y tipo de alimentación del animal determinantes del sistema de producción presente en estudios previos, sino también el formato de corte del jamón (cortado a mano o loncheado a máquina) y el origen del producto (vinculándolo con información sobre la procedencia de dehesa de forma escrita y/o pictórica en el empaquetado), todos ellos atributos novedosos en la literatura. En relación con los dos últimos, dentro del conocimiento de los autores, el formato de corte no aparece en ninguno de los estudios previos. Tan solo Mesías *et al.* (2009) incluyen un atributo que puede considerarse similar, como es el formato de compra del jamón, diferenciando entre la compra de la pieza completa, la compra de jamón en el establecimiento, y la compra del jamón loncheado y envasado, sin que se haga una mención expresa a que el jamón esté cortado a mano en ningún caso. Por el contrario, en estudios precedentes (por ejemplo, Mesías *et al.*, 2009; Sahelices *et al.*, 2017; Díaz-Caro *et al.*, 2019) el origen del producto es tratado principalmente a través de Denominaciones de Origen Protegidas (DOP) y, por tanto, vinculado a una zona geográfica determinada, pero no a un agrosistema de origen, como es el caso de la dehesa que, además, se puede encontrar en diferentes zonas geográficas del Sudeste español y Portugal. Estos aspectos pueden resultar de utilidad para el sector en el diseño de sus estrategias de marketing y comercialización, al aportar información, por un lado, sobre el intercambio que realiza el consumidor entre calidad objetiva, representada por la raza y el tipo de corte, con respecto al precio y, por otro, la percepción de valor del producto que tiene el consumidor al informar en el etiquetado sobre la vinculación del producto con el sistema agrosilvopastoral de la dehesa.

Material y métodos

Caso de estudio: el jamón ibérico de bellota y cebo

El jamón curado es uno de los productos más característicos de la gastronomía española. Su proceso de elaboración es relativamente simple, comprendiendo, una vez salidas las piezas del matadero, las fases de salazón, lavado, secado, maduración y envejecimiento, estando su calidad comercial básica regulada en España a través del Real Decreto 474/2014 (BOE, 2014b). Dentro de este, el jamón ibérico, i. e., el jamón proveniente de las razas y variedades porcinas pertenecientes al llamado "tronco ibérico" (*Sus Scrofa Mediterraneus*), autóctonas de la península ibérica, destaca por ser uno de los productos más distintivos, fundamentalmente debido a unas características organolépticas diferenciales que le confieren la raza (color, aroma, sabor y textura característicos, así como la presencia de grasa infiltrada) (Ramírez y Cava, 2007) y que se reflejan en un precio superior. Así, aunque supone el 12,5 % del jamón curado consumido en España en términos volumétricos, en términos de valor total representa un porcentaje significativamente mayor, concretamente del 26,7 % (MAPA, 2019a). El jamón ibérico presenta un proceso de elaboración con plazos más dilatados en el tiempo, caracterizándose por su color oscuro ("pata negra"), así como por las mencionadas propiedades organolépticas diferenciales. Los procesos de secado y curación se asocian tradicionalmente a determinadas zonas con características climáticas favorables localizadas en el oeste-suroeste peninsular, tales como la Sierra de Huelva, el Valle de los Pedroches en

Córdoba, el entorno de Guijuelo en Salamanca y diversas zonas de Extremadura (CAPDR, 2017).

Desde un punto de vista productivo, el sector del porcino ibérico ha mantenido en buena medida sistemas de producción tradicionales y rústicos. No obstante, dentro del sector se han desarrollado otros sistemas productivos, pudiéndose distinguir en la actualidad un amplio espectro: desde los sistemas más extensivos, en los que el pastoreo de los animales en la dehesa durante el engorde sigue siendo el núcleo fundamental del manejo, hasta sistemas intensivos e integrados de cría y cebo en naves industriales, muy semejantes a los del cerdo blanco³ (Daza, 2001).

Ante esta variedad de sistemas productivos en el sector del ibérico, la "Norma de Calidad para la carne, el jamón, la paleta y la caña de lomo ibérico" (BOE, 2014a) (en adelante, Norma de Calidad) fija diferentes categorías en función de la combinación de dos variables: la raza y el manejo (de la alimentación, especialmente) de los animales, seguramente las dos variables que determinan en mayor medida la calidad objetiva final de este tipo de productos. Así, según la raza puede distinguirse entre: "100 % ibérico", para productos procedentes de animales cuyos dos progenitores presenten una pureza racial íntegramente ibérica y que haya constancia de ello en el correspondiente libro genealógico; e "Ibérico", para productos procedentes de animales con al menos el 50 % de su porcentaje genético correspondiente a la raza ibérica⁴, distinguiéndose entre 50 % ibérico y 75 % ibérico según el porcentaje de raza ibérica existente.

3. Entendiéndose como tal a las razas de porcino mejoradas para la producción de carne, tales como Large White, Landrace o Pietrain.

4. Para ello, la madre siempre debe ser de raza 100 % ibérica y estar inscrita en el libro genealógico.

En cuanto a los modelos de alimentación y manejo de los animales se distingue entre la mención (BOE, 2014a): “de bellota”, para los productos procedentes de animales sacrificados después del aprovechamiento de bellota, hierba y otros recursos naturales procedentes de la dehesa, sin aporte externo de pienso; “de cebo de campo”, para animales que además de aprovechar los recursos de la dehesa o del campo son alimentados con pienso; y “de cebo”, para animales alimentados únicamente a base de piensos. De este modo, si bien la Norma de Calidad (BOE, 2014a) establece seis categorías resultantes de la combinación de ambas variables, raza (100 % ibérico o no) y manejo, explicita específicamente el uso de los colores a utilizar en el precinto de la pieza de jamón en cuatro categorías: bellota 100 % ibérico (negro); bellota ibérico (rojo), cebo de campo ibérico (verde); y cebo ibérico (blanco).

De acuerdo con este marco regulatorio, según los datos del Registro Informativo de Organismos Independientes de Control del Ibérico (RIBER) (MAPA, 2019b), en 2017 se comercializaron y certificaron en España 4.908.981 jamones ibéricos, distribuidos de la forma siguiente: el 63 % correspondieron a jamones de “cebo” (la práctica totalidad proveniente de animales con raza ibérica al 50 %); el 21 % a jamones de “bellota” (40 % de ellos provenientes de animales 100 % ibéricos); y el resto a “cebo de campo” (en su gran mayoría provenientes de animales con raza ibérica al 50 %).

Dentro del jamón ibérico, el de bellota es el más valorado por los consumidores (Sahelices et al., 2017; Díaz-Caro et al., 2019). Las diferencias en la alimentación y el manejo del porcino le confiere unas características organolépticas diferenciales respecto del resto de jamones ibéricos, tales como un color y un aroma más intensos, un sabor más dulce y una textura más agradable (Díaz-Caro et al., 2019), lo que conlleva asimismo un precio considerablemente superior.

El jamón ibérico de bellota se encuentra íntimamente ligado al sistema agrario de la dehesa o *montado*, por su nombre en portugués, el cual constituye un sistema agrosilvopastoral único característico de las tierras del oeste y suroeste de la Península Ibérica. La dehesa es un paisaje cultural que proviene de la transformación del ecosistema natural a través de acciones humanas, que han ido adaptando el mismo a sus necesidades propias, fundamentalmente ligadas a la ganadería (Silva Pérez, 2010). La intervención humana sobre estos ecosistemas ha dado lugar a un agroecosistema mixto, caracterizado por la presencia de masas forestales arboladas abiertas, adaptadas a las necesidades de la ganadería extensiva (CAPDR, 2017). La dehesa se constituye así como un paisaje humanizado en el que convive la actividad productiva con la aportación de numerosos bienes de tipo ambiental, proveyendo servicios ecosistémicos como la protección del suelo, la regulación del ciclo del agua, el soporte de la biodiversidad o el secuestro de carbono, entre otros (Carbonero et al., 2010; CAPDR, 2017), y culturales como costumbres y tradiciones, gastronomía y otros elementos de carácter etnográfico (Acosta Naranjo, 2002; Silva Pérez, 2010).

Experimentos de elección

Para analizar las preferencias del consumidor de jamón ibérico se ha recreado un mercado hipotético con la finalidad de valorar el impacto de diversos atributos del producto en su disposición a pagar (DAP), utilizando la técnica de los experimentos de elección discreta (EE). Esta técnica se basa en la Teoría del Consumidor (Lancaster, 1966) y la Teoría de la Utilidad Aleatoria (McFadden, 1974), habiendo sido utilizada ampliamente en el análisis de preferencias del consumidor respecto de productos cárnicos tales como el vacuno (Baba et al., 2016), el cordero (Gracia y de-Magistris, 2013), el porcino (Kallas et al., 2019) y

el jamón ibérico (Díaz-Caro et al., 2019). Una descripción detallada de esta técnica de valoración excede el alcance de este trabajo. Para el lector interesado, se recomienda la consulta de Hensher et al. (2015).

Para crear la situación hipotética de mercado, las tarjetas de elección empleadas reproducen dos envases de jamón ibérico de 100 g, uno de cebo y otro de bellota, correspondiente a un diseño del contexto de elección del tipo "con etiqueta" o *labelled*. Por tanto, dentro del EE se utilizó como elemento diferencial de la categoría de producto la alimentación del cerdo durante el proceso de producción. Se ha empleado este diseño bajo la suposición de que la denominación de jamón ibérico ("etiqueta") ya evoca al consumidor información adicional relevante más allá de la incluida en los atributos y niveles (Hensher et al., 2015). Adicionalmente, este tipo de diseño permite el empleo de vectores de precios individuales (y de cualquier otro atributo si fuese relevante) para cada alternativa "con etiqueta" (cebo y bellota) evitando la generación de perfiles irreales comúnmente asociados a los experimentos de elección "sin etiqueta" o *unlabelled*. Por tanto, se pueden estimar efectos específicos de los atributos para cada alternativa en lugar de genéricos. Sin embargo, el uso de los enfoques "con etiqueta" suele proliferar menos en comparación con los de "sin etiqueta", fundamentalmente por la mayor complejidad de los primeros.

Asimismo, la elección del formato de envase de 100 g, en contraposición al formato de pieza de jamón entera, responde a la necesidad de emplear un producto estandarizado,

que requiera una compra relativamente frecuente en el consumidor (y, por tanto, el consumidor esté familiarizado con la situación de compra valorada). Además de las dos alternativas de bellota y cebo, se añadió la opción de no compra, con el objetivo de hacer más realista el proceso de decisión, ya que esta alternativa representa una opción siempre disponible en el proceso de compra habitual. No se contempló la opción del cebo de campo, debido a su significativamente menor cuota de mercado.

La Figura 1 muestra un ejemplo de tarjeta de elección donde puede observarse cómo el diseño de las alternativas trata de reproducir la imagen más usual del frontal⁵ de los envases de jamón ibérico que se pueden encontrar en el mercado. Los mismos presentan una parte central transparente que permite visualizar el producto, enmarcada en una parte opaca donde se suele incluir información relevante del producto como el contenido, peso, características a destacar, etc.⁶ Es en esa parte opaca donde se incluyó la información representativa de los atributos y niveles del EE. Respecto de la parte central, se emplearon cuatro imágenes reales de jamones, correspondientes a jamón ibérico de bellota y cebo cortados a mano o a máquina.

La Tabla 1 recoge los atributos y niveles utilizados en el presente EE, que incluyen cuatro atributos no monetarios y el *Precio* como atributo monetario. Los atributos no monetarios coinciden para ambas etiquetas alternativas (*labels*) o tipo de productos valorados, i. e. jamón ibérico de bellota y de cebo. Se seleccionaron tres atributos en función de la literatura previa (ver Mesías et al., 2009;

5. Es en el reverso de los envases de jamón ibérico donde suele aparecer la información obligatoria como el panel nutricional, efectos sobre la salud, alérgenos, duración, almacenamiento y uso seguro.

6. En el diseño de las alternativas se decidió no incluir el atributo marca. Con ello se pretende evitar la transferencia de valor desde la marca al producto, independiente de la calidad objetiva del mismo, quedando su valoración fuera del alcance del presente trabajo.



Figura 1. Ejemplo de tarjeta de elección.
Figure 1. Example of choice card.

Tabla 1. Atributos y niveles del experimento de elección.
Table 1. Attributes and levels of the choice experiment.

Atributo	Niveles	
Precio (€/100 g)	Jamón ibérico de cebo:	Jamón ibérico de bellota:
	4	13
	7	16
	10	19
	13	22
Pureza de la raza ibérica (%)	50	
	75	
	100	
Tipo de corte	Mención "Cortado a mano"	
	No inclusión de la mención	
Procedente de dehesa	Mención "Procedente de dehesa"	
	No inclusión de la mención	
Fondo	Fondo negro sin foto	
	Fondo agrario neutro	
	Fondo dehesa	
	Fondo dehesa con cerdos	

Fuente: elaboración propia.

Sahelices et al., 2017; Díaz-Caro et al., 2019), su importancia en el proceso de compra y el objetivo del análisis. Así, aparte del atributo monetario *Precio*, imprescindible en un modelo utilitarista (Deaton y Muelbauer, 1980) como el diseñado aquí, los atributos no monetarios incluidos finalmente fueron dos atributos de confianza y un atributo de búsqueda. De este modo, fue incorporada, por un lado, la *Pureza de la raza ibérica*, como característica del sistema de producción (Sahelices et al., 2017), considerándose un atributo de confianza, ya que en el formato analizado (paquete de 100 g) la información sobre la trazabilidad del producto (especialmente, la relativa al animal de procedencia y al sistema de producción) no está fácilmente accesible para el consumidor, al contrario que en el caso de la pieza entera donde se incluye precinto identificativo con código de colores; el *Tipo de corte*, como atributo de búsqueda que puede observarse previamente a la realización de la compra; y el origen, a través de dos atributos denominados *Procedente de dehesa* y *Fondo* del envase, asumiendo que se trata de atributos de confianza como lo sería paralelamente una mención del lugar de origen (Moser et al., 2011; Aboah y Lees, 2020), y que pueden aparecer referenciados en el envase y que, en el caso del segundo, conforma una herramienta de comunicación con el consumidor, condicionando su atención hacia el producto y su elección (Underwood y Klein, 2002). Así, estos últimos atributos representan el sistema agrario de dehesa que, como se ha visto previamente, es un sistema proveedor de servicios ecosistémicos y culturales (Carbonero et al., 2010; CAPDR, 2017). Conviene no obstante matizar que, si bien ambos atributos, *Procedente de*

dehesa y *Fondo*, se refieren en buena medida a este sistema agrario, el diferente formato de comunicación de la información (escrita en el caso del primero y gráfica en el caso del segundo) transmitida al consumidor a través del envase los diferencia críticamente. A través del atributo *Procedente de dehesa* se pretende observar si la mención escrita del sistema agrario de dehesa aporta valor al consumidor, independientemente de a qué vaya aparejado este valor⁷. Con el atributo *Fondo* se desea observar el efecto de los fondos donde aparece la dehesa, con respecto del control “no fondo”, con la hipótesis subyacente de que, a través de la foto de la dehesa, el consumidor puede apreciar mejor el sistema productivo y, en especial, el valor natural asociado (i.e. producción de servicios ecosistémicos). Asimismo, merece ser destacado que tanto estos dos atributos como el de *Tipo de corte* no han sido analizados previamente por la literatura especializada. A continuación, se describen más en detalle los atributos y se definen los niveles incluidos en cada uno.

El atributo *Precio* se estableció en función de los precios de mercado del jamón ibérico de bellota y de cebo envasado. Para ello, se consultaron los precios de estos productos en formato de envase de 100 g en diferentes establecimientos, eliminado el precio más alto y más bajo de cada tipo. Dado que ambos productos presentan diferentes rangos de precios, este atributo fue el único cuyos niveles están diferenciados para las alternativas de jamón ibérico de bellota y de cebo. Así, se establecieron cuatro niveles de precios de entre 13 y 22 euros/100 g para el jamón de bellota y otros cuatro niveles de entre 4 y 13 euros/100 g para el jamón de cebo, en ambos casos utilizando diferencias de 3 euros entre

7. Existen diversos aspectos asociados a la dehesa susceptibles de ser apreciados por el consumidor, fundamentalmente: el apoyo a sistemas de producción tradicionales, la dimensión socio-cultural y territorial de esta producción y/o el valor natural asociada a la misma.

niveles consecutivos. Los precios se mostraban en la parte inferior de la tarjeta, a modo de lineal de supermercado, incluyendo el precio en euros por envase de 100 g en un tamaño de fuente mayor, y en un tamaño de fuente menor el precio en euros por kilogramo.

El atributo *Pureza de la raza ibérica* incluyó tres niveles de acuerdo con la Norma de Calidad (BOE, 2014a), esto es: el nivel mínimo legal, 50 % de raza ibérica; intermedio, del 75 %; y máximo, del "100 % ibérico". Por su parte, el atributo *Tipo de corte* presenta dos niveles: inclusión de la mención "Cortado a mano" en el diseño del envase y no inclusión del mismo (lo cual, lógicamente, representa la alternativa de cortado a máquina). Ambos atributos fueron incluidos al constatar en la observación de los lineales su impacto significativo sobre el precio del producto, siendo mayor a mayor pureza de raza ibérica y al estar cortado a mano⁸.

El atributo *Procedente de dehesa* se corresponde con la mención facultativa de incluir en el envase la frase "Procedente de dehesa", a modo de recordatorio del origen del producto, el cual puede evocar al consumidor los diferentes servicios ecosistémicos y culturales que provee este sistema. Cabe apuntar que, si bien la Norma de Calidad (BOE, 2014a) restringe cualquier mención de la dehesa al jamón ibérico de bellota, para esta investigación se ha aplicado también al jamón ibérico de cebo, con el objetivo de controlar si esta mención por sí misma aporta valor al consumidor (más allá de la vinculación al jamón de bellota) afectando a sus decisiones de compra.

Por último, con el atributo *Fondo* se lleva a cabo una representación pictórica del atribu-

to dehesa, ya que el uso de imágenes se considera un estímulo más vivido, llamativo y fácil de recordar (Underwood y Klein, 2002). Este consiste en la inclusión en la parte inferior de los envases de cuatro imágenes (niveles) diferentes: sin imagen con fondo negro (*Sin fondo*), una imagen de tierras agrarias no de dehesa (en concreto, un campo de trigo) (*Fondo rural*), una imagen de la dehesa (*Fondo dehesa*) y una imagen de la dehesa con cerdos pastando (*Fondo dehesa con cerdos*). Aparte de los niveles *Sin fondo* (control) y *Fondo dehesa*, cuya inclusión persigue observar si al consumidor le aporta valor el uso de fotos del sistema agrario de dehesa, cabe explicar por qué se han incluidos los niveles de *Fondo rural* y *Fondo dehesa con cerdos*. La inclusión del primero responde a que cabe la posibilidad de que las diferencias en las preferencias de los consumidores entrevistados resulten de una preferencia por la "foto" de la dehesa frente al diseño sin foto con fondo negro. Por ello, se decidió incluir un fondo con una foto rural neutra (nivel *Fondo rural*), para extraer si el valor asociado al atributo foto de la dehesa se correspondía con el diseño foto de dehesa en comparación con el de no foto, o si también existían diferencias con respecto del diseño foto rural neutra. Asimismo, la inclusión del *Fondo dehesa con cerdos* respondió a si el consumidor apreciaba el valor adicional de incluir animales en la foto de dehesa, seguramente valorando los notables niveles de bienestar animal que caracteriza a este sistema agrario.

Para la realización del EE se les propuso a los entrevistados un contexto de valoración correspondiente a una situación de compra para un evento familiar o con amigos de unas 4 o 5 personas, entre cuyas opciones de alimentación se planteaba la posibilidad de

8. Previo al diseño del EE se realizó una búsqueda de envases de jamón ibérico en distintos establecimientos comerciales, obteniéndose información sobre un total de 51 referencias comerciales de este producto, relativa a marca, establecimiento de venta, tipo de corte, pureza racial, alimentación, precio y peso.

incluir el jamón ibérico. Este contexto de valoración se justifica dado que el jamón ibérico se puede considerar compra planificada, de comparación y con niveles de involucramiento del consumidor más elevado derivado de su precio. A continuación, al entrevistado se le explicó en qué consistía el EE, indicándole que debía elegir entre la compra del envase de jamón de bellota y la del jamón de cebo que se le ofrecía, o bien optar por no comprar ninguno de los dos envases, considerando que solo tendría disponible esos dos envases para realizar la compra. Asimismo, se le recordó que disponía de un presupuesto limitado y que, por tanto, si el precio de las opciones planteadas era mayor de lo que estaría dispuesto a pagar por comprar jamón ibérico, debería elegir la opción de no compra.

Recolección de datos y diseño experimental

La información necesaria para esta investigación procede de una encuesta presencial realizada en establecimientos en los que se vendía jamón ibérico de bellota envasado. La participación en la encuesta fue voluntaria y no remunerada. Se realizaron un total de 1.158 entrevistas a adultos (edad igual o superior a 18 años) residentes en Andalucía que hubiesen comprado jamón ibérico de bellota o de cebo al menos una vez en el último año. Se realizó un muestreo estratificado por cuotas relativas a residencia en provincias productoras de jamón ibérico de bellota (Córdoba, Huelva y Sevilla) y no productoras, así como en municipios rurales y urbanos.

El cuestionario utilizado estaba formado por cuatro bloques, con información relativa a: i) los hábitos de consumo de jamón ibérico del encuestado; ii) el EE; iii) el conocimiento de la dehesa y las opiniones del encuestado sobre los bienes ambientales y culturales generados por este ecosistema; y iv) las características sociodemográficas de los encuestados. En la Tabla 2 se recogen los descriptivos relativos a las principales características sociodemográficas de los encuestados y a su conocimiento respecto del sistema agrario de la dehesa.

Para el diseño experimental se partió de la información secundaria proveniente de otros estudios, así como de la información primaria recabada en el lineal de los supermercados⁹.

Así, se estimó un diseño eficiente óptimo para maximizar la eficiencia estadística minimizando el D-error mediante técnicas bayesianas (Rose *et al.*, 2011), que constó de 24 perfiles de tarjeta distribuidos en 4 bloques de 6 tarjetas cada uno, mostrando un D-error de 0,436. La ventaja de los diseños bayesianos es que normalmente, y en el peor de los casos, al menos se conoce el signo de los atributos por estudios previos o conocimiento del investigador y eso redundará en una mayor eficiencia del diseño en comparación con los diseños tradicionales ortogonales o los todavía muy habituales diseños factoriales fraccionados óptimo en las diferencias (Street y Burgess, 2007) que consideran como 0 todos los coeficientes.

Asimismo, se realizó un pretest de 40 entrevistas con el objetivo de asegurar la adecua-

9. A partir de esta información se pudo apreciar el signo de los parámetros en la función de utilidad de los consumidores, así como el orden de magnitud de la importancia del precio respecto al resto de atributos no monetarios. De esta manera, debido a la falta de información previa, se dimensionaron unos "priors" cercanos a cero y positivos para los atributos no monetarios, dando una mayor importancia a la pureza racial sobre el resto de los no monetarios. Asimismo, respecto de la importancia relativa del precio, para el caso del jamón de cebo, fue de un orden de magnitud de dos veces mayor en comparación con el resto de los atributos y en torno al triple de importancia para el caso del jamón de bellota. Asimismo, la importancia relativa del vector precio del jamón de bellota fue aproximadamente el doble que la del cebo debido al ostensible diferencial de precios existente entre ambos productos.

