itea

información técnica económica agraria

REVISTA DE LA ASOCIACIÓN INTERPROFESIONAL PARA EL DESARROLLO AGRARIO



Volumen 115

Número 2

Junio 2019

aida-itea.org

itea

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

2019- AÑO L Vol. 115 N.º 2 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

DIRECTOR: Albina Sanz, CITA de Aragón. España

EDITORES CIENTÍFICOS: Alfonso Abecia, Universidad de Zaragoza. España
José Manuel Alonso, CITA de Aragón. España
Javier Álvarez, Universidad de Lleida. España
Alicia Cirujeda, CITA de Aragón. España
Ana Isabel Sanjuán, CITA de Aragón. España

EDITOR TÉCNICO: María Salillas, Asociación Interprofesional para el Desarrollo Agrario. España

COMITÉ DE REDACCIÓN: Jorge Álvaro, EEAD Zaragoza. España
Arancha Arbeloa, EEAD Zaragoza. España
Carlos Calvete, CITA de Aragón. España
Fernando Escriu, CITA de Aragon. España
Vicente González, CITA de Aragón. España
Cristina Mallor, CITA de Aragón. España
Javier Rodrigo, CITA de Aragón. España

COMITÉ ASESOR: Ricardo Aké, Universidad Autónoma de Yucatán, México • Joaquim Balcells, Universidad de Lleida, España • Carlos Cantero, Universidad de Lleida, España Mª Elena Daorden, INTA, Argentina • Mª José Díez, Universidad Politécnica de Valencia, España • Miguel Gómez, Cornell University EEUU • Margarita López, Centro de Investigación Agraria "Finca La Orden-Valdesequera", España • Ana Meikle, Universidad de la República, Uruguay • Camilla Moonen, Scuola Superiore Sant'Anna di Pisa, Italia • Mª Teresa Muiño, Universidad de Zaragoza, España • César Revoredo-Giha, SAC, Reino Unido • Ricardo Revilla, España • José Antonio Rubio, ITACYL, España Pierre Sans, École Nationale Vétérinaire de Toulouse, Francia • Guillermo Studdert, Universidad del Mar del Plata, Argentina • Alfredo Teixeira, Escola Superior Agrária de Bragança, Portugal • Luis Varona, Universidad de Zaragoza, España

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

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



Foto y texto: Alicia Cirujeda

Los márgenes de piedra seca son estructuras que normalmente separan campos con pendiente. Desde tiempos inmemoriales han sido el sumidero de piedras que aparecen en los campos, o bien debido a un laboreo demasiado profundo que las eleva a capas superficiales o bien porque se trate de suelos mezclados con grandes cantos. El abandono del estilo de vida de subsistencia lleva consigo también un reducido mantenimiento de estas estructuras. En las últimas décadas han surgido movimientos interesados en reconstruir este tipo de márgenes de piedra y casetas rurales, fundamentales para frenar la erosión y para favorecer la infiltración del agua de lluvia para mejor aprovechamiento de los cultivos. El cuidado de estos márgenes de piedra contribuye en el mantenimiento de una agricultura que lucha por encontrar un hueco en los mercados locales tratando de distinguir su producto por aportar beneficios ambientales y sociales.

Obituario

François Bocquier (1955-2019), Profesor en Ciencias Animales de la Universidad de Montpellier-SupAgro

Escribir en recuerdo de François (Paco) Bocquier es doloroso por su reciente fallecimiento en Montpellier el pasado 21 de mayo, después de casi un año luchando con un cáncer con gran dignidad y valor. Lo hago con mi mayor cariño, en homenaje a su talla y genialidad como profesor e investigador en Producción Animal pero, sobre todo, para recordarlo junto con los muchos amigos que ha dejado en España y, en especial, entre los que nos dedicamos a la producción y nutrición del ganado ovino lechero. Fue una suerte y un privilegio haberlo conocido…



Sus frecuentes visitas a España, como profesor en los cursos del IAMZ (Instituto Agronómico Mediterráneo de Zaragoza), como miembro de tribunales de tesis doctorales y conferenciante, además de sus colaboraciones en diversos proyectos de investigación y visitas vacacionales en familia, le hicieron conocer bien nuestro país, aprender nuestro idioma y apreciar nuestro carácter y forma de ser (de ahí que le llamáramos Paco), forjando una fuerte amistad con muchos españoles. Si algo valoramos en su personalidad, los que le conocimos, fue su genialidad y humor, su capacidad de romper protocolos y formalidades para ser innovador y divertido, unido a una enorme generosidad y gran nivel de conocimientos, lo que hacía irrepetibles las sesiones de trabajo que muchos de nosotros compartimos con él. Paco ha sido un gran amigo y un inolvidable maestro, innovador y exigente, pero tierno y cordial, como un hermano.

Nacido el 6 de febrero de 1955 en Tours (Indre-et-Loire, Francia), obtuvo su título de Bachiller en 1973 en el Liceo General Leclerc de Yaoundé en Camerún (curiosidades del destino, Leclerc fue el general de la 2ª división blindada que, integrada por numerosos republicanos españoles, fue la primera en entrar en Paris y obtener su rendición en 1944). Su estancia en África marcó fuertemente su imaginación y sensibilidad por la naturaleza y la cooperación, lo que mantuvo como un rasgo característico de su personalidad durante toda su vida.

Hizo el preparatorio en BCPST (biología, química, física y ciencias de la tierra) en el Liceo Jean-Baptiste Say de París (1973-76) para entrar en la escuela del INA-PG (Institute National Agronomique-Paris Grignon), en la que cursó Ingeniero Agrónomo en Ciencias de los Animales (1976-79) y tuvo la oportunidad de conocer a los grandes maestros de la Producción Animal francesa. Continuó estudios y se Diplomó en Estudios Avanzados en Nutrición y Alimentación de Animales Domésticos en la Universidad Pierre y Marie Curie-Paris VI (1978-79), con especialización posterior en Fisiología de la Reproducción (1980-81). Ambos aspectos, nutrición y reproducción, aplicados al ganado ovino y caprino, fueron de su especial interés y en los que nos ha dejado numerosas publicaciones de gran valor.

Se inició en investigación como ASC (ayudante científico contratado) en 1982 en el Laboratorio de Fisiología de la Lactación del INRA (Institut de la Recherche Agronomique) en Jouy-en-Josas y en 1985 obtuvo el grado de Doctor en el INA-PG con una tesis sobre el efecto del fotoperiodo en la producción lechera de ovejas. Entre 1985 a 1999 fue investigador (Chargé

de Recherches) en el laboratorio de Producción Ovina del INRA de Theix (Clermont-Ferrand), donde tuvo la oportunidad de trabajar, entre otros, con sus admirados maestros Robert Jarrige y Michel Thèriez, y con su gran amigo Yves Chilliard.

En septiembre de 1999 ganó la plaza de Profesor en Ciencias Animales de la Universidad de Montpellier-SupAgro, donde ha sido un investigador fundamental de la UMR Systèmes d'Élevage Medirranéenes et Tropicaux (INRA, CIRAD, SupAgro) y