Tabla 2. Descriptivo de las variables sociodemográficas y de conocimiento del entrevistado.
 Table 2. Descriptive of the sociodemographic variables.

Descripción [unidades]	Media o %	Desv. típ.
Sexo: Hombre [%]	53,4	–
Nº personas que componen el hogar	2,84	1,31
Nº de menores de 18 años en el hogar	0,68	0,99
Edad [años]	49,87	15,74
Nivel de estudios: Sin estudios [%]	5,4	–
Nivel de estudios: Estudios primarios [%]	32,6	–
Nivel de estudios: Estudios secundarios [%]	40,2	–
Nivel de estudios: Estudios universitarios [%]	21,9	–
Ingresos totales del hogar menores a 1.000 €/mes [%]	11,0	–
Ingresos totales del hogar entre 1.000 y 2.000 €/mes [%]	44,7	–
Ingresos totales del hogar entre 2.000 y 3.000 €/mes [%]	31,4	–
Ingresos totales del hogar entre 3.000 y 4.000 €/mes [%]	11,4	–
Ingresos totales del hogar entre 4.000 y 5.000 €/mes [%]	1,3	–
Ingresos totales del hogar mayores a 5.000 €/mes [%]	0,2	–
Reside en provincia productora de jamón ibérico de bellota [% Sí]	42,6	–
Reside en zona rural [% Sí]	46,5	–
Conocimiento del sistema agroforestal de la dehesa: Identificación correcta de la fotografía de dehesa entre cuatro fotos de paisajes agroforestales [% Sí]	83,5	–
Ha visitado en el último año algún lugar con predominio de dehesa [% Sí]	27,4	–

Fuente: elaboración propia.

ción del diseño experimental, así como la correcta comprensión del cuestionario. El pre-test permitió constatar la adecuación de ambos, diseño y cuestionario, motivo por el cual se mantuvieron. Para la estimación del diseño experimental se empleó el programa NGene 1.2.1.

Especificación econométrica

Se ha empleado un modelo logístico de parámetros aleatorios (MLPA) para la modeli-

zación de los datos sobre las preferencias de los consumidores de jamón ibérico obtenidos en el EE. Estos modelos mejoran los modelos logísticos convencionales en la medida que presentan patrones de sustitución más flexibles, que pueden acomodar los datos de panel de los EE permitiendo la correlación dentro de las elecciones de cada individuo (Lancsar y Louviere, 2008). Asimismo, permiten modelizar la heterogeneidad de preferencias a través de los individuos habilitando que los parámetros varíen aleatoriamente entre ellos

(Hensher et al., 2015; Train, 2003). El uso de MLPA está ampliamente extendido dentro de la literatura de modelización de elecciones (*choice modelling*), tanto en lo que respecta al análisis del comportamiento del consumidor (Gracia, 2014; Mørkbak et al., 2011; Kallas et al., 2019), como en otros contextos de valoración (i.e., Colombo et al., 2007; Villanueva et al., 2017; Granado-Díaz et al., 2020).

Se parte de la especificación convencional de la función de utilidad, con n individuos, t tarjetas de elección y j alternativas:

$$U_{njt} = \beta_n X_{njt} + C_{jn} + \varepsilon_{njt} \quad [1]$$

donde χ es el vector de los atributos y niveles en los conjuntos de elección, β_n es el vector de coeficientes, C_{jn} es una componente específica de alternativa y ε es el término de error aleatorio (el cual se asume que sigue una distribución Gumbel). β_n puede ser descompuesto en $\beta_n = \beta + \beta_z Z_n$, con β referido al vector de preferencias individuales respecto de los atributos y niveles (distribuidas aleatoriamente en la población siguiendo una función de densidad $f(\beta|\theta)$, donde θ representa los parámetros de la distribución), y $\beta_z Z_n$ representando la heterogeneidad en la media de las preferencias asociada a los atributos y niveles (siendo β_z el vector de coeficientes a estimar y Z_n el vector de características individuales). C_{jn} se compone igualmente de $C_j + \gamma_z Z_n$, siendo C_j la constante específica de alternativa y $\gamma_z Z_n$ representando la heterogeneidad en las preferencias asociada a las alternativas (siendo γ_z el vector de coeficientes a estimar).

Las elecciones son modelizadas siguiendo una estructura de panel, de manera que la integral de probabilidad se compone de un producto de fórmulas logísticas. Así, la probabilidad conjunta de que el individuo n escoja la alternativa j en cada una de las elecciones T es:

$$Pr[y_n | \theta, \chi_n] = \int \prod_{t=1}^T \frac{\exp(\beta_n \chi_{njt} + C_{jn})}{\sum_{j=1}^J \exp(\beta_n \chi_{njt} + C_{jn})} f(\beta|\theta) d\beta \quad [2]$$

donde y_n es la secuencia de elecciones del individuo n tarjeta de elección. Esta integral no tiene una forma cerrada, de manera que su resolución requiere de un proceso iterativo (Train, 2003). Así, el modelo fue estimado usando 1000 réplicas tipo Halton, asumiéndose distribución normal en todos los parámetros. Los modelos utilizados únicamente incorporan la información de las preferencias de los individuos, por lo que se consideran cero $\beta_z Z_n$ y $\gamma_z Z_n$.

Resultados

En la Tabla 3 se muestran los resultados del MLPA. El modelo presenta una elevada bondad de ajuste, como demuestra el valor de 0,323 del estadístico Pseudo R² de McFadden. Todos los atributos presentan parámetros significativos para ambas etiquetas de jamón ibérico de bellota y cebo, con la excepción del atributo origen representado por *Procedente de dehesa* y *Fondo* para los cuales solo aparecen parámetros significativos para el caso del de bellota (en el caso de este último atributo, únicamente para el nivel *Fondo rural*). Los parámetros significativos muestran el signo esperado, es decir, negativo para el parámetro correspondiente al atributo monetario y positivo para los atributos no monetarios. La constante específica de cada alternativa (ASC) es significativa y positiva para ambos tipos de jamón ibérico, lo que muestra una preferencia sistemática de los consumidores por estas categorías de producto asociada a atributos no observados en el experimento. Se encuentran parámetros significativos relativos a la desviación típica para los atributos *Precio*, *Tipo de corte* (*Cortado a mano*) y la ASC para ambos tipos de jamón, lo cual refleja una elevada heterogeneidad respecto de estas componentes de ambas funciones de utilidad. El hecho de que existan parámetros que presenten desviación tí-

Tabla 3. Resultados del MLPA.
 Table 3. Results of the RPLM.

Tipo	Característica	Coeficientes medios		Desviación típica	
		Coef.	Err. típ.	Coef.	Err. típ.
Cebo	Pureza-75 % raza ibérica	0,269 [†]	0,152	0,141	0,565
	Pureza-100 % ibérico	0,541 ^{***}	0,153	1,335 ^{***}	0,233
	Cortado a mano	0,648 ^{***}	0,136	1,565 ^{***}	0,257
	Procedente de dehesa	-0,070	0,109	0,054	0,292
	Fondo rural	0,177	0,198	1,131 ^{**}	0,375
	Fondo dehesa	0,188	0,174	0,461	0,338
	Fondo dehesa con cerdos	0,123	0,164	0,287	0,292
	Precio	-0,105 ^{***}	0,021	0,259 ^{***}	0,023
	ASC1	1,247 ^{***}	0,243	3,469 ^{***}	0,228
Bellota	Pureza-75 % raza ibérica	0,449 ^{**}	0,167	0,281	0,623
	Pureza-100 % ibérico	0,471 ^{**}	0,165	0,700	0,532
	Cortado a mano	0,921 ^{***}	0,161	2,940 ^{***}	0,232
	Procedente de dehesa	0,275 [*]	0,137	0,308	0,327
	Fondo rural	0,514 [*]	0,205	1,979 ^{***}	0,304
	Fondo dehesa	0,212	0,249	0,600	0,391
	Fondo dehesa con cerdos	0,144	0,199	0,649	0,521
	Precio	-0,287 ^{***}	0,023	0,168 ^{***}	0,017
	ASC2	5,719 ^{***}	0,423	4,437 ^{***}	0,292
Log-verosimilitud (LL)		-5169,17			
Pseudo R ²		0,323			
AIC/N		1,498			
Observaciones (individuos)		6948 (1158)			

***, **, * y † muestran nivel de significación del 99,9 %, 99 %, 95 % y 90 % respectivamente.

Fuente: elaboración propia.

pica significativa solo para un tipo de jamón (caso de *Pureza de la raza ibérica* –nivel 100 % ibérico– para el jamón ibérico de cebo y *Fondo rural*– para el de bellota) sugiere la existencia de heterogeneidad específica relativa a atributos según el tipo de jamón.

Los resultados de la modelización permiten la estimación de disposiciones a pagar marginales por característica del producto y totales por productos con diferentes combinaciones de características. La Tabla 4 muestra la DAP marginal para cada característica te-

nida en cuenta en el EE. También se incluyen las estimaciones de DAP marginal correspondientes a la ASC, en la medida que esta representa la intensidad de preferencias general respecto de comprar (un envase de 100 g) un tipo de jamón ibérico u otro en comparación a la opción de no compra. Como puede apreciarse, el orden de magnitud de la DAP relativa a la preferencia general por el tipo de jamón ibérico es superior al del resto de atributos, lo cual sugiere la idoneidad el estudio *labelled* y que la categoría determina

Tabla 4. Disposición a pagar (DAP) marginal por atributo (en euros por envase de 100 g de jamón ibérico).
Table 4. Marginal willingness to pay (WTP) by attribute (in euros per 100 g-package of Iberian ham).

Tipo	Característica	Media	Intervalo de confianza (95%)
Cebo	Pureza-75 % raza ibérica	2,56	(-0,51-5,64)
	Pureza-100 % ibérico	5,16**	(1,32-8,99)
	Cortado a mano	6,18**	(2,08-10,28)
	Procedente de dehesa	-0,67	(-2,84-1,49)
	Fondo rural	1,69	(-2,30-5,68)
	Fondo dehesa	1,80	(-1,49-5,08)
	Fondo dehesa con cerdos	1,18	(-2,22-4,57)
	Tipo de jamón ibérico: Cebo (ASC1)	11,90***	(7,09-16,70)
Bellota	Pureza-75 % raza ibérica	1,56**	(0,43-2,69)
	Pureza-100 % ibérico	1,64**	(0,51-2,76)
	Cortado a mano	3,21***	(2,09-4,31)
	Procedente de dehesa	0,96*	(0,00-1,90)
	Fondo rural	1,79*	(0,41-3,16)
	Fondo dehesa	0,74	(-0,98-2,46)
	Fondo dehesa con cerdos	0,50	(-0,88-1,88)
	Tipo de jamón ibérico: Bellota (ASC2)	19,91***	(18,01-21,80)

***, ** y * muestran nivel de significación del 99,9 %, 99 % y 95 % respectivamente. Estimaciones obtenidas siguiendo el método propuesto por Krinsky y Robb (1986) (5000 extracciones).

Fuente: elaboración propia.

en buena medida el valor del producto. Así, los resultados sugieren que la DAP marginal por envases de 100 g de jamón ibérico de cebo (sin atributos adicionales) es de 11,90 €/envase 100 g, mientras que es de 19,91 €/envase 100 g para el caso del jamón ibérico de bellota, arrojando por tanto una diferencia de aproximadamente 8 €/envase 100 g. En el caso del primero, solo dos atributos muestran DAP marginales significativamente diferentes de cero: la *Pureza de la raza ibérica* (en concreto para el nivel 100 % ibérico) y *Tipo de corte: Cortado a mano*, con valores de 5,16 €/envase 100 g y 6,18 €/envase 100 g, respectivamente. Por su parte, el jamón ibérico de bellota presenta una variedad mayor de atributos y niveles con DAP marginal significativamente diferente de cero. En efecto, se estiman DAP marginales significativas para

los niveles de *Pureza de la raza ibérica* (1,56 €/envase 100 g y 1,64 €/envase 100 g respectivamente para 75 % raza ibérica y 100 % ibérico), *Cortado a mano* (3,21 €/envase 100 g), *Procedente de dehesa* (0,96 €/envase 100 g) y *Fondo: rural* (1,79 €/envase 100 g). No obstante, en términos relativos se observa con un peso menor de las características (DAP marginal en el rango de 1-3 €/envase 100 g) en comparación con los casi 20 € estimados como preferencia general por la alternativa de compra de jamón ibérico de bellota.

La Tabla 5 muestra las estimaciones de DAP total para distintos productos de jamón ibérico, resultantes de la combinación de los atributos que se han mostrado significativos. En el caso del jamón ibérico de cebo se observa una mayor variabilidad en las DAP totales por productos, oscilando entre 11,90 €/envase 100 g y

Tabla 5. Disposición a pagar (DAP) total para distintos productos de jamón ibérico (en euros por envase de 100 g de jamón ibérico)⁽¹⁾.

Table 5. Total willingness to pay (WTP) for different Iberian ham products (in euros per 100 g-package of Iberian ham).

Producto	Media	Intervalo de confianza (95%)
Cebo, 50 % raza ibérica, Corte máquina, No procedente dehesa, Sin fondo	11,90	(7,09-16,70)
Cebo, 100 % ibérico, Corte máquina, No procedente dehesa, Sin fondo	17,06	(10,72-23,39)
Cebo, 100 % ibérico, Cortado a mano, No procedente dehesa, Sin fondo	23,24	(14,25-32,23)
Bellota, 50 % raza ibérica, Corte máquina, No procedente dehesa, Sin fondo	19,91	(18,01-21,80)
Bellota, 75 % raza ibérica, Corte máquina, No procedente dehesa, Sin fondo	21,47	(19,60-23,34)
Bellota, 100 % ibérico, Corte máquina, No procedente dehesa, Sin fondo	21,55	(19,51-23,58)
Bellota, 75 % raza ibérica, Corte a mano, No procedente dehesa, Sin fondo	24,68	(22,56-26,79)
Bellota, 100 % ibérico, Corte a mano, No procedente dehesa, Sin fondo	24,75	(22,50-27,00)
Bellota, 100 % ibérico, Corte a mano, Procedente de dehesa, Sin fondo	25,71	(23,23-28,18)
Bellota, 100 % ibérico, Corte a mano, Procedente de dehesa, Fondo rural	27,50	(25,08-29,91)

⁽¹⁾ Todos los valores de DAP son significativamente diferentes de cero al nivel del 99,9 %. Estimaciones obtenidas siguiendo el método propuesto por Krinsky y Robb (1986) (5000 extracciones).

Fuente: elaboración propia.

23,24 €/envase 100 g, lo que implica que el jamón ibérico de cebo con mayor calidad (i. e., 100 % ibérico y *Cortado a mano*) presenta una DAP cercana al doble de la del producto más básico (50 % raza ibérica y cortado a máquina). Por el contrario, la DAP total por los productos de jamón ibérico de bellota muestra un grado de variación menor, oscilando entre 19,91 €/envase 100 g y 27,50 €/envase 100 g, de forma que la DAP del producto con los máximos atributos de calidad (100 % ibérico y *Cortado a mano*) y en el envase (*Procedente de la dehesa y Fondo*) es únicamente un 38 % superior a la del producto base (50 % raza ibérica, cortado a máquina y sin diferenciación en el envase).

Discusión

Disposición a pagar por jamón ibérico

La comparación de los resultados relativos a las estimaciones de DAP de los consumidores de jamón ibérico con respecto a los estudios previos está limitada por la diferente aproximación empleada y el objeto de valoración. En concreto, Díaz-Caro et al. (2019) no estiman las DAP totales por producto, sino las DAP marginales para los distintos atributos analizados, mientras que en el resto de investigaciones disponibles (Mesías et al., 2009; Sahelices et al., 2017) el producto valorado se corresponde con la pieza completa, por lo que las DAP obtenidas no son comparables con las presentadas aquí. Ello hace que la sola estimación de DAP totales para el jamón ibérico represente una contribución significativa a la literatura existente. En este sentido, a modo de validación de los resultados, cabe destacar que los resultados obtenidos muestran unos valores de DAP total del mismo orden de magnitud del rango de precios encontrado en el mercado para el jamón ibérico, siendo aquellos lógicamente superiores a estos en la medida que representan disposiciones máximas a pagar.

Entrando en las estimaciones de DAP por atributos del producto, como cabía esperar, el tipo de producto (bellota o cebo) determina buena parte de la DAP total de los consumidores de jamón ibérico. Así, los resultados sugieren que el tipo de jamón ibérico explica más de la mitad de la DAP total estimada para el de cebo, siendo mayor esta proporción para el caso del de bellota. Ello está en consonancia tanto con la observación directa del mercado como con las estimaciones previas de Díaz-Caro et al. (2019), quienes estiman una diferencia en la DAP relativa al tipo de jamón ibérico de 10,88 €/envase 100 g (cercana al valor obtenido aquí de 8 €/envase 100 g).

Igualmente, se ha podido constatar un comportamiento diferente del consumidor respecto de la contribución de los distintos atributos a la DAP total por los distintos productos de jamón ibérico. En concreto, los parámetros relativos a la pureza racial y el corte a mano tienen una mayor importancia para el consumidor en el caso del jamón ibérico de cebo que para el jamón ibérico de bellota. Efectivamente, con respecto de la pureza, se observa que la DAP del consumidor aumentaría un 43 % por jamón 100 % ibérico (en comparación con 50 % de raza ibérica) para el caso del de cebo, mientras que este aumento se limitaría al 7 % en el caso del de bellota. Respecto del tipo de corte, el consumidor estaría dispuesto a pagar un 52 % más por que el jamón ibérico de cebo estuviese cortado a mano, siendo este porcentaje del 14 % para el caso del de bellota. Estas diferencias en la disposición a pagar entre el jamón de cebo y de bellota pueden deberse a que los consumidores estén dando por descontado que el jamón ibérico de bellota, dado su mayor precio, estará cortado a mano y se corresponderá con una mayor pureza racial. Según conocimiento de los autores, el impacto diferencial de los distintos atributos de calidad en el jamón ibérico según se trate de jamón de bellota o de cebo no han sido puestos de manifiesto en investigaciones previas.

Atributos de búsqueda y confianza

En primer lugar, los resultados muestran que existe un comportamiento del consumidor diferencial, en el mercado de jamón ibérico, según se trate de un producto de bellota o cebo, de modo que, si bien se puede afirmar de forma general que los atributos de búsqueda y confianza añaden valor al jamón ibérico, no todos estos determinan del mismo modo las preferencias. Así, para ambas categorías de producto se han obtenido valores significativos de DAP del consumidor por jamón ibérico que incluya mayor pureza racial y tipo de corte a mano, pero la mención al origen del producto como procedente de dehesa solo resulta determinante en el caso del jamón ibérico de bellota. Esto puede inducir a pensar que, en cierta medida, los consumidores parecen saber que son productos con ciertas características diferentes, como también indica las muy desiguales disposiciones a pagar por ambas categorías de producto.

En relación con cada uno de los atributos analizados, la importancia de la pureza racial como factor determinante del precio del jamón ibérico es evidenciada por la literatura previa (Resano *et al.*, 2007; Sahelices *et al.*, 2017; Díaz-Caro *et al.*, 2019). La presente investigación se añade a estos antecedentes en la medida en que constata la diferente intensidad del atributo según se trate de jamón ibérico de bellota o cebo y de un nivel de pureza del 75 % o el 100 %, estimando el valor añadido en cada caso. En este sentido, Díaz-Caro *et al.* (2019) estima una DAP media de 3,06 €/100 g por el nivel de pureza del 100 % ibérico, sin distinguir entre bellota o cebo. Los resultados mostrados aquí indican que el efecto de esta característica es superior en el caso del jamón ibérico de cebo que en el de bellota (estimado en 5,16 €/100 g y 1,64 €/100 g, respectivamente), donde además resulta también relevante la pureza del 75 %. Este atributo solo ha sido analizado

previamente en Sahelices *et al.* (2017) para el conjunto del jamón ibérico, obteniendo que no resultaba significativo en relación con la intención de compra.

Respecto al atributo de búsqueda, se observa que efectivamente los consumidores perciben una mayor calidad del producto cuando el tipo de corte es realizado a mano, siendo este el atributo que mayor valor aporta al jamón ibérico (independientemente del tipo, si bien el efecto parece superior en cebo que en bellota) de entre los considerados en esta investigación. Este resultado podría resultar contradictorio con el encontrado en Mesías *et al.* (2009), quienes hallan que el formato de compra es, entre los atributos analizados, el que menos afecta a las decisiones de compra del consumidor, si bien en su caso el formato de compra no se refiere al tipo de corte del jamón, sino a la forma en el que este se adquiere (completo, al peso o loncheado y envasado), por lo que los resultados obtenidos en esta investigación no son directamente comparables con los mencionados anteriormente.

En relación con el origen, como se apunta previamente, parece que solo presenta efecto para el caso del jamón ibérico de bellota. Así, el consumidor puede querer tener cierta seguridad del origen del producto, al tener un precio elevado, mediante una referencia a este en el empaquetado. Sin embargo, en el caso del jamón ibérico de cebo, de menor precio, el consumidor podría obviar su procedencia al conformar su decisión en función de la calidad percibida que puede atribuir a la pureza de la raza, o incluso puede conocer que este tipo de jamón no proviene de dehesa. En este sentido, los resultados insinúan que la limitación introducida en la Norma de Calidad (BOE, 2014a) respecto del uso de estos elementos en el etiquetado parece no tener impacto, más allá de que trate de evitar el fraude que supone el uso de dicha información errónea.

En investigaciones previas se ha evidenciado que atributos de confianza, vinculados con figuras de calidad por procedencia (Resano et al., 2007 y 2012; Mesías et al., 2009; Sahelices et al., 2017) o con regiones productoras (Resano et al., 2012; Díaz-Caro et al., 2019), aportan valor al consumidor de jamón curado en general. Los resultados obtenidos en esta investigación amplían el alcance de las investigaciones previas al mostrar la asociación que podría estar llevando a cabo el consumidor a nivel cognitivo entre el jamón ibérico de bellota y un sistema agrario concreto (dehesa). No obstante, es importante señalar que la imagen que parece poseer el consumidor de jamón ibérico de bellota de la dehesa es imprecisa, ya que los resultados indican que el único diseño de fondo que aporta valor es el de *Fondo rural*, y no los de *Fondo dehesa* y *Fondo dehesa con cerdos*, algo que se antoja inesperado. Esto podría deberse a una asociación incorrecta al paisaje de dehesa, vinculándolo con campo y naturaleza en general. No obstante, esta interpretación no se sustenta si se observan los resultados obtenidos respecto de la identificación del entrevistado de este tipo de paisaje, habida cuenta de que el 84 % identificó correctamente la foto de dehesa entre las cuatro fotos de paisajes agroforestales mostradas en una pregunta específicamente incluida en el cuestionario con objeto de evaluar el nivel de conocimiento del entrevistado respecto de este sistema (ver Tabla 2). Sí parece más plausible que exista una simple preferencia según el aspecto visual (efecto "foto"), proporcionando la foto rural una imagen más atractiva estéticamente y con una componente más novedosa que las habitualmente empleadas para promocionar este producto, caracterizadas por utilizar unas iconografías similares a las que aparecían en las otras dos fotos analizadas en el presente estudio, lo cual iría en consonancia con estudios previos de preferencias del consumidor de productos alimentarios (p. ej., Zeithaml, 1988; Sulé Alon-

so et al., 2005). No obstante, parece ostensible la necesidad de indagar en mayor profundidad en esta línea de investigación para conocer cómo la inclusión de información gráfica, especialmente fotos, en el diseño de los envases de productos cárnicos influye en la disposición de comprar el producto. En este sentido, futuras investigaciones deberían ahondar asimismo en la influencia de las características sociodemográficas del consumidor y su conocimiento del sistema agrario de la dehesa como determinantes de compra de estos productos, siguiendo recientes contribuciones tales como la de Resano y Sanjuán (2018).

Conclusiones

Esta investigación tiene por objeto profundizar en el conocimiento existente sobre las preferencias de los consumidores respecto del jamón ibérico, analizando de forma novedosa algunos atributos de búsqueda y confianza. Los resultados muestran que existe un patrón de preferencias del consumidor diferente dependiendo del tipo de jamón ibérico, bellota o cebo. Ello se traduce no solo en la diferente magnitud de su disposición a pagar por ambos tipos de jamón, sino en la propia composición de las funciones de utilidad. En efecto, los resultados sugieren que el tipo de jamón ibérico determina en gran medida la disposición a pagar por parte de los consumidores, mostrando cómo en el caso del de bellota se transfiere un gran valor al producto (significativamente superior con respecto al transferido por el de cebo). Ello hace asimismo que el resto de los atributos en el jamón ibérico de bellota atesore una importancia relativa menor en el comportamiento del consumidor (menor magnitud de la disposición a pagar asociada específicamente a estos atributos), en contraposición con el caso del de cebo, donde la contribución del resto de atributos es mayor. Respec-

to de la diferente composición de las funciones de utilidad, se observa cómo en el caso del jamón ibérico de bellota los atributos de pureza racial, el tipo de corte, la referencia escrita a la procedencia de dehesa y el fondo del envase determinan de forma significativa la disposición a pagar del consumidor. Por su parte, en el caso del jamón ibérico de cebo, son exclusivamente los atributos de pureza de raza y el tipo de corte los que determinan esta disposición.

Los resultados obtenidos presentan una elevada relevancia, tanto desde el punto de vista normativo, como sectorial, en relación con la comercialización del producto. Respecto de la dimensión normativa, se deduce que la limitación establecida en la Norma de Calidad, sobre la utilización de menciones e imágenes relativas a la dehesa únicamente en los productos de bellota, si bien puede estar justificada desde el punto de vista de evitar fraudes, no tiene un impacto significativo desde el punto de vista del consumidor, ya que este no valora estos atributos en el caso del jamón ibérico de cebo.

Desde el punto de vista de la comercialización, la constatación de la valoración diferencial de los distintos atributos por parte del consumidor en el caso de que se trate de jamón ibérico de bellota o cebo informa al sector de la necesidad de desarrollar estrategias de comercialización diferentes según el tipo de jamón. Si bien en el caso del cebo estas estrategias deberían poner en valor sobre todo el tipo de corte del jamón, una característica de calidad percibida que ha mostrado una elevada influencia en la disposición a pagar, en el caso del de bellota las oportunidades de diferenciación se antojan mayores. En concreto, de los resultados se desprende que las estrategias de comercialización del jamón ibérico de bellota pueden dirigirse a poner en valor tanto la pureza de la raza y tipo de corte, como la vinculación con el sistema productivo de la dehesa. Respecto de esta vinculación, se pueden diseñar estrategias ba-

sadas en el nexo bellota-dehesa y su relación con los servicios ambientales y culturales que provee este agroecosistema. Así, como señalan Granado-Díaz et al. (2018), la demanda por parte de la sociedad de este tipo de servicios puede utilizarse como estrategia de diferenciación en los mercados agroalimentarios. En particular, se podrían explorar estrategias de *comoditización* de los servicios ecosistémicos provistos por la dehesa, como las apuntadas para otros productos alimentarios relevantes en la región (p. ej., para el caso del aceite de oliva, como muestran Salazar-Ordóñez et al., 2020). De este modo, a través del etiquetado los productores de jamón ibérico de bellota podrían presentar dichos servicios como características del propio producto, representando para el consumidor un atributo más a valorar en su decisión de compra, dándose así pasos hacia la internalización en el precio de los servicios ecosistémicos provistos por estos sistemas agrarios.

Agradecimientos

Los autores agradecen los comentarios y sugerencias realizados por los revisores anónimos durante el proceso de evaluación del artículo, los cuales han contribuido a la mejora del documento final. Asimismo, quieren mostrar su agradecimiento a Dña. M^a del Carmen Yruela y a Dña. María Ruano, del Dpto. de Formación y Divulgación de la Agencia de Gestión Agraria y Pesquera de Andalucía, por su colaboración en el diseño de las tarjetas de elección empleadas en esta investigación.

Este trabajo ha sido financiado por el Programa INTERREG V-A España-Portugal (POCTEP) 2014-2020 del Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER), a través del proyecto PRODEHESA-MONTADO (Proyecto de Cooperación Transfronteriza para la Valorización Integral de la Dehesa-Montado, expediente N° 0276_PRODEHESA_MONTADO_6_E).

Referencias bibliográficas

- Aboah J, Lees N (2020). Consumers use of quality cues for meat purchase: Research trends and future pathways. *Meat Science* 166: 108142. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108142>.
- Acosta Naranjo R (2002). Los entramados de la diversidad: Antropología social de la dehesa. Diputación de Badajoz, Departamento de publicaciones, Badajoz (España).
- Baba Y, Kallas Z, Costa-Font M, Gil JM, Realini CE (2016). Impact of hedonic evaluation on consumers' preferences for beef attributes including its enrichment with n-3 and CLA fatty acids. *Meat Science* 111: 9-17. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2015.08.005>.
- Becker T (2000). Consumer perception of fresh meat quality: A framework for analysis. *British Food Journal* 102: 158-176. <https://doi.org/10.1108/00070700010371707>.
- BOE (Boletín Oficial del Estado) (2014a). Real Decreto 4/2014, de 10 de enero, por el que se aprueba la norma de calidad para la carne, el jamón, la paleta y la caña de lomo ibérico. Boletín Oficial del Estado núm. 10, de 11 de enero de 2014.
- BOE (Boletín Oficial del Estado) (2014b). Real Decreto 474/2014, de 13 de junio, por el que se aprueba la norma de calidad de derivados cárnicos. Boletín Oficial del Estado núm 147, de 18 de junio de 2014.
- CAPDR (Consejería de Agricultura Pesca y Desarrollo Rural) (2017). Plan Director de las Dehesas de Andalucía. Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural, Sevilla, España. 383 pp.
- Carbonero MD, Fernández-Rebollo P, García-Moreno AM, Moreno-Elcure F (2010). Servicios ambientales de las dehesas: Sistema de indicadores y metodología de evaluación. Universidad de Córdoba, Córdoba.
- Carrapiso AI, Jurado Á, Timón ML, García C (2002). Odor-active compounds of Iberian Hams with different aroma characteristics. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 50: 6453-6458. <https://doi.org/10.1021/jf025526c>.
- Colombo S, Calatrava-Requena J, Hanley N (2007). Testing choice experiment for benefit transfer with preference heterogeneity. *American Journal of Agricultural Economics* 89: 135-151.
- Darby MR, Karni E (1973). Free competition and the optimal amount of fraud. *The Journal of Law and Economics* 16: 67-88.
- Daza A (2001). Producción y calidad en el cerdo Ibérico. *Mundo ganadero* 130: 46-50.
- Deaton A, Muelbauer J (1980). Economics and consumer behaviour. Cambridge University Press, Cambridge (UK). 587 pp.
- Díaz-Caro C, García-Torres S, Elghannam A, Tejerina D, Mesias FJ, Ortiz A (2019). Is production system a relevant attribute in consumers' food preferences? The case of Iberian dry-cured ham in Spain. *Meat Science* 158: 107908. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.107908>.
- Espejel J, Fandos C, Flavián C (2007). Spanish air-cured ham with Protected Designation of Origin (PDO). *Journal of International Food & Agribusiness Marketing* 19: 5-30. https://doi.org/10.1300/J047v19n04_02.
- Gracia A, de-Magistris T (2013). Preferences for lamb meat: A choice experiment for Spanish consumers. *Meat Science* 95: 396-402. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.05.006>.
- Gracia A (2014). Consumers' preferences for a local food product: A real choice experiment. *Empirical Economics* 47: 111-128. <https://doi.org/10.1007/s00181-013-0738-x>.
- Granado-Díaz R, Villanueva AJ, Gómez-Limón JA, Rodríguez-Entrena M (2018). Análisis de la heterogeneidad de la demanda de bienes públicos procedentes del olivar de montaña en Andalucía. *ITEA-Información Técnica Económica Agraria* 114: 158-182. <https://doi.org/10.12706/itea.2018.011>.
- Granado-Díaz R, Gómez-Limón JA, Rodríguez-Entrena M, Villanueva AJ (2020). Spatial analysis of demand for sparsely located ecosystem services using alternative index approaches. *European Review of Agricultural Economics* 47: 752-784. <https://doi.org/10.1093/erae/jbz036>.

- Hensher D, Hanley A, Rose JM, Greene WH (2015). *Applied choice analysis* (2nd ed.). Cambridge University Press, Cambridge (UK).
- Kallas Z, Varela E, Čandek-Potokar M, Pugliese C, Cerjak M, Tomažin U, Karolyi D, Aquilani C, Vitale M, Gil JM (2019). Can innovations in traditional pork products help thriving EU untapped pig breeds? A non-hypothetical discrete choice experiment with hedonic evaluation. *Meat Science* 154: 75-85. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.04.011>.
- Krinsky I, Robb AL (1986). On approximating the statistical properties of elasticities. *The Review of Economics and Statistics* 68: 715-719. <https://doi.org/10.2307/1924536>.
- Lancaster KJ (1966). A new approach to consumer theory. *The Journal of Political Economy* 74: 132-157.
- Lancsar E, Louviere J (2008). Conducting discrete choice experiments to Inform healthcare decision making. *PharmacoEconomics* 26: 661-677. <https://doi.org/10.2165/00019053-200826080-00004>.
- MAPA (Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación) (2019a). Datos anuales del panel de consumo alimentario en hogares 2018. MAPA, Madrid.
- MAPA (Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación) (2019b). Registro informativo de organismos independientes de control del ibérico (RIBER). Disponible en: <https://www.mapa.gob.es/app/riber/Publico/BuscadorProductosCertificados.aspx> (Consultado: 26 febrero 2020).
- McFadden DL (1974). Conditional logit analysis of qualitative choice behaviour. En: *Frontiers in econometrics* (Ed. Zarembka P), pp. 105-142. Academic Press, New York.
- Mesías FJ, Gaspar P, Pulido ÁF, Escribano M, Pulido F (2009). Consumers' preferences for Iberian dry-cured ham and the influence of mast feeding: An application of conjoint analysis in Spain. *Meat Science* 83: 684-690. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2009.08.004>.
- Mørkbak MR, Christensen T, Gyrd-Hansen D (2011). Consumers' willingness to pay for safer meat depends on the risk reduction methods – A Danish case study on Salmonella risk in minced pork. *Food Control* 22: 445-451. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2010.09.024>.
- Moser R, Raffaelli R, Thilmany DD (2011). Consumer preferences for fruit and vegetables with credence-based attributes: A review. *International Food and Agribusiness Management Review* 14: 121-142. <http://dx.doi.org/10.22004/ag.econ.103990>.
- Nelson P (1970). Information and consumer behavior. *Journal of Political Economy* 78: 311-329.
- Pugliese C, Sirtori F (2012). Quality of meat and meat products produced from southern European pig breeds. *Meat Science* 90: 511-518. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2011.09.019>.
- Ramírez MR, Cava R (2007). Effect of Iberian x Duroc genotype on dry-cured loin quality. *Meat Science* 76: 333-341. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2006.11.017>.
- Resano H, Sanjuán AI, Albisu LM (2007). Consumers' acceptability of cured ham in Spain and the influence of information. *Food Quality and Preference* 18: 1064-1076. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2007.05.002>.
- Resano H, Sanjuán AI, Albisu LM (2012). Consumers' response to the EU Quality policy allowing for heterogeneous preferences. *Food Policy* 37: 355-365. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2012.03.006>.
- Resano H, Sanjuán AI (2018). Exploring the Role of mountain origin and autochthonous breed on urban consumers' acceptability. *Sustainability* 10: 4423. <https://doi.org/10.3390/su10124423>.
- Rose J, Bain S, Bliemer MC (2011). Experimental design strategies for stated preference studies dealing with non-market goods. En: *The international handbook on non-market environmental valuation* (Ed. Bennet J), pp. 273-299. Edward Elgar Publishing, Cheltenham (UK).
- Sahelices A, Mesías FJ, Escribano M, Gaspar P, Elghannam A (2017). Are quality regulations displacing PDOs? A choice experiment study on Iberian meat products in Spain. *Italian Journal of Animal Science* 16: 9-13. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2016.1266704>.

- Salazar-Ordóñez M, Rodríguez-Entrena M, Cabrera ER, Henseler J (2018). Understanding product differentiation failures: The role of product knowledge and brand credence in olive oil markets. *Food Quality and Preference* 68: 146-155. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2018.02.010>.
- Salazar-Ordóñez M, Rodríguez-Entrena M, Villanueva AJ (2020). Exploring the commodification of biodiversity using olive oil producers' willingness to accept. *Land Use Policy*, In press: 104348. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104348>.
- Silva Pérez MR (2010). La dehesa vista como paisaje cultural. *Fisonomías, funcionalidades y dinámicas históricas. Ería: Revista cuatrimestral de geografía* 82: 143-157.
- Street DJ, Burgess L (2007). *The construction of optimal stated choice experiments: Theory and methods*. John Wiley and Sons, Hoboken, NJ. 321 pp. <https://doi.org/10.1002/9780470148563>.
- Sulé Alonso MA, Muñoz PA, Lévy J-P (2005). Testing a model of perceived food quality determinants. *Journal of International Food & Agribusiness Marketing* 17: 9-33. https://doi.org/10.1300/J047v17n01_02.
- Train K (2003). *Discrete choice methods with simulation*. Cambridge University Press, Cambridge (UK).
- Underwood RL, Klein NM (2002). Packaging as brand communication: Effects of product pictures on consumer responses to the package and brand. *Journal of Marketing Theory and Practice* 10: 58-68. <https://doi.org/10.1080/10696679.2002.11501926>.
- Villanueva AJ, Gómez-Limón JA, Rodríguez-Entrena M (2017). Valoración de la oferta de bienes públicos por parte de los sistemas agrarios: el caso del olivar de montaña en Andalucía. *Economía Agraria y Recursos Naturales* 17: 25-58. <https://doi.org/10.7201/earn.2017.01.02>.
- Zeithaml VA (1988). Consumer perceptions of price, quality, and value: A means-end model and synthesis of evidence. *Journal of Marketing* 52: 2-22. <https://doi.org/10.1177/002224298805200302>.

(Aceptado para publicación el 15 de enero de 2021)

Internacionalización y supervivencia de la pyme agroalimentaria del sur de España

Mercedes Luque-Vílchez^{1,*} y Pablo Rodríguez-Gutiérrez²

¹ Departamento de Economía Agraria, Finanzas y Contabilidad. Universidad de Córdoba, Calle Puerta Nueva s/n, 14071 Córdoba. España

² Departamento de Estadística, Econometría, Investigación Operativa, Organización de Empresas y Economía Aplicada. Universidad de Córdoba, Calle Puerta Nueva s/n, 14071 Córdoba. España

Resumen

Las pymes representan la base del tejido empresarial y son elementos de cohesión del territorio en el que desarrollan su actividad. Sin embargo, el desempeño empresarial, medido a través de la supervivencia de las empresas en el tiempo, es uno de los principales problemas que afronta una estructura productiva fragmentada. Este trabajo tiene como objetivo estudiar el efecto de la internacionalización como estrategia empresarial en la supervivencia de las pymes del sector agroalimentario en el sur de España. Para ello, se analizó una muestra de 1.297 pymes del sector agroalimentario localizadas en la zona sur de España (Andalucía y Extremadura), las cuales fueron examinadas mediante el método de Kaplan-Meier y un análisis longitudinal (periodo 2000-2015). Los resultados revelan que las pymes del sector agroalimentario tienen más probabilidades de sobrevivir si emprenden el proceso de internacionalizarse, estando factores como la innovación y la estructura de capital familiar están positivamente asociados al grado de supervivencia de la empresa. Estos resultados ponen de manifiesto la necesidad de desarrollar políticas que contribuyan a dicha internacionalización, a través de la puesta en marcha de medidas de faciliten a las empresas lanzar estrategias competitivas y de diversificación comerciales y productivas en mercados no tradicionales. En este sentido, el trabajo cubre un campo de estudio incipiente como es el rol de los procesos de internacionalización en la supervivencia empresarial.

Palabras clave: Supervivencia empresarial, Kaplan-Meier, sector agroalimentario, Andalucía, Extremadura.

Internationalization and survival of the agri-food SME in southern Spain

Abstract

SMEs represent the basis of the business fabric and are elements of cohesion of the territory in which they carry out their activity. However, business performance, measured through the survival of companies over time, is one of the main problems faced by a fragmented production structure. This work aims to study the effect of internationalization as a business strategy in the survival of SMEs in the agri-food sector in southern Spain. For this, a sample of 1,297 SMEs from the agri-food sector located in the southern area of Spain (Andalusia and Extremadura) was analyzed, which were examined using the Kaplan-Meier method and a longitudinal analysis (2000-2015 period). The results reveal that SMEs in the agri-food sector

* Autor para correspondencia: mercedes.luque@uco.es

are more likely to survive if they undertake the process of internationalization, with factors such as innovation and the family capital structure being positively associated with the degree of survival of the company. These results show the need to develop policies that contribute to such internationalization, through the implementation of measures to facilitate companies launching competitive strategies and commercial and productive diversification in non-traditional markets. In this sense, the work covers an incipient field of study such as the role of internationalization processes in business survival.

Keywords: Business survival, Kaplan-Meier, agri-food industry, Andalusia, Extremadura.

Introducción

El sector agroalimentario ha demostrado ser un sector clave para el desarrollo y la sostenibilidad del tejido social y productivo regional (Ruiz-Chico *et al.*, 2014 y 2016). En este sector, las pequeñas y medianas empresas (pymes, de aquí en adelante) contribuyen a la creación de empleo, a la innovación, al desarrollo y a la productividad (van Praag y Versloot, 2007). Sin embargo, factores como el aumento de la competencia en contextos locales, repercuten en la necesidad de una mayor velocidad de adaptación por parte de las empresas. En este sentido, las pymes cuentan con menores posibilidades de adaptarse a los ritmos de innovación, perdiendo de esta forma competitividad y, llegado el caso, desaparecer (della Corte *et al.*, 2013). En última instancia esto se traduce en tasas de supervivencia inferiores a la media (esto es, porcentaje de empresas que sobreviven transcurridos cinco años desde el comienzo de su actividad). Así, de todas las empresas europeas creadas en 2012, menos de la mitad permanecían activas en 2017 (Eurostat, 2020). La tasa de supervivencia de las pymes españolas tras los cinco primeros años desde su puesta en marcha es del 29 %, la tasa más baja de la Unión Europea (OCDE, 2015).

El sur de España cuenta con una estructura productiva aún muy dependiente del sector primario (de la Torre *et al.*, 2014) y con tasas de desempleo estructural muy superiores a las del resto del país (INE, 2019). Al mismo tiempo el sector agroalimentario, que verte-

bra la economía de Andalucía y Extremadura, se presenta como un vector de competitividad para estas frente al resto del Estado, facturando un 25 % del total del país y liderando las exportaciones con un 22,9 % (PWC, 2017; Junta de Extremadura, 2019). Por lo tanto, contar con estructuras productivas estables en este sector es primordial. En lo referente a la supervivencia de las empresas en el tiempo, este hecho es aún más acusado en regiones de la UE como son Andalucía y Extremadura, donde la tasa de cese de actividad bruta de empresas ha sido tradicionalmente la mayor de España (INCYDE, 2001; Peña-Legazkue, 2019) y donde su PIB, lejos de converger ha disminuido significativamente tras la crisis de 2008 (Éltet, 2019). Conscientes del problema que supone esta alta tasa de mortalidad entre las pymes, estudios previos sugieren la necesidad de desarrollar más investigaciones sobre los factores o variables que inciden en la supervivencia de estas, especialmente en contextos regionales (Huggins *et al.*, 2017).

La investigación existente en la materia se ha centrado en dos grupos de variables explicativas de supervivencia de la pyme: factores internos, y factores externos a la empresa (Manjón-Antolín y Arauzo-Carod, 2008). En lo que se refiere a los factores internos, los estudios empíricos existentes analizan principalmente cómo la edad y el tamaño de la empresa influyen en la supervivencia de esta. En cuanto a la edad, el término *liability of newness* (desventaja de la novedad) (Stinchcombe, 2000) explica cómo la tendencia de

las organizaciones jóvenes a tener una tasa de fracaso es más alta que las empresas más antiguas. En cuanto al tamaño, el término *liability of smallness* (desventaja del tamaño) (Aldrich y Auster, 1986) sostiene que las empresas pequeñas son más propensas a salir del mercado que sus homólogas de mayor tamaño. En relación con los factores externos, la mayor parte de las investigaciones existentes se han centrado en factores ambientales propios del sector de actividad en el que opere la empresa, en la variable territorial o regional y en el ciclo económico (Simón-Moya *et al.*, 2016).

Con base en la literatura previa parece pertinente analizar los factores determinantes de la supervivencia de la pyme en la zona sur de España, conformadas por Andalucía y Extremadura¹, dada la mencionada baja tasa de supervivencia de sus empresas (INCYDE, 2001; Peña-Legazkue, 2019). La toma en consideración de la decisión de internacionalizarse vía exportaciones como estrategia empresarial es crucial para la supervivencia y crecimiento de las empresas en la actualidad (Meschi *et al.*, 2017; Forte y Moreira, 2018). Sin embargo, la influencia de la internacionalización vía exportaciones en la supervivencia empresarial parece no haber sido estudiado en profundidad hasta la fecha, y muy pocos trabajos han abordado la perspectiva de supervivencia de las empresas internacionalizadas (Lee *et al.*, 2012). A pesar de las ventajas que suponen para las empresas la actividad de exportación (Meschi *et al.*, 2017), puede dar a lugar a determinados problemas, como por ejemplo, un aumento del riesgo de fracaso de pymes, vulnerables al intentar encontrar un nicho de mercado en países desconocidos, además de potencialmente competitivos (Mudambi y Zahra, 2007).

En esta línea, este artículo pretende proporcionar mayor evidencia empírica sobre el estudio de la supervivencia empresarial bajo una 'óptica regional' (Uribe-Etxeberria y Silvente, 2012), poniendo el foco de análisis en el efecto de la internacionalización de la empresa sobre su supervivencia. Se utiliza el método Kaplan-Meier para realizar un análisis de supervivencia a lo largo del tiempo de una muestra de 1.297 pymes agroalimentarias constituidas en el periodo 2000-2010, con el propósito de comprender mejor la relación entre la internacionalización y la supervivencia de la pyme en este sector, y concretamente en Andalucía y Extremadura.

El resto de este artículo se estructura de la siguiente forma: a continuación, se proporciona un marco conceptual en el que se incluyen la hipótesis a analizar en el presente estudio; la sección dos presenta los métodos de investigación utilizados; la sección tres presenta resultados y las conclusiones extraídas se resumen en la última sección.

Internacionalización y supervivencia de la pyme de la industria agroalimentaria en la zona sur de España (Andalucía y Extremadura)

La industria agroalimentaria en el sur de España es de vital importancia a nivel económico y social para las regiones que la conforman (Andalucía y Extremadura), siendo motor del crecimiento económico de estas regiones dentro de España, y la UE (Marchese y Potter, 2011). Así este sector representa cerca del 30 % del valor añadido y más del 30 % de empleo generado en el sector industrial en general (INE, 2019). De esta forma se convierte en el mayor sector industrial tanto en Andalucía como en Extremadura

1. Clasificación geográfica por razones de naturaleza económica recogida por INCYDE (2001): Zona Cantábrica, Zona Centro, Arco Mediterráneo, Eje del Ebro, Zona Sur y Canarias.

en términos de empleo y generación de riqueza, siendo la gran mayoría de empresas del sector pymes (99 %). Por subsectores, en función de su cifra de negocio, la producción de aceites y grasas (41,9 %), la industria cárnica (12,2 %) y preparados y conservados de frutas y hortalizas (9,8 %) representan los principales pilares de la industria en Andalucía y Extremadura (INE, 2017).

Un factor fundamental que confirma la competitividad del sector agroalimentario en esta zona de España es su peso relativo en términos de internacionalización. Las exportaciones de la industria agroalimentaria de la región en el periodo 2010-2019 prácticamente se duplicaron, pasando de los 6.883 millones de euros en 2010, hasta alcanzar un volumen de 11.784 millones en 2019, todo ellos pasando del 25 % del total de las exportaciones agroalimentarias nacionales en 2010 hasta algo más del 27 % del total de las exportaciones agroalimentarias de la industria española². Esta importancia relativa se entiende mejor comparado con la riqueza total generada por ambas regiones, representando el PIB de ambas tan solo el 14,4 % del total nacional. Sin embargo, a pesar de la importancia del sector, existe una carencia de estudios que se refieren a los condicionantes y factores que influyen en los patrones de supervivencia de las empresas agroalimentarias. A pesar de ello es creciente el interés en la literatura por conocer los determinantes del desempeño del sector (p. ej. Sepúlveda Orejuela *et al.*, 2020).

La mayoría de los estudios previos en el campo de investigación de la organización empresarial han apoyado la influencia positiva de la internacionalización corporativa en el desempeño económico y financiero (p. ej. Catanzaro *et al.*, 2019; Ibeh *et al.*, 2006), por

tanto, su incidencia positiva en la supervivencia de la empresa. De acuerdo con la evidencia empírica (p. ej. Wagner, 2012), la probabilidad estimada de supervivencia es más elevada para las empresas internacionalizadas (con respecto de las no internacionalizadas o domésticas). Además, esta probabilidad persiste tras controlar las características de la empresa que se asocian positivamente tanto con exportaciones como con supervivencia, tales como el tamaño y la edad (Albino *et al.*, 2008). Por ejemplo, Baldwin y Yan (2011) descubrieron que las tasas de fracaso son mucho más altas para las empresas no exportadoras, ya que, en general, suelen ser menos eficientes que las exportadoras. En España, Esteve-Pérez *et al.* (2008), utilizando una muestra de pymes productoras españolas y tras estimar modelos de riesgo proporcional de tiempo específico, confirman la existencia del denominado efecto de la 'supervivencia por exportación'. La exportación puede considerarse como una forma de diversificación del riesgo mediante la diversificación de las ventas en diferentes mercados, en distintas condiciones del ciclo empresarial o en una fase distinta del ciclo del producto (Wagner, 2012). Lee *et al.* (2012) sugieren que expandir los mercados de una pyme más allá de sus fronteras nacionales puede incrementar su probabilidad de supervivencia. De acuerdo con Salomon y Shaver (2005), los exportadores a menudo pueden acceder a diversos insumos de conocimiento que no están disponibles en el mercado nacional, que pueden ser 'devueltos' como aprendizaje para la empresa, fomentando así la innovación, la productividad y, por consiguiente, la supervivencia. En consecuencia, por todo lo confirmado en la literatura previa, en el presente trabajo se espera que exista un efecto positivo directo de la internacionalización en la super-

2. <https://www.icex.es/icex/es/navegacion-principal/todos-nuestros-servicios/informacion-de-mercados/estadisticas/sus-estadisticas-a-medida/estadisticas-espanolas-estacom/index.html>

vivencia de la empresa. Así, se establece la hipótesis del estudio: "La internacionalización se asocia positivamente con la supervivencia de la pyme en la industria agroalimentaria de Andalucía y Extremadura".

Material y métodos

Muestra y recopilación de datos

Los datos se recopilaron de información económica y financiera de carácter secundario divulgada por SABI (2019). Con la finalidad de obtener los datos de aquellas empresas del sector objeto de estudio, se eligieron las empresas del grupo 10 (Industria de la Alimentación) de la CNAE (2019). Las empresas resultantes se filtraron para seleccionar sólo las pymes, de acuerdo con los criterios del Reglamento (UE) n° 651/2014 de la Comisión Europea (Comisión Europea, 2014), que establecen que las empresas consideradas como pymes son aquellas que con menos de 250 empleados y cuyo volumen de negocios anual no sobrepasa los 50 millones de euros o los 43 millones de euros de balance general anual. Posteriormente se segmentó en función de la demarcación geográfica de su sede social, en este caso Andalucía y Extremadura. De todo este conjunto de empresas, se pasó a seleccionar aquéllas que se crearon durante el período 2000-2010. El período de estudio para el análisis de supervivencia se extendió hasta los 15 años, siguiendo a Colombelli *et al.* (2016). Finalmente, tan sólo pasaron a formar parte de la muestra aquellas empresas que presentaban información amplia sobre cada variable en el periodo de estudio, resultando 1.297 empresas observadas de forma continuada durante el período 2000-2015.

Variables

La variable dependiente se definió como la supervivencia de las empresas (T), representada por el número de años que una empresa

se encontró activa. En este sentido, cada período de supervivencia se consideró como un intervalo entre el punto inicial y el punto final. Así, el punto inicial fue el primer momento en que una empresa declaraba comenzar un negocio, en cualquier momento entre el año 2000 y finales de 2010. Como punto final se tuvieron en cuenta dos supuestos: en primer lugar, el fracaso corporativo, que se definió como la discontinuidad o cierre de un negocio. En segundo lugar, la supervivencia de la empresa que se consideró cuándo una empresa mantuvo su actividad hasta finales de 2015, último año que se tuvo en cuenta en este estudio (Tabla 1).

Como forma de medir la internacionalización y su efecto en la supervivencia de las empresas, se incluyeron las exportaciones por ser esta según Jalali (2012) la forma más frecuente a la que recurren las pymes para internacionalizarse. Con base en la información de SABI, se utilizó una variable dicotómica: la "internacionalización", tomó el valor 1 si una pyme llevó a cabo exportaciones (independientemente del valor), o 0 en caso contrario.

Adicionalmente, para mayor solidez, los efectos de las variables independientes se controlaron empleando las variables edad, tamaño, rentabilidad sobre el capital invertido (ROE) y rentabilidad sobre activos (ROA), riesgo financiero (a corto y largo plazo), innovación y naturaleza familiar de la organización. Todas las variables de control (ver tabla 1) son de naturaleza continua excepto "innovación" y "naturaleza familiar de la organización" que son medidas de forma dicotómica 'Si/No, 1/0'.

En cuanto a la edad de la empresa, gran parte de las investigaciones previas afirman que las empresas jóvenes afrontan riesgos de mortalidad más altos que las más antiguas (p. ej. Colombelli *et al.*, 2016), una situación que tiene que ver con la *liability of newness*. Las empresas jóvenes son vulnerables al fracaso porque aún tienen que desarrollar las ruti-

Tabla 1. Variables empleadas en el estudio.

Table 1. Variables included in the study.

Variable	Medida	Tiempo
Tiempo de supervivencia	Tiempo transcurrido entre año 2000 y el momento de cese de actividad de la empresa	
Internacionalización	Variable dummy igual a 1 si la empresa lleva a cabo actividades de exportación y, 0 en caso contrario	2015
Edad	Momento de tiempo en que la empresa fue constituida	2000-2010
Tamaño	Nº de empleados	Promedio 2000-2015
ROA ¹	Ingreso neto / activos totales	Promedio 2000-2015
ROE ²	Utilidad neta / patrimonio neto	Promedio 2000-2015
Riesgo a C/P ³	Pasivo no corriente / patrimonio neto	Promedio 2000-2015
Riesgo a L/P ⁴	Pasivo no corriente / patrimonio neto	Promedio 2000-2015
Innovación	Variable dummy igual a 1 si la compañía incrementa sus activos intangibles, 0 en caso contrario	Promedio 2000-2015
Empresa familiar	Variable dummy igual a 1 si en la empresa uno o más individuos (familias), representan al menos el 50% del capital, 0 en caso contrario	2015

¹ Return on Assests; ² Return on Equity; ³ Corto plazo; ⁴ Largo plazo.

nas, por medio de las cuales desarrollan un nivel de eficiencia a lo largo del tiempo que las hace más resilientes a factores adversos (Jovanovic, 1982), lo cual es fundamental para su supervivencia. De este modo, la edad de la empresa se estimó como el número de años de existencia de la organización desde su fundación a partir del año 2000.

Por lo que respecta al tamaño de la organización, la probabilidad de éxito de la empresa aumenta con su tamaño, *liability of smallness* (Aldrich y Auster, 1986), que establece que las empresas más pequeñas tienen mayores posibilidades de verse abocadas a cesar su actividad frente a aquellas otras de mayores dimensiones. Esto se explica por las desventajas de las economías de escala, las limitaciones fi-

nancieras que conducen a un riesgo más elevado de insolvencia o liquidez, dificultades para encontrar trabajadores altamente cualificados, y una gestión menos avanzada técnicamente (Strotmann, 2007). El tamaño de la empresa se estimó según el promedio de ventas de la empresa durante el periodo 2000-2010.

Asimismo, un factor recurrente que afecta a la supervivencia de la empresa es el margen de beneficio obtenido (p. ej. Lin y Huang, 2008). Un alto margen de beneficio implicaría que el nivel de competencia es moderado en el sector en el que opera la empresa, lo que explicaría la elevada tasa de supervivencia. Por lo tanto, se puede afirmar que el margen de beneficio está relacionado positivamente con la tasa de supervivencia.

En cuanto al ratio de endeudamiento, la teoría tradicional de la estructura de capital defiende que las empresas escogen la combinación de deuda y capital que optimice su valor al mismo tiempo que minimicen su coste medio ponderado de capital. Diversos estudios destacan la existencia de barreras económicas basadas en las deudas que bloquean la supervivencia de las empresas (Robson *et al.*, 2013), mientras que otros estudios (p. ej. Wamba *et al.*, 2017) sugieren que ratios de deuda alta podrían afectar al desarrollo y supervivencia futuros de la empresa. Para estudiar la influencia del endeudamiento en la probabilidad de supervivencia, se midió el peso de la deuda en el total de la financiación inicial, empleando la ratio entre el valor contable de la deuda y los activos totales en el balance.

Con respecto a la innovación, diferentes estudios (p. ej. Naidoo, 2010) resaltan la relevancia de la innovación para la supervivencia de las empresas y, en particular, para las pymes (Bouncken *et al.*, 2015). Siguiendo la literatura existente en el sector agroalimentario español (Zouaghi *et al.*, 2017), se ma-

terializó el nivel de innovación de las pymes en términos de crecimiento de empresas en activos intangibles. En ese sentido, se adoptó la variable "empresa innovadora" que tomó el valor 1 si una empresa se caracterizaba por un crecimiento en activos intangibles en el año t (con respecto al año $t - 1$) y 0, de lo contrario (Zouaghi *et al.*, 2017).

Finalmente, los antecedentes familiares son tenidos en cuenta en el análisis empírico ya que investigaciones previas indican que las empresas controladas por grupos familiares cuentan con un mejor desempeño que el resto (Anderson y Reeb, 2003). Para capturar el grado de antecedentes familiares, se ha introducido una variable ficticia que tomó el valor 1 si en la empresa uno o más individuos o familias juntas tienen entre el 50 % y el 100 % del capital, y el valor 0 en caso contrario.

En la Tabla 2 se presentan los estadísticos descriptivos de las variables continuas y en la Tabla 3 los correspondientes a las variables dicotómicas. Como se puede observar en la Tabla 3, un 3,4 % de las pymes agroalimentarias de la muestra llevó a cabo algún tipo de actividad internacional.

Tabla 2. Estadística descriptiva para variables continuas.
Table 2. Descriptive statistics for continuous variables.

Variable	N	Min.	Max.	Media	Desviación típica
Tiempo de supervivencia	1.297	0,23	15	9,099	4,443
Edad	1.297	0,03	11,01	6,350	2,976
tamaño	1.297	0,00	61.744,43	1.151,670	3.883,646
ROA ¹	1.297	-19.923,03	10.376,21	23,345	706,842
ROE ²	1.297	-1.912,02	725,23	-11,854	99,067
Riesgo a C/P ³	1.297	0,00	3.892,04	11,549	145,336
Riesgo a L/P ⁴	1.297	-128,49	450,24	3,054	23,331
N válidos	1.297				

¹ Return on Assets; ² Return on Equity; ³ Corto plazo; ⁴ Largo plazo.

Tabla 3. Estadística descriptiva de variables dicotómicas.
 Table 3. Descriptive statistics for dichotomous variables.

Variable	Medida	Frecuencia	Porcentaje válido
Forma jurídica	Sociedad limitada	1.203	95
	Sociedad anónima	46	3,6
	Cooperativa	14	1,1
	Resto	4	0,3
	Total	1.297	100,0
Activas/No-activas	0. No activas	573	44,2
	1. Activas	724	55,8
	Total	1.297	100,0
Internacionalización	0. No internacionalización	1.253	96,6
	1. Internacionalización	44	3,4
	Total	1.297	100,0
Innovación	0. No	1.068	82,3
	1. Si	229	17,6
	Total	1.297	100,0
Empresa familiar	0. No	987	76,1
	1. Si	310	23,9
	Total	1.297	100,0

Métodos

Para analizar si la internacionalización es relevante para la probabilidad de supervivencia de las pymes agroalimentarias, el foco del estudio se centra en la variable de duración: T . Concretamente, T indica el tiempo (medido en años) que las pymes sobreviven hasta 2015 (último dato disponible), y en este sentido, la función de distribución acumulativa F de la duración del tiempo T se puede formular de la siguiente manera:

$$F(t) = P(T \leq t), 0 \leq t \leq 15 \quad (1)$$

Esta función indica la probabilidad de que la duración del tiempo T sea menor o igual a t .

En otras palabras, esta función representa la probabilidad de que una pyme abandone la muestra de población antes de t años entre 2000 y 2015, debido al cese de la actividad empresarial. Según esto, la función de supervivencia se define como sigue:

$$S(t) = 1 - F(t) = P(T > t) \quad (2)$$

representando $S(t)$ la probabilidad de que una empresa sobreviva t años después del 2000.

Con el fin de lograr una mayor comprensión del modelo de supervivencia, se trazan las curvas de Kaplan-Meier en todos los grupos (empresas (no)internacionalizadas). El análisis de supervivencia es un análisis no paramé-

trico (Kaplan y Meier, 1958; Kalbfleisch y Prentice, 2011) que se lleva a cabo aplicando la función de supervivencia $S(t)$. Esta función representa la probabilidad de supervivencia en un momento pasado t y se calcula basándose en el método de Kaplan-Meier, que cubre todas las salidas de empresas (salidas $\leq t$). El análisis de supervivencia se ha realizado en SPSS a través de la estimación de la función $\hat{S}(t)$.

$$\hat{S}(t) = \prod_{t_i \leq t} \left(1 - \frac{d_i}{n_i} \right) \quad (3)$$

$\hat{S}(t)$ calcula la probabilidad de supervivencia de un elemento tras un tiempo t , entendiendo t como la duración del estudio en un punto i ; d_i es el número de bajas hasta el punto i (empresas de la muestra que no han sobrevivido y se ven obligadas a interrumpir o abandonar la actividad); y n_i es el número de individuos en riesgo antes de t_i (total de empresas de la muestra-empresas de la muestra que no han sobrevivido).

La principal ventaja del método Kaplan-Meier es la forma de calcular n_i , porque considerando el número de muertes (observaciones censuradas), la validez y la fiabilidad de los resultados incrementan.

En este estudio, la pregunta de investigación es testada por medio de la función de supervivencia utilizando el método de la tabla de vida (Kalbfleisch y Prentice, 2011), y posteriormente se estimaron las funciones de supervivencia para las diferentes categorías de empresas en base a variables independientes. En segundo lugar, se realizaron pruebas estadísticas para comprobar la igualdad de distribución de supervivencia a través de las diferentes categorías de empresas, concretamente utilizando el Log-Rank para las variables discretas y el modelo de regresión de Cox para las variables continuas, con el objetivo de probar si en función de la (no) internacionalización se puede proporcionar una explicación diferenciada sobre el rendimiento de las empresas tras su entrada.

En tercer lugar, se estimó un modelo de duración donde el tiempo de supervivencia es el resultado de una función de las variables principales y de control.

Dentro de la literatura previa se siguieron diferentes herramientas empíricas para estimar los determinantes de las tasas de supervivencia diferencial. Algunas contribuciones se basaron en el uso de modelos de estimación para variables categóricas binarias. Por ejemplo, Helmers y Rogers (2010) aplicaron un modelo probit para comprobar la probabilidad de salida firme. Otra corriente, sin embargo, otros análisis implementaron modelos de duración: Agarwal y Audretsch (2001) aplicaron una regresión proporcional del azar de Cox, mientras que Cefis y Marsili (2006) y Colombelli *et al.* (2013) utilizaron un enfoque paramétrico. De este modo, en el presente estudio se ha seguido un enfoque basado en la utilización del modelo de regresión de Cox (o regresión Cox de riesgos proporcionales) (Agarwal y Audretsch, 2001), una distribución logarítmica, ya que la prueba basada en los residuos de Schoenfeld sugiere que nuestros datos vulneran los modelos de riesgo proporcional. El modelo de tiempo acelerado para el efecto de las variables explicativas se ha estimado con un tiempo de supervivencia distribuido como un logaritmo, determinado por:

$$\ln(T) = X\beta + \sigma\varepsilon \quad (4)$$

Donde T es el tiempo de supervivencia, X es la matriz de las variables explicativas (ver Tabla 1), β es el coeficiente vectorial a estimar y ε es el coeficiente de los residuos (se ha asumido que se ajustan a una distribución normal). Las variables explicativas se calcularon como variables dicotómicas, las variables de control edad y tamaño se representaron como logaritmos, beneficio como un porcentaje y, finalmente, la ratio de deuda como una variable multimodal. Los parámetros se estimaron según el mayor valor de probabilidad.

Resultados

Análisis univariante

Para comprobar las diferencias en la supervivencia de las empresas agroalimentarias bajo una perspectiva de actividad internacional, primero se han comparado las tasas de supervivencia de los grupos de empresas internacionalizadas con respecto a las no internacionalizadas. La Tabla 4 muestra las estimaciones de la tabla de vida para las tasas de supervivencia de los diferentes grupos. La Columna 1 proporciona los momentos de tiempo (en años) y el resto de las columnas muestran las probabilidades de supervivencia estimada entre ese momento del tiempo y el siguiente.

La tabla muestra que para cada año la tasa estimada de supervivencia para las pymes agroalimentarias con actividad internacional ha sido más alta que la de las pymes no internacionalizadas y la diferencia incrementa con el paso del tiempo. Al final de este periodo, la tasa de supervivencia de las empresas internacionalizadas ha sido de un 72,73 %, mientras que la cifra correspondiente a las pymes no internacionalizadas ha sido de un 56,03 %.

La Figura 1 muestra el patrón de supervivencia (curva de Kaplan-Meier) para el caso de las empresas con (sin) actividad internacional.

Adicionalmente, se han realizado dos análisis univariantes distintos para determinar si las diferencias observadas entre los gráficos

Tabla 4. Kaplan-Meier tasas de supervivencia.
Table 4. Kaplan-Meier survival rates.

Intervalo de tiempo (t_j)	SME $[(n_j - d_j)/n_j]$ (%)	
	Internacional	No internacional
1	95,45	95,45
2	93,18	95,45
3	93,18	89,55
4	90,91	85,71
5	90,91	80,61
6	90,91	76,86
7	88,64	72,47
8	86,36	68,87
9	86,36	66,08
10	86,36	62,97
11	77,27	61,41
12	77,27	58,90
13	72,73	57,54
14	72,73	56,98
15	72,73	56,03

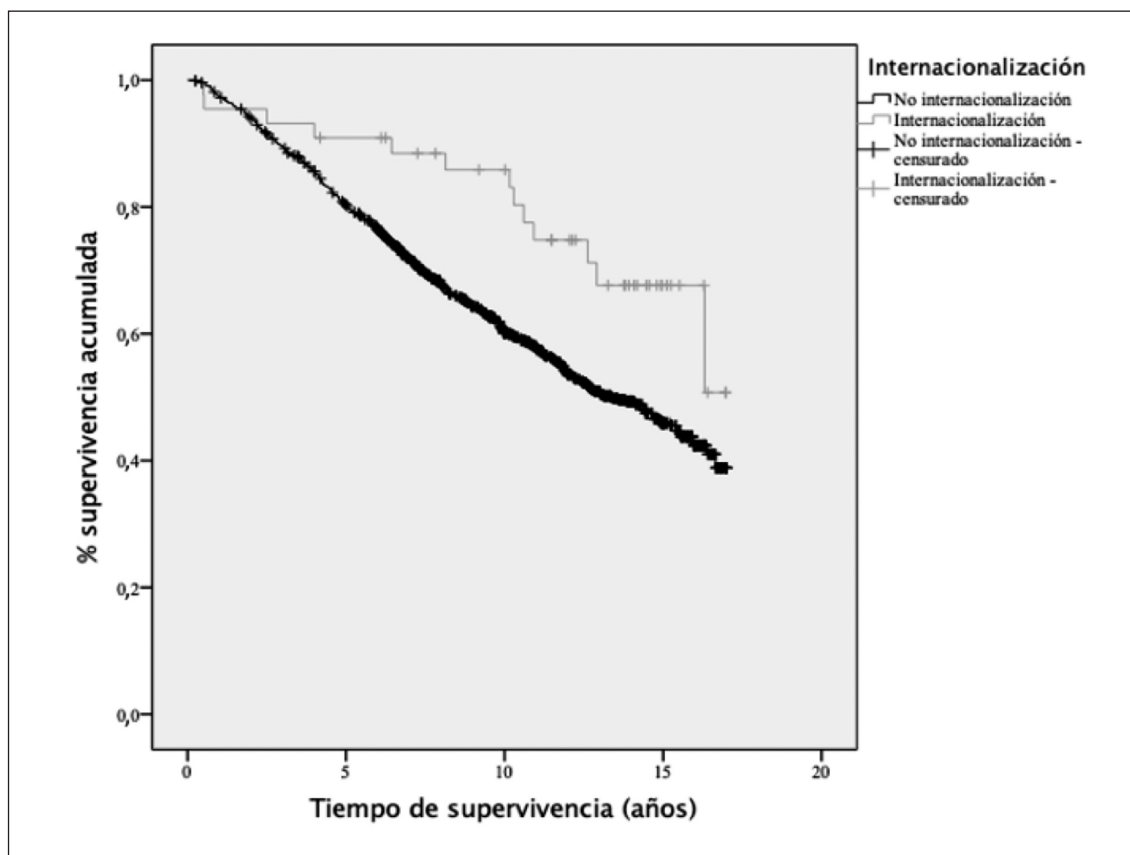


Figura 1. Kaplan-Meier estimación de supervivencia según internacionalización.
 Figure 1. Kaplan-Meier survival estimate according to internationalization.

son suficientemente relevantes estadísticamente: Log-Rank y el test de regresión de Cox (ver Tabla 5). El Log-Rank se utiliza en el caso de las covariantes dicotómicas (internacionalización y empresa familiar), mientras que se aplica el test de regresión de Cox semi-paramétrico para medir el efecto de las variables continuas (edad, tamaño, margen de beneficio y ratio de deuda) en la tasa de supervivencia. Los resultados obtenidos mediante el test Long-Rank y de regresión de Cox han confirmado que las pymes agroalimentarias internacionalizadas muestran una tasa más elevada de supervivencia que las

empresas que no realizan exportaciones. La tabla 5 también revela la conveniencia de incluir la edad, el tamaño de la empresa y ser empresa familiar en el modelo final, mientras que los test para los ratios de rentabilidad y riesgo no son relevantes.

Análisis multivariante

En esta sección, se realiza un análisis multivariante para investigar los condicionantes de supervivencia de la empresa. Para ello, se aplica el modelo de regresión Cox de riesgos proporcionales, que es un modelo de super-

Tabla 5. Prueba de igualdad de funciones de supervivencia.
 Table 5. Test of equality of survival functions.

Test	χ^2	Pr > χ^2
Internacionalización	5,890	0,015
Log rank		
Edad	9,646	0,002
Cox		
Tamaño	11,961	0,001
Cox		
ROA ¹	1,804	0,179
Cox		
ROE ²	0,353	0,552
Cox		
Riesgo a C/P ³	0,605	0,437
Cox		
Riesgo a L/P ⁴	0,299	0,585
Cox		
Innovación	1,690	0,194
Cox		
Empresa familiar	46,983	0,000
Log rank		

¹ Return on Assets; ² Return on Equity; ³ Corto plazo; ⁴ Largo plazo.

vivencia semi-paramétrico. Tras incluir las variables seleccionadas comentadas previamente, el modelo podría expresarse de la siguiente forma:

$$\ln(\text{expectativa de supervivencia}) = \beta_0 + \beta_1 \text{internac.} + \beta_2 \text{edad} + \beta_3 \text{tamaño} + \beta_4 \text{ROA} + \beta_5 \text{ROE} + \beta_6 \text{riesgo empresarial } \frac{C}{P} + \beta_7 \text{riesgo empresarial } \frac{L}{P} + \beta_8 \text{innovación} + \beta_9 \text{empresa familiar} + \varepsilon$$

Donde $\beta_{(1-9)}$ son los coeficientes correspondientes a cada una de las variables explicativas, β_0 es el término para la constante y ε es el término de error.

Posteriormente, se han estimado algunas especificaciones del modelo. La tabla 6 presenta los resultados de estimación para los modelos econométricos. Los coeficientes para las variables de covariación y control se han mostrado bastante sólidos en cada una de las especificaciones desarrolladas, a ex-

Tabla 6. Regresión de Cox y parámetros de máxima verosimilitud.
 Table 6. Cox regression and maximum likelihood parameters.

	Modelo	
	Coefficiente	Error estándar
Internacionalización	0,638*	0,282
Edad	-0,151*	0,058
Tamaño	-0,002	0,052
ROE ¹	-3,692E-04	3,182E-04
ROA ²	-3,642E-05	7,125E-05
Riesgo a C/P ³	8,200E-05	2,007E-04
Riesgo a L/P ⁴	0,001	0,001
Innovación	0,182**	0,106
Empresa familiar	0,795**	0,118
N		1.294
Log probabilidad		7.584,488

¹ Return on Equity; ² Return on Assests; ³ Corto plazo; ⁴ Largo plazo.

Variable dependiente: tiempo de supervivencia.

* Significación a nivel de 5 %; ** Significación a nivel de 1 %.

cepción del tamaño, la rentabilidad y los ratios de riesgo de la empresa. De acuerdo con las covariantes claves examinadas en este estudio, los resultados muestran que, la internacionalización se relaciona positivamente con la supervivencia a lo largo de los años. Según las variables de control, la edad de la empresa y el grado de innovación están positivamente asociados al grado de supervivencia, mientras que, en el caso del origen familiar la relación es negativa.

Los resultados del análisis confirman nuestra Hipótesis, ya que, efectivamente la internacionalización ha resultado positivamente asociada con la supervivencia de la pyme en la industria agroalimentaria de Andalucía y Extremadura, y, de acuerdo con la conclusión de Wagner (2012), los exportadores tienen

una probabilidad de supervivencia más elevada, indicando la existencia del efecto 'supervivencia por exportación'. Concretamente las pymes exportadoras tienen una tasa de supervivencia que prácticamente duplica las que solo operan en el mercado nacional ($e^{b(\text{internac})} = 1,878$). Asimismo los factores intangibles, tales como la calidad del producto o aquellos relacionados con los recursos humanos y los tecnológicos se han mostrado como relevantes indicadores de éxito de la internacionalización de las exportaciones en empresas agroalimentarias, incrementando un 20 % las probabilidades de supervivencia ($e^{b(\text{Innovac.})} = 1,200$). Finalmente, contar con estructura de propiedad familiar ayuda a las empresas a reducir en más del doble ($e^{b(\text{emp.}_\text{fam.})} = 2,214$) las probabilidades de cesar su actividad.

Discusión

Los resultados de esta investigación señalan que contar con actividad exportadora dentro de la operativa empresarial ayuda a las organizaciones a mejorar su expectativa de desempeño medido en términos de supervivencia. Por tanto, se apoya la hipótesis planteada, que afirma que las pymes agroalimentarias de Andalucía y Extremadura que exportan presentan una considerable menor tasa de fracaso que aquellas otras que no exportan, tal y como demuestran en sus conclusiones Esteve-Pérez *et al.* (2008) en el ámbito nacional y Wagner (2012) en el ámbito internacional. Los resultados apoyan la idea de la existencia de un efecto de “sobrevivir exportando”.

Por otra parte, factores intangibles, como la calidad de los productos o aquellos relacionados con recursos humanos o tecnológicos fueron identificados como predictores claves en el éxito y supervivencia de las pymes agroalimentarias internacionalizadas (Fernández-Olmos y Díez-Vial, 2014). Una mayor propensión a la inversión en este tipo de activos puede ser un reflejo de un mayor compromiso organizativo a medio/largo plazo. Asimismo, el hecho de contar con una estructura de capital dominada en torno a una familia refuerza las probabilidades de supervivencia (Anderson y Reeb, 2003). Esta estructura de capital puede verse reflejada en la influencia de la familia, en el compromiso de la familia con la organización empresarial, constituyendo una capacidad de acción que potencia y refuerza la posición de la empresa ante el resto de los competidores en el mercado.

De esta forma, este estudio complementa a un creciente cuerpo de literatura sobre la supervivencia empresarial de las pymes considerando los efectos de la internacionalización empresarial (Wagner, 2012) y, específicamente, arroja luz a las perspectivas de supervivencia de las pymes agroalimentarias en el sur de España, perspectivas que a pesar

de su importancia en este contexto no han sido analizadas en profundidad.

Los resultados de esta investigación parecen estar en línea con actividades que se vienen promoviendo desde la esfera de las políticas públicas. Así, por ejemplo, mediante determinadas políticas públicas se ha venido desarrollando una mayor conciencia hacia el sostenimiento del tejido empresarial, con especial énfasis en las áreas rurales. Como reflejo de ello se puede nombrar el Plan Estatal de Integración Asociativa –orientado a las cooperativas– (MAPAMA, 2014), facilitando la supervivencia de estas empresas por medio del reforzamiento del tamaño medio de las empresas del sector agroalimentario. También resulta fundamental hacer referencia a planes de incentivos que traten de incrementar el valor añadido de los productos agropecuarios (Junta de Andalucía, 2020). En este sentido sería conveniente incentivar el desarrollo de todas aquellas medidas que permitan mejorar la concentración empresarial reforzando el posicionamiento internacional de las empresas que a posteriori mejore sus posibilidades de supervivencia.

Conclusiones

Utilizando datos suministrados por la base de datos SABI, en este trabajo se ha podido determinar que las pymes que adoptan una estrategia de internacionalización son más propensas a tener un mejor desempeño, y en particular un menor riesgo de abandono de la actividad empresarial. El trabajo además encuentra que un mayor grado de innovación y una estructura de capital de base familiar son elementos clave para apuntalar la supervivencia en el tiempo de las pymes agroalimentarias del sur de España.

Estas conclusiones tienen importantes implicaciones, evidenciando la necesidad de desarrollar políticas que contribuyan a la interna-

cionalización, a través de la puesta en marcha de medidas de faciliten a las empresas andaluzas y extremeñas adaptar sus estrategias mediante la inversión en innovación a las necesidades y tendencias del mercado. Para ello resulta fundamental que se facilite el acceso a fuentes de financiación, en regiones poco desarrolladas como Andalucía y Extremadura con una estructura productiva muy fragmentada y con escasa capacidad de negociación.

Finalmente, mediante este trabajo se hace un llamamiento para que estudios futuros puedan desarrollar la investigación en esta área de conocimiento solventando algunas limitaciones del presente trabajo. Así, una de estas limitaciones es el pequeño tamaño de la muestra de empresas internacionalizadas. A este respecto, futuros trabajos podrían extrapolar los resultados de este trabajo en muestras más amplias en otros contextos. Asimismo, futuros trabajos podrían proporcionar explicaciones más profundas sobre la influencia de la actividad de la internacionalización en el éxito de la pyme agroalimentaria en Andalucía y Extremadura, como, por ejemplo, explorar con mayor profundidad la relación de otras variables externas o internas en dicha influencia, y ampliar el periodo de estudio.

Referencias bibliográficas

- Agarwal R, Audretsch DB (2001). Does entry size matter? The impact of the life cycle and technology on firm survival. *The Journal of Industrial Economics* 49(1): 21-43. <https://doi.org/10.1111/1467-6451.00136>.
- Albino PMB, Arcelus FJ, Elorz KS (2008). El Efecto de la edad, tamaño, sector y región en el crecimiento de la industria agroalimentaria española. 46th Congress Sociedade Brasileira de Economia, Administracao e Sociologia Rural (SOBER), 20-23 de julio, Rio Branco, Acre, Brazil. <http://dx.doi.org/10.22004/ag.econ.109792>.
- Aldrich H, Auster ER (1986). Even dwarfs started small: Liabilities of age and size and their strategic implications. *Research in organizational behavior* (8): 165-198.
- Anderson RC, Reeb DM (2003). Founding family ownership and firm performance: evidence from the S&P 500. *The Journal of finance* 58(3): 1301-1328. <https://doi.org/10.1111/1540-6261.00567>.
- Baldwin J, Yan B (2011). The death of Canadian manufacturing plants: heterogeneous responses to changes in tariffs and real exchange rates. *Review of World Economics* 147(1): 131-167. <https://doi.org/10.1007/s10290-010-0079-1>.
- Bouncken RB, Pesch R, Kraus S (2015). SME innovativeness in buyer-seller alliances: effects of entry timing strategies and inter-organizational learning. *Review of Managerial Science* 9(2): 361-384. <https://doi.org/10.1007/s11846-014-0160-6>.
- Catanzaro A, Messeghem K, Sammut S (2019). Effectiveness of export support programs: impact on the relational capital and international performance of early internationalizing small businesses. *Journal of Small Business Management* 57(2): 436-461. <https://doi.org/10.1111/jsbm.12489>.
- Cefis E, Marsili O (2006). Survivor: The role of innovation in firms' survival. *Research Policy* 35(5): 626-641. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2006.02.006>.
- CNAE (Clasificación Nacional de Actividades Económicas) (2019). <https://www.cnae.com.es/lista-actividades.php> (Consultado 10 junio 2019).
- Colombelli A, Krafft J, Quattraro F (2013). Properties of knowledge base and firm survival: Evidence from a sample of French manufacturing firms. *Technological Forecasting and Social Change* 80(8): 1469-1483. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2013.03.003>.
- Colombelli A, Krafft J, Vivarelli M (2016). To be born is not enough: the key role of innovative start-ups. *Small Business Economics* 47(2): 277-291. <https://doi.org/10.1007/s11187-016-9716-y>.

- Comisión Europea (2014). Reglamento (UE) n° 651/2014 de la Comisión, de 17 de junio de 2014, por el que se declaran determinadas categorías de ayudas compatibles con el mercado interior en aplicación de los artículos 107 y 108 del Tratado. Bruselas. Diario Oficial de la Unión Europea, L187, de 26 de junio de 2014.
- de La Torre G, Fernández E, Naranjo L (2014). Turismo gastronómico, denominaciones de origen y desarrollo rural en Andalucía: situación actual. *Boletín de la asociación de geógrafos españoles* 65: 113-137. <https://doi.org/10.21138/bage.1746>.
- della Corte V, Zamparelli G, Micera R (2013). Innovation in tradition-based firms: dynamic knowledge for international competitiveness. *European Journal of Innovation Management* 16(4): 405-439. <https://doi.org/10.1108/EJIM-06-2012-0065>.
- Éltet A (2019). Export of SMEs after the crisis in three European peripheral regions – A literature review. *Society and Economy* 41(1): 3-26. <https://doi.org/10.1556/204.2018.002>.
- Esteve-Pérez S, Máñez-Castillejo JA, Sanchis-Llopis JA (2008). Does a “survival-by-exporting” effect for SMEs exist?. *Empirica* 35(1): 81-104. <https://doi.org/10.1007/s10663-007-9052-1>.
- Eurostat (2020). Business demography statistics. Disponible en: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Business_demography_statistics (consultado: 27 noviembre 2020).
- Fernández-Olmos M, Díez-Vial I (2014). The Direct or Indirect Exporting Decision in Agri food Firms. *Agribusiness* 30(2): 148-164. <https://doi.org/10.1002/agr.21360>.
- Forte R, Moreira AS (2018). Financial constraints and small and medium-sized firms’ export propensity: evidence from Portuguese manufacturing firms. *International Journal of the Economics of Business* 25(2): 223-241. <https://doi.org/10.1080/13571516.2018.1437011>.
- Helmers C, Rogers M (2010). Innovation and the survival of new firms in the UK. *Review of Industrial Organization* 36(3): 227-248. <https://doi.org/10.1007/s11151-010-9247-7>.
- Huggins R, Prokop D, Thompson P (2017). Entrepreneurship and the determinants of firm survival within regions: human capital, growth motivation and locational conditions. *Entrepreneurship & Regional Development* 29(3-4): 357-389. <https://doi.org/10.1080/08985626.2016.1271830>.
- Ibeh K, Ibrahim E, Panayides PM (2006). International market success among smaller agri food companies: Some case study evidence. *International Journal of Entrepreneurial Behavior & Research* 12(2): 85-104. <https://doi.org/10.1108/13552550610658152>.
- INCYDE (Instituto Cameral de Creación y Desarrollo de Empresas) (2001). La creación de empresas en España, Análisis por Regiones y Sectores. Servicio de estudios, Cámaras de comercio, industria y navegación de España y fundación INCYDE Madrid. 219 pp.
- INE (Instituto Nacional de Estadística) (2017). Estadística estructural de empresas: sector industrial. Instituto Nacional de Estadística, Madrid.
- INE (Instituto Nacional de Estadística) (2019). Estadística estructural de empresas: sector industrial. Instituto Nacional de Estadística, Madrid.
- Jalali S (2012). Export barriers and export performance: empirical evidence from the commercial relationship between Greece and Iran. *South-Eastern Europe Journal of Economics* 1(1): 53-66.
- Jovanovic B (1982). Selection and evolution of industry. *Econometrica* 50(3): 649-670. <https://doi.org/10.2307/1912606>.
- Junta de Andalucía (2020). Ayudas en transformación y comercialización de productos agrícolas: Periodo de programación 2014-2020. Disponible en: <https://www.juntadeandalucia.es/organismos/agriculturaganaderiapescaydesarrollosostenible/areas/industrias-agroalimentarias/ayudas-agroalimentarias/paginas/transformacion-comercializacion.html> (consultado: 27 noviembre 2019).
- Junta de Extremadura (2019). Exportaciones Sector agroalimentario y Pesquero. Junta de Extremadura. Disponible en: <http://www.juntaex.es/ddgg006/exportaciones-agro> (Consultado: 10 junio 2019).

- Kalbfleisch JD, Prentice RL (2011). *The Statistical Analysis of Failure Time Data*, Wiley, New Jersey. 31 pp.
- Kaplan EL, Meier P (1958). Nonparametric estimation from incomplete observations. *Journal of the American Statistical Association* 53(282): 457-481. <https://doi.org/10.1080/01621459.1958.10501452>.
- Lee H, Kelley D, Lee J, Lee S (2012). SME survival: The impact of internationalization, technology resources, and alliances. *Journal of Small Business Management* 50(1): 1-19. <https://doi.org/10.1111/j.1540-627X.2011.00341.x>.
- Lin PC, Huang DS (2008). Technological regimes and firm survival: Evidence across sectors and over time. *Small Business Economics* 30(2): 175-186. <https://doi.org/10.1007/s11187-006-9026-x>
- Manjón-Antolín MC, Arauzo-Carod JM (2008). Firm survival: methods and evidence. *Empirica* 35(1): 1-24. <https://doi.org/10.1007/s10663-007-9048-x>. <https://doi.org/10.1007/s10663-007-9048-x>
- MAPAMA (Ministerio de Agricultura, Pesca, Alimentación y Medio Ambiente) (2014). *Plan Estatal de Integración Asociativa*. Madrid.
- Marchese M, Potter J (2011). *Entrepreneurship, SMEs and Local Development in Andalusia, Spain*. OECD Local Economic and Employment Development (LEED) Working Papers, 2011/03, OECD Publishing. <http://dx.doi.org/10.1787/5kgdt917nvs5-en>.
- Meschi PX, Ricard A, Moore ET (2017). Fast and furious or slow and cautious? The joint impact of age at internationalization, speed, and risk diversity on the survival of exporting firms. *Journal of International Management* 23(3): 279-291. <https://doi.org/10.1016/j.intman.2017.01.001>.
- Mudambi R, Zahra SA (2007). The survival of international new ventures. *Journal of International Business Studies* 38(2): 333-352. <https://doi.org/10.1057/palgrave.jibs.8400264>.
- Naidoo V (2010). Firm survival through a crisis: The influence of market orientation, marketing innovation and business strategy. *Industrial Marketing Management* 39(8): 1311-1320. <https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2010.02.005>.
- OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos) (2015). *Taxation of SMEs in OECD and G20 Countries*, OECD Tax Policy Studies. Ed. OECD Publishing, Paris. 152 pp. <http://dx.doi.org/10.1787/9789264243507-en>.
- Peña-Legazkue I, Guerrero M, González-Pernía JL, Montero J (2019). *Global Entrepreneurship Monitor. Informe GEM España 2018-2019*. Ed. Universidad de Cantabria. 171 pp.
- PWC (2017). *Claves para la transformación del sector alimentario andaluz*. PWC España. 64 pp.
- Robson P, Akuetteh C, Stone I, Westhead P, Wright M (2013). Credit-rationing and entrepreneurial experience: Evidence from a resource deficit context. *Entrepreneurship and Regional Development* 25(5-6): 349-370. <https://doi.org/10.1080/08985626.2012.729091>.
- Ruiz-Chico J, Peña-Sánchez AR, Jiménez-García M (2014). Análisis de la competitividad de las exportaciones agroalimentarias españolas a nivel regional ante la crisis actual. *Revista de Estudios Regionales* 101(1): 71-99.
- Ruiz-Chico J, Peña-Sánchez AR, Jiménez-García M (2016). Análisis de competitividad de las exportaciones agroalimentarias de la Unión Europea a nivel de sus Estados Miembros: Un estudio transversal. *ITEA-Información Técnica Económica Agraria* 112(2): 220-238. <https://doi.org/10.12706/itea.2016.014>.
- SABI (Sistema de Análisis de Balances Ibéricos) (2019). Disponible en: <https://sabi.bvdinfo.com> (Consultado: 15 julio 2019).
- Salomon RM, Shaver JM (2005). Learning by exporting: New insights from examining firm innovation. *Journal of Economics & Management Strategy* 14(2): 431-460. <https://doi.org/10.1111/j.1530-9134.2005.00047.x>.
- Sepúlveda Orejuela PS, Guerrero-Baena MD, Gómez-Limón, JA (2020). Desempeño económico-financiero de los distintos modelos empresariales en el sector del aceite de oliva en España. *Revista de Estudios Empresariales. Segunda Época* (1): 227-248. <https://doi.org/10.17561//ree.v2020n1.13>.

- Simón-Moya V, Revuelto-Taboada L, Ribeiro-Soriano D (2016). Influence of economic crisis on new SME survival: reality or fiction?. *Entrepreneurship and Regional Development* 28(1-2): 157-176. <https://doi.org/10.1080/08985626.2015.1118560>.
- Stinchcombe AL (2000). Social structure and organizations. En: *Economics Meets Sociology in Strategic Management* (Eds. Baum JAC y Dobbin F), pp. 229-259. Emerald Group Publishing Limited, Stamford, CT. [https://doi.org/10.1016/S0742-3322\(00\)17019-6](https://doi.org/10.1016/S0742-3322(00)17019-6).
- Strotmann H (2007). Entrepreneurial survival. *Small Business Economics* 28(1): 87-104. <https://doi.org/10.1007/s11187-005-8859-z>.
- Uribe-Etxebarria AM, Requena Silvente F (2012). The intensive and extensive margins of trade: decomposing exports growth differences across Spanish Regions. *Journal of Regional Research* 23(1): 53-76.
- van Praag CM, Versloot PH (2007). What is the value of entrepreneurship? A review of recent research. *Small Business Economics* 29(4): 351-382. <https://doi.org/10.1007/s11187-007-9074-x>.
- Wagner J (2012). International trade and firm performance: a survey of empirical studies since 2006. *Review of World Economics* 148(2): 235-267. <https://doi.org/10.1007/s10290-011-0116-8>.
- Wamba LD, Hikkerova L, Sahut JM, Braune E (2017). Indebtedness for young companies: effects on survival. *Entrepreneurship & Regional Development* 29(1-2): 174-196. <https://doi.org/10.1080/08985626.2016.1255435>
- Zouaghi F, Sánchez-García M, Hirsch S (2017). What drives firm profitability? A multilevel approach to the Spanish agri-food sector. *Spanish Journal of Agricultural Research* 15(3): e0117. <http://dx.doi.org/10.5424/sjar/2017153-10713>.
- (Aceptado para publicación el 12 de febrero de 2021)

Variedades de melocotón con mayor potencial económico: un estudio de caso en el norte de México

Blanca Isabel Sánchez-Toledano^{1,*}

¹ Campo Experimental Zacatecas-INIFAP. Apartado Postal Núm. 18, Calera de Víctor Rosales, Zacatecas, México. E-98500

Resumen

La demanda del mercado y necesidades del consumidor deben ser el insumo para planear los volúmenes y atributos de calidad de los productos frescos ofertados. Así, esta investigación se orientó a analizar las preferencias esperadas de los consumidores sobre los atributos de calidad relevantes y la aceptabilidad sensorial de nuevas variedades de melocotón. La información se obtuvo de una muestra de 400 consumidores de melocotón de Zacatecas, México y se analizó por escalamiento multidimensional, análisis factorial y análisis clúster. En general, los atributos de calidad relevantes para los consumidores de melocotón antes de la experiencia sensorial fueron: el color externo, tamaño y ausencia de lesiones o golpes en la fruta. Las variedades de melocotón con mayor aceptación por los consumidores se caracterizaron por un color externo amarillo fuerte a naranja, pulpa amarilla, poco dulce, firmeza, sin punta, vellosidad muy corta, olor característico, tamaño de primera y extra con chapeo de 25 % a 75 %. Se identificaron tres segmentos de consumidores: "sano activo" aquellos preocupados por la salud y el medio ambiente (50 %), "escéptico" con una percepción indiferente hacia el medio ambiente y la salud (24 %) y "concienciado por el medio ambiente" cuyos consumidores tuvieron mayor interés por el medio ambiente (26 %). Cada segmento tiene preferencias por distintos tipos de variedades. Sin embargo, la aceptación de ciertas variedades por los consumidores podría cambiar en función de la disponibilidad de cada variedad en el mercado (estacionalidad o época de oferta). Por lo tanto, los resultados de esta investigación podrían contribuir a reorientar el mejoramiento genético del melocotón con base en los requerimientos sensoriales y tipos de consumidores.

Palabras clave: *Prunus persica* (L.) Batsch., mejoramiento genético, aceptabilidad sensorial, segmentación de consumidores.

Varieties of peaches with greater economic potential: a case study in northern Mexico

Abstract

Market demand and consumer needs must be the input used when planning volumes and quality attributes of fresh products. Therefore, this research was oriented at analyzing the expected preferences towards the quality attributes required by consumers and the sensory acceptability (e.g. tasting) of new peach varieties. The information was obtained from a sample of 400 peach consumers in Zacatecas, Mexico and it was later analyzed by multidimensional scaling, factor analysis, and cluster analysis.

* Autor para correspondencia: toledano.blancaisabel@gmail.com

In general, the main quality attributes considered by peach consumers before the sensory experience were: external color, size and absence of bruises or blemishes on the fruit's skin. After the sensory experience, the peach varieties with the highest acceptability among consumers were characterized by strong yellow to orange external color, yellow pulp, sweetness between 11 °Brix and 13 °Brix, firmness, no tip, very short hairiness, characteristic smell, size from 52 mm to 60 mm and red blush from 25 % to 75 %. Three types of consumers were identified: "active-healthy", who were concerned about their health and the environment (50 %); "skeptical" who had an indifferent attitude towards the environment and their personal health (24 %); and "environmentally conscious and health unconcerned", who were less concerned about their health, but had a greater interest in the environment (26 %). Each segment has preferences for different types of varieties. However, the acceptance of certain varieties by consumers could change depending on the availability of each variety in the market (seasonality or season of supply). Thus, the results from this research contribute to re-directing genetic improvement efforts of peach varieties based on sensory needs and types of consumers.

Keywords: *Prunus persica* (L.) Batsch., genetic improvement, sensory acceptability, consumer segmentation.

Introducción

En las dos últimas décadas, el consumidor mexicano ha experimentado una reconversión alimentaria orientada hacia suministros de alta densidad energética y baja calidad nutricional. En este sentido, existe una reducción del consumo *per cápita* de frutas, verduras, lácteos y carnes (Wolfe *et al.*, 2008), a pesar de que el consumo cotidiano de verduras y frutas está asociado con menor riesgo de sobrepeso y de enfermedades cardiovasculares (Dávila-Torres *et al.*, 2015).

El melocotón es una fruta de valor nutricional alto ya que contiene vitaminas, fibras, potasio, componentes bioactivos y es bajo en azúcares (Kant *et al.*, 2018). Sin embargo, en México el consumo *per cápita* es bajo (2,5 kg) comparado con países europeos (6,0 kg) (FAOSTAT, 2020). Crisosto *et al.* (2013) afirman que, la falta de sabor y los altos precios, han llevado a que los consumidores prefieran comprar otras frutas.

En el ámbito nacional, Zacatecas se ubica entre los cinco estados con mayor superficie plantada con melocotón. Sin embargo, en Zacatecas este frutal es cultivado principalmente bajo secano (aproximadamente un 81 %) con

bajos rendimientos (3,1 t ha⁻¹) (SIAP, 2020). La baja productividad se debe a diversos factores, pero uno de ellos ha sido el uso de selecciones criollas en vez de variedades mejoradas. No obstante, el cultivo de este frutal se justifica social y económicamente por la demanda laboral anual, la cual se estima en aproximadamente cuatro millones de jornales. Este último aspecto ha contribuido al arraigo de productores y, por lo tanto, ha reducido la emigración en las áreas de producción y ha favorecido el retorno estacional de lugareños a las zonas melocotoneras (Sánchez-Toledano *et al.*, 2013a y 2019).

Las variedades utilizadas en el país, 'O Henry' (norte de México), 'Lucero' (Aguascalientes) y 'Diamante' (Estado de México) fueron diseñadas para otras condiciones climáticas y para demandas organolépticas de consumidores extranjeros (Fernández *et al.*, 2011). Ante esto, se requiere que los fitomejoradores de melocotón consideren las características ambientales, pero también los gustos y preferencias de los consumidores locales; de lo contrario un programa de mejoramiento puede resultar en una combinación no óptima de características genéticas y necesidades de consumo no satisfechas (Morris y Bellon,

2004). Las preferencias de los consumidores y la decisión de compra de un producto dependen de muchos factores como son, los atributos del producto, las variables socioeconómicas y las opiniones, entre otros (Siró *et al.*, 2008). En consecuencia, para entender las preferencias se debe analizar los atributos intrínsecos y extrínsecos que posee el producto y la importancia que estos tienen en la decisión de compra (Heid y Hamm, 2013; Baba *et al.*, 2017) de un alimento fresco, como por ejemplo el melocotón (Sánchez-Toledano *et al.*, 2012). Para conocer lo que demanda el mercado, se utilizan técnicas de investigación de mercados como son los experimentos de elección (Sánchez-Toledano *et al.*, 2017), análisis conjunto (Mora *et al.*, 2010; Kido-Cruz *et al.*, 2019; García-Torres *et al.*, 2020), mapas de preferencia (Resano y Sanjuán, 2018), investigación participativa (Ferro *et al.*, 2013), entre otros. Estas técnicas permiten un análisis profundo sobre los requerimientos del consumidor y han sido aplicadas en mayor medida a diferentes alimentos con interesantes resultados para las diferentes industrias del sector (Uzcanga *et al.*, 2015; Miranda-De la Lama *et al.*, 2017).

Sin embargo, son escasas las investigaciones que han estudiado la fruta fresca centrada en las exigencias de los consumidores en México y, específicamente, en la región norte centro (Pérez-Vargas *et al.*, 2017; Fernández-González *et al.*, 2018). Por ello, esta investigación buscó primordialmente, analizar las preferencias esperadas de los consumidores sobre atributos de calidad relevantes. En segundo lugar, el estudio tuvo por objeto analizar la aceptabilidad sensorial de los consumidores de nuevas variedades de melocotón y segmentar a estos consumidores con base en sus opiniones sobre el producto fresco y sus estilos de vida. Se espera que la información recabada de los consumidores de melocotón en el estado de Zacatecas ayude a reorientar los programas de mejora genética del meloco-

tón mexicano, e impulse estrategias agrícolas y comerciales que fomenten su consumo y adecúen los parámetros de calidad a la demanda insatisfecha en el mercado nacional.

Material y métodos

Área de estudio

El estudio se realizó con consumidores de Zacatecas, México. Se eligió Zacatecas por ubicarse entre los cinco estados con mayor producción de melocotón. Este estado está ubicado en la parte centro-norte de la República Mexicana al noreste de la capital (INAFED, 2020).

Análisis de la información

La información se recopiló a través de un cuestionario estructurado de 27 preguntas de tipo cerrado con respuestas dicotómicas, múltiples y de escala (Malhotra, 2008). Previamente a la aplicación de la encuesta, se efectuaron pruebas piloto para asegurar la claridad de las preguntas y minimizar errores ($n = 20$). Los individuos participantes no recibieron remuneración económica alguna. La encuesta y los análisis de aceptabilidad sensorial de nuevas variedades de melocotón se efectuaron durante los meses de julio y agosto de 2018. Se seleccionó un muestreo probabilístico aleatorio simple para una población infinita con afijación proporcional por género y edad, con el propósito de mantener una representatividad de las características de la población general. Se estableció un error del 5 %, un nivel de confianza del 95,5 % (Sánchez-Toledano *et al.*, 2013b), y con ello se estimó las encuestas a aplicar ($n = 400$). La Tabla 1 representa la hoja técnica de la encuesta.

El enfoque metodológico consistió en tres pasos principales: a) identificación de las preferencias esperadas sobre los atributos de

Tabla 1. Ficha técnica de la encuesta.

Table 1. Technical sheet of the survey.

Población	Consumidores mayores de 18 años en el estado de Zacatecas.
Diseño de la muestra	Muestreo probabilístico aleatorio simple para una población infinita con fijación proporcional por género y edad.
Muestra	400
Nivel de confianza	95,5 % (k = 2)
Medida de control	Muestra piloto (20 cuestionarios)
Fecha de trabajo de campo	Julio-agosto 2018

calidad relevantes del melocotón en el momento de la compra, b) aceptabilidad sensorial de variedades de melocotón y c) caracterización de los consumidores de melocotón.

Preferencias esperadas sobre los atributos de calidad relevantes

Los atributos incluidos en el estudio fueron: color externo, aroma, tamaño (diámetro o peso), sabor, pigmentación en la piel (chapeo), ausencia de lesiones o golpes en el fruto, ausencia de daños fisiológicos (oscurecimiento de pulpa, daño por frío, oxidación), color de la pulpa, tipo de fruto (nectarina, hueso suelto, hueso pegado), vida de anaquel, época de cosecha, el tipo de empaquetado, tamaño de empaquetado, precio por kilogramo, área geográfica donde se comercializa el melocotón (noreste, noroeste, centro, sur, sureste de México), marca del producto, identificación de origen y etiquetado individual (Sangerman-Jarquín *et al.*, 2011; Peñaherrera *et al.*, 2019). Estos atributos se evaluaron antes de la degustación y fueron medidos en una escala de cinco puntos, donde el consumidor eligió el nivel de importancia asignado a cada atributo a la hora de elegir el melocotón (1: "sin importancia", 2: "de poca importancia", 3: "moderadamente importante", 4: "importante", 5: "muy importante"). Esta in-

formación se analizó mediante escalamiento multidimensional (EMD). El EMD es un procedimiento que permite determinar la imagen percibida relativa de un conjunto de objetos (atributos, variedades, productos, empresas u otros). El propósito del EMD es transformar los juicios del consumidor de similitud o disimilitud en distancias representadas en un espacio multidimensional (Hair *et al.*, 1998). Según Luque-Martínez *et al.* (2000), el EMD se originó en psicología como una respuesta a la necesidad de relacionar la intensidad física de cientos de estímulos con su intensidad subjetiva (Pérez, 2004). La información se procesó utilizando el software estadístico SPSS Statistics versión 21.

Aceptabilidad sensorial de nuevas variedades de melocotón

El análisis sensorial consideró catorce variedades de melocotón cultivadas en diferentes instituciones públicas de distintos estados de la República Mexicana. El material genético fue seleccionado por expertos en el cultivo de melocotón en México, tratando de cubrir la mayor variación organoléptica del producto fresco. Se realizaron 40 sesiones sensoriales con 10 consumidores por sesión (n = 400). Los consumidores evaluaron en cata ciega (evaluación hedónica) la aceptabilidad del fruto

entero y en rebanadas. Las muestras se presentaron de forma monódica, siguiendo un diseño en bloque completo y equilibrado para evitar el sesgo producido por el efecto del orden de presentación de las muestras (Di Monaco *et al.*, 2004). Los consumidores comieron una tostada de pan sin sal y bebieron agua para enjuagarse la boca al principio de la prueba y entre muestras. Cada consumidor puntuó la aceptabilidad utilizando una escala del 1 al 9 (1: "me disgusta extremadamente", 2: "me disgusta mucho", 3: "me disgusta moderadamente", 4: "me disgusta ligeramente", 5: "ni me gusta ni me disgusta", 6: "me gusta ligeramente", 7: "me gusta moderadamente", 8: "me gusta mucho", 9: "me gusta extremadamente"). Los datos se analizaron con base en el EMD, ya que esta técnica permite buscar lagunas en el mapa espacial que indique oportunidades potenciales para colocar nuevos productos (Malhotra, 2008). Una de las ventajas de esta técnica es que se pueden asignar atributos y variedades al mismo tiempo, lo que a menudo permite comprender mejor la percepción del consumidor y las variedades. Se utilizó el procedimiento ALSCAL de SPSS Statistics (versión 21) (Jaeger *et al.*, 2003; Carbonell *et al.*, 2008).

Caracterización de los consumidores de melocotón

Las opiniones del consumidor sobre el fruto y los estilos de vida que pueden jugar un papel importante como factores determinantes en la decisión de compra (Malhotra, 2008), se incluyeron en diferentes constructos con diversos ítems medidos en una escala de Likert de cinco puntos, donde 1 indica "totalmente en desacuerdo" y 5 indica "totalmente de acuerdo". Las afirmaciones identificadas se obtuvieron, en primer lugar con base en Sánchez *et al.* (2000) y posteriormente fueron comentadas y analizadas en un grupo de dis-

cusión formado por los diferentes investigadores implicados en el estudio. La información contenida en los constructos se validó y se redujo a través del análisis factorial por el método de extracción de análisis de componentes principales con rotación Varimax, aplicándose la medida de adecuación muestral de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) y la prueba de esfericidad de Bartlett con la finalidad de depurar las escalas y agrupar los ítems en factores (Hair *et al.*, 1998) (Tabla 2). En el caso del análisis factorial el objetivo es establecer las interrelaciones que se dan entre un conjunto de variables observadas que identifican una realidad social con la intención de reducir la complejidad que reflejan a lo que de forma latente es esencial o más significativo y así identificar unos pocos factores sintéticos (López-Roldán y Fachelli, 2015).

Los resultados del análisis factorial se utilizaron como variables de segmentación de los consumidores en el análisis clúster. Dicho análisis clúster o de conglomerados se llevó a cabo en dos fases; primero se hizo un análisis clúster jerárquico para detectar el número de segmentos por medio del criterio de Ward (1963) y posteriormente se realizó un análisis clúster de k-medias con el objetivo de afinar los segmentos por variables socioeconómicas, estilos de vida y atributos relevantes (Pérez, 2004). Con los datos obtenidos, se realizó un test de ANOVA de un factor, que permitió el estudio de las diferencias de cada segmento. Los análisis se llevaron a cabo mediante el software de análisis estadístico SPSS Statistics 21.

Resultados y discusión

Descripción de la muestra

La muestra de consumidores está formada por un 48,0 % de hombres y un 52,0 % de mujeres. La mayor proporción se concentra en el rango de edades entre 25 años y 29

Tabla 2. Variables sobre opiniones, estilos de vida y consumo incluidas en el estudio.
 Table 2. Variables on opinions, lifestyles and consumption habits included in the study.

VARIABLES SOBRE OPINIONES DEL FRUTO DE MELOCOTÓN	NOMBRE DE LA VARIABLE
Tiene buenas propiedades nutricionales	(a ₁)
Es más costoso que otras frutas	(a ₂)
Tiene buen sabor	(a ₃)
Es un alimento que suele dar a sus hijos de lonche para su escuela	(a ₄)
Suele tener melocotón frecuentemente en casa	(a ₅)
Son benéficos para la salud	(a ₆)
Prefiero otras frutas que el melocotón	(a ₇)
Es fácil comerlo	(a ₈)
VARIABLES SOBRE ESTILOS DE VIDA	NOMBRE DE LA VARIABLE
Hago ejercicio físico regularmente	(b ₁)
Consumo con frecuencia frutas y hortalizas	(b ₂)
Me preocupa por el efecto de la alimentación en mi salud	(b ₃)
No suelo fumar o beber	(b ₄)
En mi tiempo libre suelo ir a bares y restaurantes	(b ₅)
Moderó el consumo alto en grasas	(b ₆)
Suelo leer, escuchar o ver noticias diariamente	(b ₇)
Me atrae probar nuevos productos	(b ₈)
Suelo ir a eventos culturales (conciertos, teatro, etc.)	(b ₉)
Me preocupa el medio ambiente	(b ₁₀)
Suelo comer fuera del hogar por costumbre o razones de trabajo	(b ₁₁)
Me gusta tener contacto con la naturaleza	(b ₁₂)
Reciclo la basura en contenedores adecuados	(b ₁₃)
Aprovecho las ofertas de frutas y verduras en el supermercado	(b ₁₄)

años (13,0 %), seguido por los consumidores entre 18 años y 24 años (12,7 %). La muestra en términos de sexo y edad fue coincidente con la estadística oficial de la población (INEGI, 2020) (Tabla 3). Sin embargo, en términos de educación, la muestra incluyó una mayor proporción de personas con mayor preparación académica que la detectada a nivel poblacional (INEGI, 2020). Dicho desajuste

puede deberse en parte al sitio de muestreo (supermercados) y está en consonancia con otros estudios con consumidores. En México, los consumidores entrevistados en los supermercados tienden a caracterizarse por estudios de nivel medio-superior y superior, y un nivel socioeconómico medio-alto y alto (Ancona *et al.*, 2011; Adalja *et al.*, 2015; Merritt *et al.*, 2018).

Tabla 3. Características sociodemográficas.
 Table 3. Sociodemographic characteristics.

Muestra		Población Zacatecas	
Característica	%	Característica	%
Edad			
18-24 años	12,7	18-24 años	17,9
25-29 años	13,0	25-29 años	7,7
30-34 años	11,7	30-34 años	7,4
35-39 años	10,5	35-39 años	7,3
40-44 años	10,5	40-44 años	6,9
45-49 años	9,0	45-49 años	5,7
50-54 años	6,7	50-54 años	5,1
55-59 años	7,0	55-59 años	4,1
60-65 años	5,7	60-65 años	3,2
Más de 65 años	6,2	Más de 65 años	7,3
Sexo			
Femenino	52,0	Femenino	51,4
Masculino	48,0	Masculino	48,6
Nivel de estudios			
Primaria	7,9	Primaria	53,5
Secundaria	22,5	Secundaria	11,0
Bachillerato	32,5	Bachillerato	19,5
Universidad	33,1	Universidad	16,0

Fuente: INEGI, 2020.

Preferencias esperadas sobre los atributos de calidad relevantes

Los atributos más importantes para los consumidores antes de la experiencia sensorial fueron el color externo, el tamaño y las lesiones o golpes en el fruto, con un valor medio de 4,2; 4,1 y 4,0 respectivamente. Le siguen los atributos de empaquetado, chapeo

y tipo de fruto (3,2; 2,9 y 2,6). No obstante, las valoraciones medias para el origen y el color de la pulpa fueron relativamente bajas con 1,4 y 2,4 (Figura 1).

El análisis de las preferencias esperadas a través del EMD reveló que fueron dos las dimensiones que mejor explicaron la configuración espacial con un índice de stress de 0,073, el cual indica un ajuste bueno entre el modelo

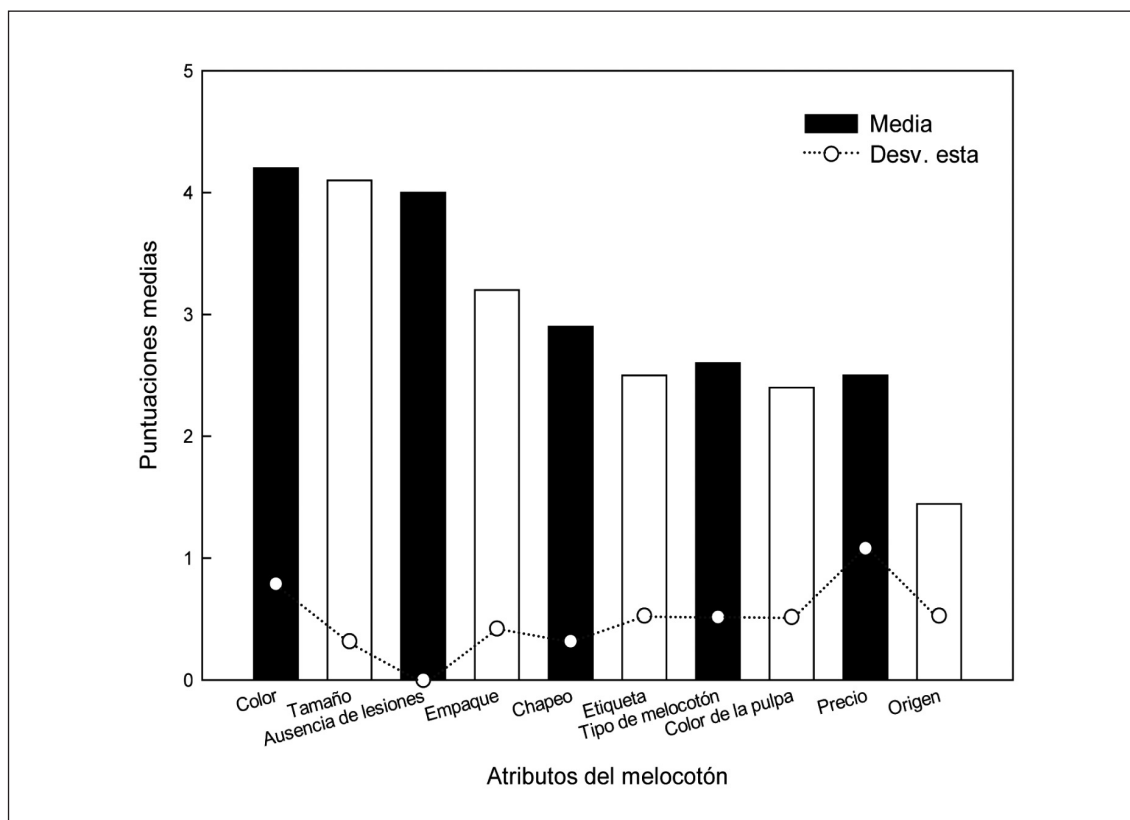


Figura 1. Puntuaciones medias de los atributos relevantes para los consumidores en el momento de la compra.
 Figure 1. Average scores for relevant attributes for consumers at the time of purchase.

y los datos (Kruskal, 1964). La representación bidimensional entre los 400 consumidores (círculos) y los 11 atributos (triángulos) de calidad del melocotón no se distribuyó equitativamente en los cuadrantes del mapa, pero existe una percepción relativamente homogénea (Figura 2). El 50,0 % de los consumidores se posicionan en el Cuadrante I (Figura 2), en dirección a los atributos de color externo, tamaño (diámetro) y ausencia de lesiones o golpes. Es decir, estos atributos fueron los más relevantes para este grupo de consumidores. Aun cuando el mercado de melocotón fresco estadounidense es diferente al mexicano, los atributos de calidad aceptados por los consumidores de ambos países

parecen coincidir, según evidencian los estudios de Bruhn (1995) y Okie (2008). La apariencia es uno de los parámetros de calidad más importantes, ya que el consumidor compra "con los ojos" basado en su primera impresión (Ortiz de Zarate *et al.*, 2007). Los atributos mencionados como color externo y tamaño diferencian significativamente la competitividad de una fruta para el mercado en fresco (Badenes *et al.*, 1998). La búsqueda de melocotones grandes fue consistente con los requerimientos identificados en el estudio de Campbell *et al.* (2013) aplicado en Canadá. En contraste, hubo consumidores (29,2 %) que, si bien mostraron cierto interés por los atributos ubicados en el Cuadrante I, valora-

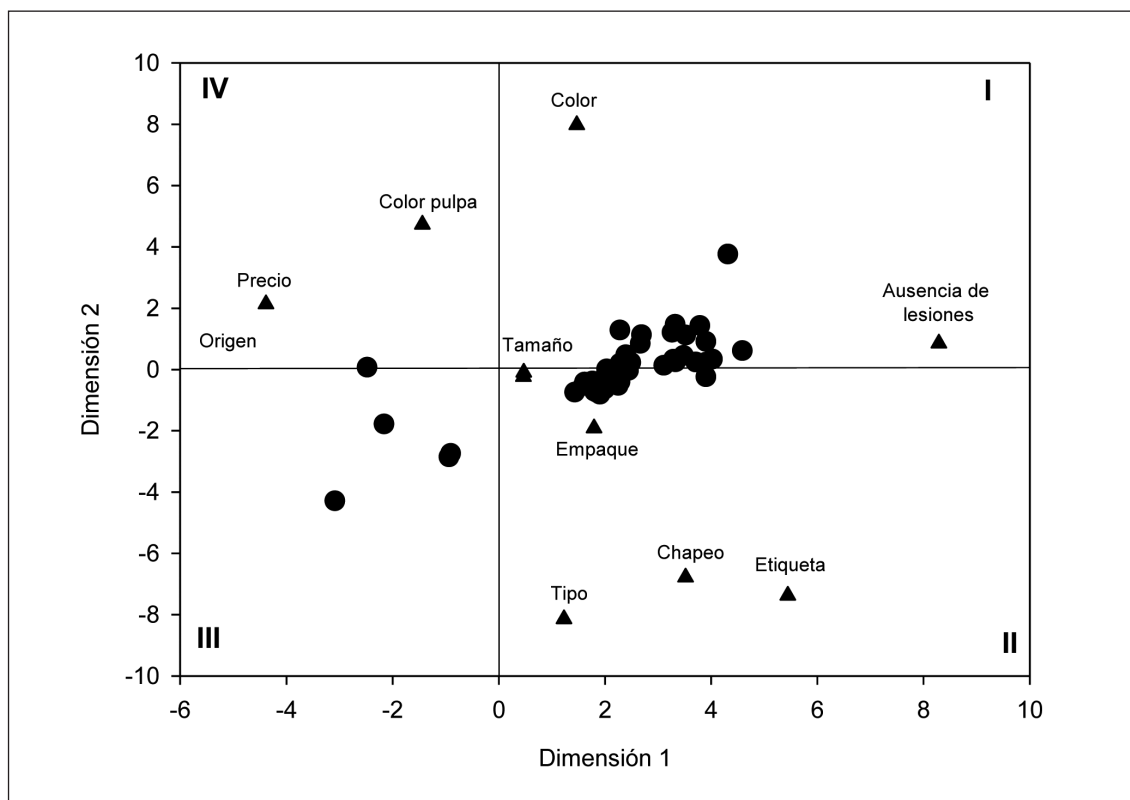


Figura 2. Representación bidimensional de los atributos relevantes para los consumidores de melocotón fresco (preferencias esperadas).

Figure 2. Two-dimensional representation of the relevant attributes for fresh peach consumers (expected preferences).

ron más melocotones caracterizados por el empaquetado, tipo de melocotón, chapeo y etiqueta (Figura 2, Cuadrante II). Por el contrario, el color de la pulpa, precio y origen fueron atributos menos relevantes entre los consumidores (1,6 %) (Figura 2, Cuadrante IV). Es interesante señalar que un 19,5 % de los consumidores no valoraron ningún atributo en el momento de la compra (Figura 2, Cuadrante III), lo cual sugiere la existencia de consumidores que no distinguen el producto fresco diferenciado y, por ende, su calidad nutricional (Agudelo-López *et al.*, 2019).

Aceptabilidad sensorial de nuevas variedades de melocotón

Los resultados de la experiencia sensorial mostraron que las variedades mejor valoradas por los consumidores fueron 'Súper K', 'Tlaxcala' y 'CPO304W'. En contraste, las puntuaciones más bajas fueron dadas a las variedades 'Oro azteca', 'Regio' y 'Calera' (Figura 3). Con las puntuaciones medias se observó cierto grado de heterogeneidad entre los consumidores. Sin embargo, para confirmar dicha heterogeneidad se utilizó el EMD. De

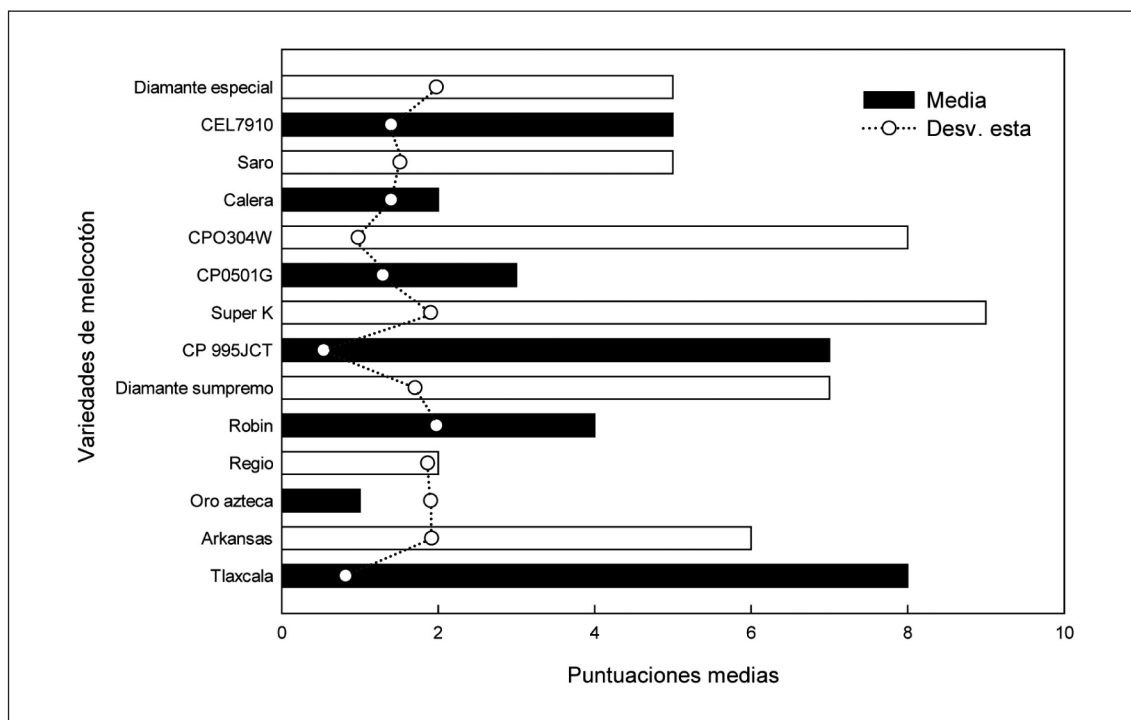


Figura 3. Puntuaciones hedónicas medias de las variedades de melocotón.
 Figure 3. Mean hedonic scores of peach varieties.

esta forma, se podrán aplicar estrategias de negocio diferenciadas, lo que permitirá a los productores de melocotón de la región obtener mejores ganancias.

Los resultados del EMD mostraron que las variedades con posibilidad de posicionarse rápidamente en el mercado nacional gracias a la aceptación de los consumidores fueron: 'CP995JCT', 'CP0304W', 'Diamante supremo' y 'Súper K' (Figura 4; Cuadrante I). Sensorialmente los consumidores aceptaron estas variedades por tener un dulzor entre 11 °Brix y 13 °Brix, pulpa amarilla, hueso pegado y un aroma característico. Las variedades 'Arkansas', 'Saro' y 'Tlaxcala' (Figura 4; Cuadrante IV) fueron aceptadas por el chapeo, color externo, forma del fruto y consistencia. En contraste, las variedades menos aceptadas por

los consumidores fueron: 'CPO501G', 'Calera' y 'Oro azteca' (Figura 4; Cuadrante III). El enfoque multivariado distinguió dos grupos principales de variedades (Cuadrante I y III) y los principales atributos que los diferenciaron fueron: color externo amarillo fuerte a naranja, pulpa amarilla, dulzor entre 11 °Brix y 13 °Brix, firmeza, sin punta, velloidad muy corta, olor característico, tamaño de 52 mm a 60 mm y chapeo de 25 % a 75 %. Este último resultado está en consonancia con los hallazgos de Groot y Albusu (2016), quienes observaron mediante un análisis multivariado una asociación positiva entre el dulzor, olor, color de la piel de la fruta y, en parte, también el tamaño de la fruta. Un resultado semejante también se ha observado en moras (Lo Bianco y Mirabella, 2018).

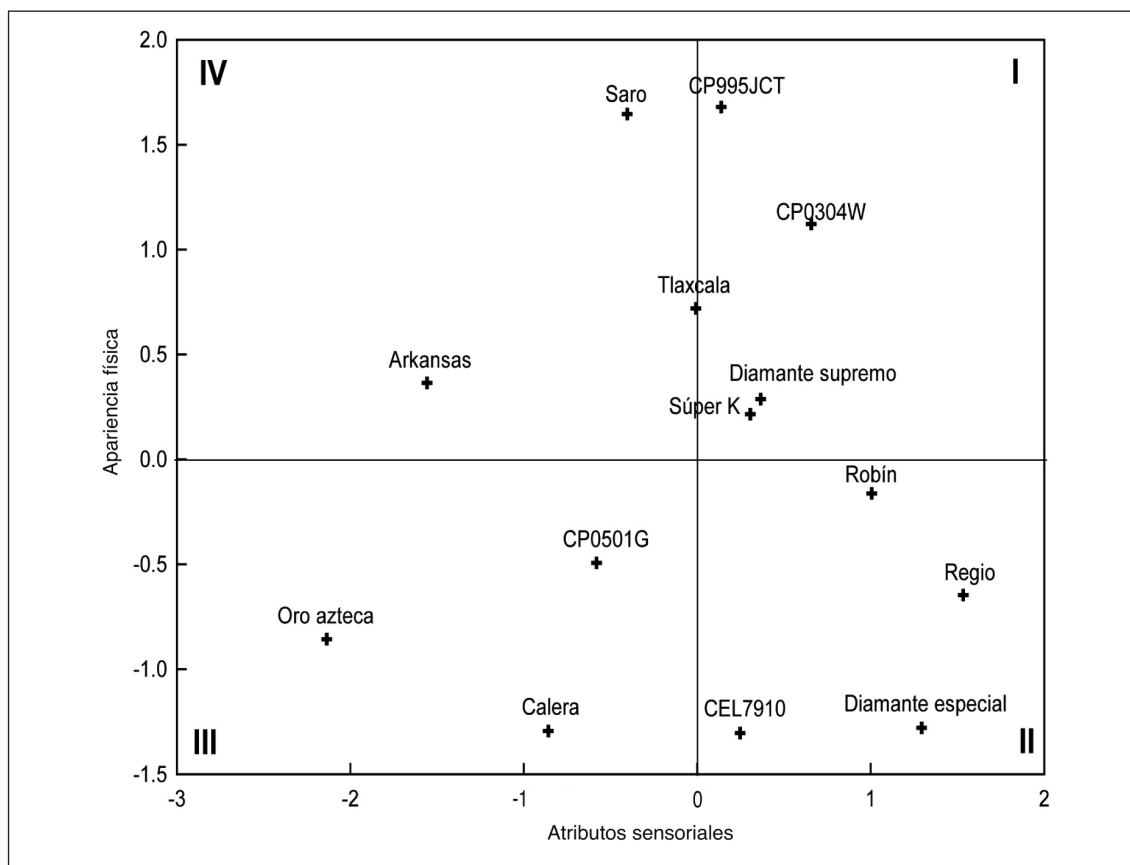


Figura 4. Representación bidimensional de las variedades de melocotón según las valoraciones hedónicas de los consumidores.

Figure 4. Two-dimensional representation of peach varieties according to hedonic evaluations of consumers.

La formación de nuevas variedades de melocotón con mayor calidad (sabor, firmeza, tamaño, aroma, apariencia, entre otras), resistencia a la oxidación de la pulpa y mayor vida de anaquel, permitirá reducir costos de producción y brindar una mayor calidad a los consumidores. En consecuencia, los programas de mejoramiento genético de melocotón deberán reorientarse hacia aquellas variedades identificadas como mayormente aceptadas por los consumidores.

Segmentación de consumidores

Análisis factorial de las opiniones y estilos de vida

El análisis factorial (AF) agrupó las opiniones de los consumidores sobre el melocotón en tres componentes que explicaron el 63 % de la variabilidad. La prueba de esfericidad de Bartlett ($p \leq 0,0001$) y la medida de adecuación muestral de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) de 0,71, evidenciaron el peso de cada varia-

ble dentro de cada factor. El primer componente (CP I) denominado "aceptación del melocotón", aglutina aspectos relacionados positivamente con las propiedades nutricionales, el buen sabor, compra frecuente, la creencia de que es beneficioso para la salud y la facilidad para comerlo. El segundo com-

ponente (CP II) se denominó "preferencias por otras frutas" porque se asoció positivamente con la preferencia por otras frutas. El tercer componente (CP III) se relacionó positivamente con el costo elevado del melocotón por lo que se distinguió como "precio elevado" (Tabla 4).

Tabla 4. Vectores raíz de los tres primeros componentes (CP) generados con las opiniones de los consumidores sobre el melocotón.

Table 4. Eigenvectors of the first three components (CP) based on consumers' opinions about peaches.

Variables	CP I: Aceptación del melocotón	CP II: Preferencias por otras frutas	CP III: Precio elevado
Tiene buenas propiedades nutricionales	0,59	0,28	0,27
Es más costoso que otras frutas	0,17	0,42	0,76
Tiene buen sabor	0,66	-0,36	0,17
Es un alimento que suelo tomar o dar a mis hijos de almuerzo en la escuela	0,32	-0,70	-0,02
Suelo tener melocotón frecuentemente en casa	0,63	0,16	-0,02
Son beneficiosos para la salud	0,78	0,11	-0,14
Prefiero otras frutas al melocotón	0,19	0,65	-0,55
Es fácil comerlo	0,78	-0,11	-0,21
Valor raíz	2,58	1,37	1,06
Varianza explicada (%)	32,3	17,1	13,2

En relación con el estilo de vida, el AF identificó cuatro componentes que explicaron el 56 % de la variabilidad, la prueba de esfericidad de Bartlett fue significativa y KMO fue de 0,67 (Tabla 5). En el primer componente (CP I), los vectores raíz con mayor peso se asocian positivamente con las variables de asistencia a eventos culturales, atracción por probar nuevos productos, preferencias por leer, escuchar o ver noticias diariamente, uso

del tiempo libre para ir a lugares públicos y hacer ejercicio físico regularmente, por lo tanto, esta multivariable fue designada como "estilo de vida moderno". En el segundo componente (CP II), los mayores pesos positivos fueron obtenidos por las variables: contacto con la naturaleza, preocupación por la alimentación en la salud, preocupación por el medio ambiente, preferencia por consumir frutas y hortalizas y, por tanto, se

Tabla 5. Vectores raíz de cuatro componentes principales (CP) para estilos de vida.
 Table 5. Eigenvectors of four principal components (CP) for lifestyle.

Variables	CP I: Estilo de vida moderno	CP II: Alimentación sana e interés por el medio ambiente	CP III: Participación activa ambiental	CP IV: Alimentación fuera del hogar
Hago ejercicio físico regularmente y hortalizas	0,59	-0,01	-0,45	0,07
Consumo con frecuencia frutas	-0,06	0,62	-0,38	0,40
Me preocupo por el efecto de la alimentación en mi salud	0,11	0,68	-0,37	0,16
No suelo fumar o beber	0,26	-0,18	0,56	0,27
En mi tiempo libre suelo ir a bares y restaurantes	0,63	-0,01	0,24	0,39
Modero el consumo alto en grasas	0,17	0,38	-0,13	0,07
Suelo leer, escuchar o ver noticias diariamente	0,60	0,34	-0,01	-0,30
Me atrae probar nuevos productos	0,67	0,11	-0,00	-0,43
Suelo ir a eventos culturales (conciertos, teatro, etc.)	0,69	0,08	0,01	-0,32
Me preocupa el medio ambiente	-0,20	0,65	0,45	-0,20
Suelo comer fuera del hogar por costumbre o razones de trabajo	0,49	-0,25	-0,02	0,51
Me gusta tener contacto con la naturaleza	-0,21	0,73	0,19	-0,10
Reciclo la basura en contenedores adecuados	0,34	0,31	0,49	0,18
Aprovecho ofertas en supermercado	-0,18	0,40	0,13	0,31
Valor raíz	2,65	2,48	1,39	1,26
Varianza explicada (%)	18,99	17,72	9,93	9,05

le denominó "alimentación sana y medio ambiente". El tercer componente (CP III) es semejante en significado al anterior, dado que engloba la ausencia de tabaco o alcohol y el reciclaje de basura en contenedores adecuados, y se etiquetó como "preocupación por la salud y el medio ambiente". Finalmente, el cuarto componente (CP IV) tan solo incluye la variable "suelo comer fuera del hogar por costumbre o razones de trabajo", aun contando con un peso muy significativo (9 % de la variabilidad) y, por tanto, se designó como "alimentación fuera del hogar" (Tabla 5).

Descripción de los segmentos en función de las preferencias esperadas y el análisis sensorial

A partir de los factores extraídos en el análisis previo, se procedió a segmentar a los consumidores. En la tabla 6 aparecen los valores para aquellas variables de caracterización que han resultado estadísticamente diferentes entre segmentos.

El primer segmento se denominó "sano activo" y fue el de mayor tamaño con un 50 % de la muestra (200 consumidores). Estos consumidores tuvieron una edad media de 45 años y una educación mayoritariamente universitaria. Los integrantes de este grupo prefirieron un melocotón de hueso suelto, con diámetro ecuatorial de 60 mm (frutos de tamaño extra), color externo amarillo fuerte, porcentaje de chapeo de 75 %, color de pulpa amarilla, dulzor entre 11 °Brix y 13 °Brix, sin lesiones o golpes en el fruto y con olor característico. En este sentido, Bruhn (1995) mencionó que el aroma del melocotón es uno de los atributos que los consumidores usan para juzgar la calidad. Este grupo se caracterizó por saber la procedencia del melocotón (estado del país) y prefirieron aquellos producidos de manera local. Lo anterior, está fuertemente asociado con reforzar la economía local, consumiendo fruta fresca de la

temporada con el aroma y sabor típico que identifica el origen del melocotón ofertado y buscado por los consumidores que valoran tales atributos o de otros productos producidos local o regionalmente (Feldmann y Hamm, 2015; Meyerding, 2016). La frecuencia de consumo de este segmento fue semanal, indicaron estar dispuestos a pagar más de 2 €/kg, siendo el precio promedio del melocotón en el mercado mexicano de 1,85 €/kg. Este grupo de consumidores eligió melocotones con etiqueta, fueron individuos altamente preocupados por el medio ambiente y su salud, por ende, reconocieron los beneficios sobre la salud de consumir esta fruta. Probablemente la respuesta de los consumidores locales, indirectamente, sea explicada en el sentido de consumir melocotón producido sin riego y, por ende, con escasa o nula aplicación de agroquímicos, lo cual hace de esta fruta un producto casi orgánico. Por ejemplo, Shafie y Rennie (2012) observaron que los consumidores de cierto sector dan mayor importancia al cuidado de la salud (Onwezen y Bartels, 2011; Hsu y Chen, 2014) y al medioambiente (Bastos de Melo *et al.*, 2016) minimizando así, la contaminación de los productos frescos y del medio ambiente.

El segundo segmento identificado como "escépticos" representó el 24 % de la muestra (96 consumidores). En general, tuvieron una edad media de 59 años y estudios primarios, mayoritariamente. Estos consumidores optaron por melocotón de hueso pegado y suelto, con diámetro ecuatorial de 56 mm (frutos de primera en los melocotones tipo criollo), color externo amarillo pálido, 50 % de chapeo y pulpa amarilla. La concentración de azúcar aceptada fue entre 11 °Brix y 13 °Brix, además mencionaron estar dispuestos a pagar menos de 1 €/kg. Los miembros de este grupo buscaron un melocotón sin lesiones o golpes y sin etiqueta en la fruta. Este grupo consume el melocotón esporádicamente; de igual manera, no manifestaron interés por el medio ambiente o por su salud, por tanto, no

Tabla 6. Valores promedio de las variables clave para los diferentes grupos de consumidores de melocotón en Zacatecas, México.

Table 6. Average values of the key variables for the different peach consumers' groups in Zacatecas, Mexico.

Segmentos	Sano activo	Escépticos	Concienciados por el medio ambiente
Edad (años)	45 ^a	59 ^c	53 ^b
Educación	Universidad ^c	Primaria ^a	Bachillerato ^b
Establecimiento de compra	Supermercado ^a	Mercados ^b	Mercados ^b
Frecuencia de consumo	Semanal ^a	Esporádicamente ^c	Mensual ^b
Disposición apagar (€)	2 ^b	<1 ^a	Ente 1 y 2 ^{ab}
Tipo de hueso	Suelto ^a	Indistinto ^{ab}	Pegado ^b
Diámetro ecuatorial (mm)	60 ^b	56 ^a	60 ^b
Color	Amarillo fuerte ^a	Amarillo pálido ^b	Amarillo fuerte ^a
Olor característico	Si ^a	No ^b	No ^b
Chapeo (%)	75 ^c	50 ^b	25 ^a
Color de pulpa	Amarilla ^a	Amarilla ^a	Blanca ^b
Dulzor (°Brix)	11-13 ^a	11-13 ^a	14-16 ^b
Lesiones o golpes en la fruta	No ^a	No ^a	No ^a
Etiqueta en la fruta	Si ^a	No ^b	No ^b
Estado de origen	Si ^a	No ^b	No ^b
Variedades aceptadas	CP995JCT, Oro azteca, Diamante supremo, Súper K, CP0304W ^a	Arkansas, Saro, Tlaxcala, Calera, CP0501G ^b	Robín, Regio, Diamante especial, CEL7910 ^c

^a, ^b, ^c, Diferencias estadísticas entre los diferentes grupos de consumidores de melocotón al 95 %.

consideraron los beneficios nutricionales de esta fruta, además de que prefirieron adquirir otras frutas de menor costo. En este sentido, este grupo sería representativo de un segmento práctico y racional, preocupado en la forma en que utilizan su dinero, prefiriendo la opción más económica en cuanto a alimentos (Sarti *et al.*, 2018). La respuesta de estos consumidores podría estar, en parte, asociada a la temporalidad de la fruta, cuan-

do ésta tiene un precio más bajo y con las características organolépticas deseadas (Masaglia *et al.*, 2019), independiente de las dimensiones del fruto, las cuales son menores a las que se ofertan en otras entidades o aquella fruta importada (Sánchez-Toledano *et al.*, 2012; Groot y Albisu, 2016).

El tercer segmento identificado como "concienciados por el medio ambiente" concentró el 26 % de la muestra (104 consumidores).

Los individuos que conformaron este grupo tuvieron una edad media de 53 años y estudios de bachillerato, principalmente. Los integrantes de este grupo aceptaron el melocotón de hueso pegado, con diámetro ecuatorial de 60 mm (fruta de tamaño extra en melocotón de tipo criollo), color externo amarillo fuerte y 25 % de chapeo. Este grupo aceptó melocotón con pulpa blanca, con un dulzor entre 14 °Brix y 16 °Brix y declararon estar dispuestos a pagar entre un euro y dos euros por kg de melocotón. En cuanto a la frecuencia de consumo, ésta fue mensual. Al igual que el grupo anterior, aceptaron un melocotón sin lesiones o golpes. Estos consumidores habían participado activamente en la conservación del medio ambiente, pero prestaron poca atención a productos beneficiosos para la salud humana. Posiblemente, por la frecuencia de compra y a que estos consumidores consideran, inconscientemente, que preservando el medio ambiente, la salud humana está intrínseca (López-Ojeda et al., 2017). Lo cual se reflejó en que este grupo rechazó los productos plásticos y a todos aquellos que contengan sustancias contaminantes para el medio ambiente. Sin embargo, estos consumidores indicaron no conocer los efectos beneficiosos del melocotón, lo cual ya había sido evidenciado por Padilla-Bernal y Pérez-Veyna (2008); no obstante, estuvieron interesados en saber sobre las propiedades funcionales y efecto para la salud (Kant et al., 2018).

Cada grupo de consumidores tienen preferencias por distintos tipos de variedades. Sin embargo, la aceptación de ciertas variedades por los consumidores podría cambiar en función de la disponibilidad de cada variedad en el mercado (estacionalidad o época de oferta).

Conclusiones

Con base a los resultados, los atributos más relevantes para los consumidores zacatecanos en el momento de la compra del melo-

cotón fueron el color externo, tamaño (diámetro) y ausencia de lesiones o golpes en la fruta. Desde el punto de vista empresarial, estos resultados generan un área de oportunidad para producir fruta con estos atributos.

El análisis sensorial mostró que las variedades de melocotón con potencial de mercado se caracterizaron por un color externo amarillo fuerte a naranja, pulpa amarilla, poco dulce, firmeza, sin punta, velloidad muy corta, olor característico, tamaño primera y extra, y chapeo de 25 % a 75 %. Por tanto, se recomienda analizar las diferentes estrategias de mercadotecnia (promoción, plaza y precio) con el fin de lograr posicionarlas en el mercado.

La clasificación de los consumidores en función de los atributos, opiniones y estilos de vida ha sido de gran utilidad ya que ha permitido caracterizar a los consumidores en tres segmentos: "sano activo", "escéptico" y "concienciado por el medio ambiente". Esta segmentación y caracterización ha aportado una información valiosa para los productores de melocotón a la hora de definir sus estrategias de marketing.

El grupo de consumidores denominado "sano activo", es el más receptivo a variedades mejoradas y, por ende, consumidores potenciales. Por tanto, es necesario definir estrategias de penetración para las nuevas variedades y una campaña que informase de los aspectos positivos del melocotón para reforzar su conocimiento. Esta misma campaña sería beneficiosa para los otros segmentos de consumidores.

En cuanto a los consumidores "escépticos", la estrategia para aumentar su consumo puede realizarse a través de demostraciones, muestras gratis, sistemas de puntos para obtener una recompensa a cambio por su compra, entre otras.

Los consumidores "concienciados por el medio ambiente" mostraron poca atención a productos beneficiosos para la salud humana.

Lo anterior, posiblemente por la frecuencia de compra, por ende, la estrategia para este segmento será destacar los beneficios para la salud, calidad y sobre todo el consumo local.

La disposición a pagar por el melocotón fue diferente en los grupos de consumidores, por consiguiente, es deseable establecer escenarios de precios y de disponibilidad en los mercados. Esto no solo beneficiaría a los consumidores, sino también a productores que no logren producir un melocotón con la calidad requerida.

Cada actor de la cadena de suministro podría contribuir a incrementar el consumo y, por ende, las ventas de melocotón. Desde el punto de vista de los mejoradores y productores, es fundamental lograr una consistencia en la calidad de la fruta. Lo anterior, requiere que los productores utilicen técnicas adecuadas en el cultivo y la cosecha. Los mayoristas y minoristas deben buscar estrategias para fortalecer aspectos de poscosecha y comercialización de la fruta.

Aunque esta investigación representa el primer enfoque sobre las preferencias de los consumidores, el campo de estudio se ha limitado a un área geográfica específica y su extrapolación debe realizarse con precaución.

Agradecimientos

Agradezco la revisión del manuscrito al Dr. Jorge A. Zegbe, investigador del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias en el Campo Experimental Zatecas (México).

Referencias bibliográficas

Ancona L, Rejón J, Flores A (2011). Gustos y preferencias de los consumidores que compran hongos comestibles en supermercados de Mé-

rida, Yucatán, México. *Revista Mexicana de Agronegocios* 28: 557-565. <http://dx.doi.org/10.22004/ag.econ.99472>.

Adalja A, Hanson J, Towe C, Tselepidakis E (2015). An examination of consumer willingness to pay for local products. *Agricultural and Resource Economics Review* 44(3): 253-274. <https://doi.org/10.1017/s1068280500005050>.

Agudelo-López M, Cesín-Vargas A, Espinoza-Ortega A, Ramírez-Valverde B (2019). Análisis sensorial del queso Bola de Ocosingo (México) desde la perspectiva del consumidor. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 10(1): 104-119. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v10i1.4739>.

Baba Y, Realini CE, Kallas Z, Pérez-Juan M, Sañudo C, Albertí P, Insausti K (2017). Impacto de la experiencia sensorial y la información sobre las preferencias de los consumidores por la carne de vacuno enriquecida en omega-3 y ácido linoleico conjugado en tres ciudades españolas. *ITEA-Información Técnica Económica Agraria* 113(2): 192-210. <https://doi.org/10.12706/itea.2017.012>.

Badenes ML, Werner DJ, Martínez-Calvo J, Llácer G (1998). A description of peach native populations from Spain. *Fruit Varieties Journal* 52: 80-86.

Bastos de Melo GW, Sete PB, Ambrosini VG, Freitas RF, Basso A, Brunetto G (2016). Nutritional status, yield and composition of peach fruit subjected to the application of organic compost. *Acta Scientiarum* 38(1): 103-109. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v38i1.25638>.

Bruhn CM (1995). Consumer and retailer satisfaction with the quality and size of California peaches and nectarines. *Journal of Food Quality* 18(3): 241-256. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4557.1995.tb00378.x>.

Campbell BL, Mhlanga S, Lesschaeve I (2013). Consumer preferences for peach attributes: Market segmentation analysis and implications for new marketing strategies. *Agricultural and Resource Economics Review* 42(3): 518-541. <https://doi.org/10.1017/s1068280500004974>.

Carbonell L, Izquierdo L, Carbonell I, Costell E (2008). Segmentation of food consumers ac-

- ording to their correlations with sensory attributes projected on preference spaces. *Food Quality and Preference* 19: 71-78. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2007.06.006>.
- Crisosto C, Mitcham E, Kader A (2013). Nectarine and peach: Recommendations for maintaining postharvest quality. Disponible en: <http://postharvest.ucdavis.edu/files/259432.pdf> (Consultado: 17 noviembre de 2018).
- Dávila-Torres J, González-Izquierdo J, Barrera-Cruz A (2015). Obesity in Mexico. *Revista Médica del Instituto Mexicano del Seguro Social* 53(2): 240-249.
- Di Monaco R, Cavella S, Di Marzo S, Masi P (2004). The effect of expectations by brand name on the acceptability of dried semolina pasta. *Food Quality and Preference* 15: 429-437. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2003.07.003>.
- FAOSTAT (2020). Estadísticas de la Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura (FAO). Disponible en: <http://www.fao.org/faostat/es/#data/OA> (Consultado 01 agosto 2020).
- Feldmann C, Hamm U (2015). Consumers' perceptions and preferences for local food: a review. *Food Quality and Preference* 40: 152-164. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2014.09.014>.
- Fernández R, Pérez S, Parra A, Mondragón C, Roa R, Zacatenco G, Chávez A, Rumayor A (2011). Variedades mejoradas y selecciones de durazno del INIFAP: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de investigación Regional Centro. Folleto Técnico 15, 32 pp.
- Fernández-González I, Cadena-Íñiguez P, Jaramillo-Villanueva JL, Hernández-Guzmán JA (2018). Preferencia de los consumidores y disponibilidad a pagar por consumo de elotes de mayor calidad. *Agroproductividad* 11(1): 44-48.
- Ferro E, Chirino E, Márquez M, Mirabal E, Ríos H, Báez E, Guevara F, Alfaro F (2013). Experiencias obtenidas en el desarrollo participativo de híbridos lineales simples de maíz (*Zea mays* L.) en condiciones de bajos insumos agrícolas. *Cultivos Tropicales* 34(2): 61-69.
- García-Torres S, Díaz-Caro C, Elghannam A, Mesías FJ (2020). Las preferencias del consumidor hacia el jamón ibérico y su relación con el sistema de producción. *Eurocarne: La revista internacional del sector cárnico* (288): 62-72.
- Groot E, Albisu LM (2016). Preferencias de los consumidores regulares y esporádicos de melocotones de Calanda. *ITEA-Información Técnica Económica Agraria* 112(3): 336-352. <https://doi.org/10.12706/itea.2016.021>.
- Hair J, Anderson E, Tatham R, Black W (1998). *Multivariate Data Analysis*. Prentice-Hall International, Inc. New Jersey, USA. 730 pp.
- Heid A, Hamm U (2013). Organic consumers' willingness-to-pay for boar meat products before and after tasting product samples. *Organic agriculture* 3: 83-93. <https://doi.org/10.1007/s13165-013-0047-x>.
- Hsu CL, Chen MC (2014). Explaining consumer attitudes and purchase intentions towards organic food: contributions from regulatory fit and consumer characteristics. *Food Quality and Preference* 35: 6-13. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2014.01.005>.
- INAFED (2020). Enciclopedia de los municipios y delegaciones de México. Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal. Disponible en: <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM32zacatecas/mediofisico.html>. (Consultado: 10 marzo 2020).
- INEGI (2020). México en cifras. Instituto Nacional de Estadística y Geografía Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/app/areasgeograficas/?ag=32> (Consultado: 13 septiembre 2020).
- Jaeger S, Rossiter K, Wismer W, Harker F (2003). Consumer-driven product development in the kiwifruit industry. *Food Quality and Preference* (14): 187-198. [https://doi.org/10.1016/S0950-3293\(02\)00053-8](https://doi.org/10.1016/S0950-3293(02)00053-8).
- Kant R, Kumar R, Shukla A (2018). A review on peach (*Prunus persica*): an asset of medicinal phytochemicals. *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology* 6(1): 2186-2200. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2018.1342>.

- Kido-Cruz MT, Kido-Cruz A, Zúñiga-Marroquín T, Medel-Ramos JA (2019). Preferencias declaradas en el consumo del langostino de río en la localidad de Loma Bonita, Oaxaca. *Estudios sociales. Revista de alimentación contemporánea y desarrollo regional* 29(54): e19796. <https://doi.org/10.24836/es.v29i54.796>.
- Kruskal JB (1964). Nonmetric multidimensional scaling: A numerical method. *Psychometrika* 29(2): 115-129. <https://doi.org/10.1007/bf02289694>.
- López-Ojeda A, Pérez-Camacho C, Guzmán-Hernández C, Hernández-López R (2017). Caracterización de las principales tendencias de la gastronomía mexicana en el marco de nuevos escenarios sociales. *Teoría y Praxis* (21): 91-113. <https://doi.org/10.22403/uqroomx/typ21/05>.
- López-Roldán P, Fachelli S (2015). Metodología de la investigación social cuantitativa. Universidad Autónoma de Barcelona, Barcelona, España. 184 pp.
- Lo Bianco R, Mirabella F (2018). Use of leaf and fruit morphometric analysis to identify and classify white mulberry (*Morus alba* L.) genotypes. *Agriculture* 8: 157. <https://doi.org/10.3390/agriculture8100157>.
- Luque-Martínez T, Ibáñez-Zapata JA, Barrio-García S (2000). Consumer ethnocentrism measurement: An assessment of the reliability and validity of the CETSCALE in Spain. *European Journal of Marketing* 34(11/12): 1353-1374. <https://doi.org/10.1108/03090560010348498>.
- Malhotra NK (2008). Investigación de mercados 5ª ed. Pearson Prentice Hall. México. 920 pp.
- Massaglia S, Borra D, Peano C, Sottile F, Merlino VM (2019). Consumer preference heterogeneity evaluation in fruit and vegetable purchasing decisions using the best-worst approach. *Foods* 8(7): 266. <https://doi.org/10.3390/foods8070266>.
- Merritt MG, DeLong KL, Griffith AP, Jensen KL (2018). Consumer willingness to pay for Tennessee Certified Bef. *Journal of Agricultural and Applied Economics* 50(2): 233-254. <https://doi.org/10.1017/aae.2017.35>.
- Meyerding SGH (2016). Consumer preferences for food labels on tomatoes in Germany – a comparison of a quasi-experiment and two stated preference approaches. *Appetite* 103: 105-112. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2016.03.025>.
- Miranda-De la Lama GC, Estévez-Moreno LX, Sepúlveda WS, Estrada-Chavero MC, Rayas-Amor AA, Villarroel M, María GA (2017). Mexican consumers' perceptions and attitudes towards farm animal welfare and willingness to pay for welfare friendly meat products. *Meat Science* 125: 106-113. 1.
- Mora M, Contador L, Infante R, Rubio P, Espinoza J, Shnettler B (2010). Identificación de segmentos de mercado y preferencias hacia dos variedades de durazno fresco: una aproximación mediante evaluación in situ en una frutería de Santiago, Chile. *Economía Agraria* 14: 47-63. <http://dx.doi.org/10.22004/ag.econ.104412>.
- Morris ML, Bellon MR (2004). Participatory plant breeding research: Opportunities and challenges for the international crop improvement system. *Euphytica* 136(1): 21-35. <https://doi.org/10.1023/B:EUPH.0000019509.37769.b1>.
- Okie R (1998). Handbook of peach and nectarine varieties: performance in the Southeastern United States and index of names. *Agriculture Handbook* 714. USDA, Agricultural Research Service: Byron, GA, USA. 814 pp.
- Onwezen MC, Bartels J (2011). Which perceived characteristics make product innovations appealing to the consumer? A study on the acceptance of fruit innovations using cross-cultural consumer segmentation. *Appetite* 57(1): 50-58. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2011.03.011>.
- Ortiz de Zarate D, Güemes D, Piagentini A, Garglio N, Pirovani M (2007). Comparación de la calidad de duraznos de diferentes variedades cultivadas en la región centro-este de la provincia de Santa Fe. *Revista FAVE. Sección Ciencias Veterinarias* 5(1-2): 27-33. <https://doi.org/10.14409/fa.v5i1/2.1319>.
- Padilla-Bernal LE, Pérez-Veyna O (2008). El consumidor potencial de durazno (*Prunus persica*) orgánico en Zacatecas, Aguascalientes y San Luis Potosí. *Agrociencia* 42(3): 379-389.
- Peñaherrera V, Carpio C, Sandoval L, Sánchez M, Cabrera T, Guerrero P, Borja I (2019). Efecto del etiquetado de semáforo en el contenido nutri-

- cional y el consumo de bebidas gaseosas en Ecuador. *Panamericana de Salud Pública* 42: 1-8. <https://doi.org/10.26633/RPSP.2018.177>.
- Pérez C (2004). *Técnicas de análisis multivariante de datos. Aplicaciones con SPSS*, Madrid, Universidad Complutense de Madrid. 121-154.
- Pérez-Vargas R, Morales-Jiménez J, López-Sánchez H, Ayala-Garay V (2017). Intención de compra del consumidor organizacional de Chile regional en el estado de Puebla, México. *Agricultura, sociedad y desarrollo* 14(4): 599-615. <https://doi.org/10.22231/asyd.v14i4.698>.
- Resano H, Sanjuán AI (2018). Exploring the role of mountain origin and autochthonous breed on urban consumers' acceptability. *Sustainability* 10(12): 4423.
- Sánchez-Toledano B, Zegbe J, Espinoza J, Rumayor A (2012). Producción y comercialización del durazno criollo de Zacatecas. Folleto técnico num. 43. Campo Experimental Zacatecas. CIRNOC-INIFAP. 43 p.
- Sánchez-Toledano B, Zegbe J, Rumayor A, Moctezuma G (2013a). Estructura económica competitiva del sector agropecuario de Zacatecas: un análisis por agrocadenas. *Revista Mexicana de Agronegocios* 33: 552-563.
- Sánchez-Toledano B, Zegbe J, Rumayor A (2013b). Propuesta para evaluar el proceso de adopción de las innovaciones tecnológicas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 4(6): 855-868. <https://doi.org/10.29312/remexca.v4i6.1154>.
- Sánchez-Toledano B, Kallas Z, Gil-Roig JM (2017). Farmer preference for improved corn seeds in Chiapas, Mexico: A choice experiment approach. *Spanish Journal of Agricultural Research* 15(3): e0116. <https://doi.org/10.5424/sjar/2017153-11096>.
- Sánchez-Toledano B, Zegbe JA, Cuevas-Reyes V, Camarena-Gómez D, López-Santiago M (2019). Caracterización de los intermediarios en el mercado del melocotón mexicano. *ITEA-Información Técnica Económica Agraria* 115(3): 270-283. <https://doi.org/10.12706/itea.2019.016>.
- Sánchez M, Gil JM, Gracia A (2000). Segmentación del consumidor respecto al alimento ecológico: diferencias interregionales. *Revista de estudios regionales* (56): 171-188.
- Sangerman-Jarquín D, Larqué BS, Navarro A, Schwentesius R, Nieto C, Cuevas JA (2011). Estudio de mercado de aguacate, guayaba y durazno en el Distrito Federal, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 2(6): 925-938. <https://doi.org/10.29312/remexca.v2i6.1572>.
- Sarti S, Darnall N, Testa F (2018). Market segmentation of consumers based on their actual sustainability and health-related purchases. *Journal of Cleaner Production* 192: 270-280. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.04.188>.
- Siró I, Kápolna E, Kápolna B, Lugasi A (2008). Functional food product development, marketing and consumer acceptance – A review. *Appetite* 51: 456-467. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2008.05.060>.
- SIAP (2020). Avances de Siembras y Cosechas por Estado y Año Agrícola. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Disponible en: <http://www.gob.mx/siap>. (Consultado: 9 de agosto 2020).
- Shafie FA, Rennie D (2012). Consumer perceptions towards organic food. *Procedia – Social and Behavioral Sciences* 49: 360-367. <http://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.07.034>.
- Uzcanga NG, Camarena DM, Cortazar M, Pérez RD, (2015). Preferencias de consumo por productos derivados del cocotero en la Península de Yucatán, México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas* 6(1): 45-57. <https://doi.org/10.29312/remexca.v6i1.738>.
- Ward JH (1963). Hierarchical grouping to optimize an objective function. *Journal of the American Statistical Association* 58: 236-244. <https://doi.org/10.1080/01621459.1963.10500845>.
- Wolfe KL, Kang X, He X, Dong M, Zhang Q, Liu RH (2008). Cellular antioxidant activity of common fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 56(18): 8418-8426. <http://doi.org/10.1021/jf801381y>.

(Aceptado para publicación el 19 de febrero de 2021)

PREMIOS DE PRENSA AGRARIA 2021 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 2021 que reúna las mejores características técnicas, científicas y de valor divulgativo y de transferencia al sector, así como un impacto relevante de sus resultados. El artículo deberá reflejar el espíritu fundacional de AIDA de hacer de transmisor de conocimientos hacia el profesional, técnico o empresario agrario. Se concederá un premio, pudiendo quedar desierto.

Los premios se regirán de acuerdo a las siguientes

BASES

1. Podrán concursar todos los artículos que versen sobre cualquier tema técnico-económico-agrario.
2. Los artículos que podrán acceder al premio serán todos aquellos que se publiquen en ITEA en el año 2021. Consecuentemente, los originales deberán ser enviados de acuerdo con las normas de ITEA y aprobados por su Comité de Redacción.
3. El jurado estará constituido por las siguientes personas:
 - a) Presidencia de AIDA, que presidirá el jurado.
 - b) Dirección de la revista ITEA, que actuará de Secretario.
 - c) Dirección del CITA (Gobierno de Aragón).
 - d) Dirección del Instituto Agronómico Mediterráneo de Zaragoza.
 - e) Dirección de la Estación Experimental de Aula Dei.
 - f) Dirección del Instituto Pirenaico de Ecología.
4. El premio será anual y tendrá una dotación económica.
5. Las deliberaciones del jurado serán secretas, y su fallo inapelable.
6. El fallo del jurado se dará a conocer en la revista ITEA, y la entrega del premio se realizará con motivo de la celebración de las Jornadas de Estudio de AIDA.

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

INSCRIPCIÓN EN AIDA

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

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

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

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

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

FORMA DE PAGO (COUTA ANUAL: 50 EUROS)

<input type="checkbox"/>	Cargo a cuenta corriente (rellenar la domiciliación bancaria)
<input type="checkbox"/>	Transferencia a la cuenta de AIDA ES70 2100 8687 2702 0001 2107 (adjuntar comprobante)

DOMICILIACION BANCARIA

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

PROTECCIÓN DE DATOS

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

AUTORIZACIONES

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

* Debe responder a estas cuestiones obligatoriamente.

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

SE INFORMA

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

Nombre y apellidos del Socio:

DNI:

Representante legal (si lo hubiere):

DNI:

En _____, a ___ de _____ de 20__

FIRMA DEL SOCIO:

NORMAS PARA LOS AUTORES (actualizado marzo de 2021)

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 revista ITEA (<http://recyt.fecyt.es/index.php/ITEA/user/register>). Para ello, los autores deberán registrarse en la aplicación, incluir el nombre y apellidos de todos los autores de manuscrito en los metadatos del artículo, y seguir las indicaciones pertinentes. El manuscrito se enviará como un único documento Word, incluyendo las tablas y figuras al final del mismo. Los autores deberán incluir en archivo independiente una carta de presentación en la que figure el título, los autores y un listado con 4 potenciales revisores (nombre completo, dirección postal y correo electrónico), que no deberán estar en conflicto de intereses con los autores o el contenido de manuscrito, en cuyo caso el Comité Editorial podrá negarse a colaborar con dichos revisores.

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

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

2. Tipos de manuscritos

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

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

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

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

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

3. Preparación del manuscrito

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

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

Todos los manuscritos incluirán, en la primera página:

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

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

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

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

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

Ejemplo:

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

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

*autor para correspondencia: gpardos@aragon.es

El manuscrito incluirá a continuación:

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

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

En inglés: Título del artículo, Resumen, Palabras clave

4. Apartados del manuscrito

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

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

• **Material y métodos:** deberá aportar la información necesaria que permita la réplica del trabajo, incluyendo el nombre del fabricante de productos o infraestructuras utilizadas. Los manuscritos deberán incluir una descripción clara y concisa del diseño experimental y de los análisis estadísticos realizados. Se indicará el número de individuos/muestras, valores medios y medidas de variabilidad iniciales.

• **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 sustainability of ruminant livestock systems. A review. *Animal Research* 55: 489-510. <https://doi.org/10.1051/animres:2006040>.

Capítulo de libro

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

Libro

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

Acta de congreso

Misztal I (2013). Present and future of genomic selection at the commercial level. Book of Abstracts of the 64th Annual Meeting of the EAAP, 20-30 de agosto, Nantes, Francia, pp. 100. <https://doi.org/3920/978-90-8686-782-0>.

Fuente electrónica

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

<http://faostat.fao.org/default.aspx>
(Consultado: 30 enero 2012).

Documento oficial

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

Leyes / Reglamentos

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

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

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

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

Ejemplo de tabla:

Tabla 3. Tarjetas de productos hipotéticos expuestos a los encuestados

Table 3. Hypothetical products cards shown to those surveyed

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

Fuente: Diaz *et al.* (2013)

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

5. Normas de estilo

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

Volumen 117

Número 5

Diciembre 2021

itea

información técnica económica agraria
www.aida-itea.org

REVISTA DE LA ASOCIACIÓN INTERPROFESIONAL PARA EL DESARROLLO AGRARIO

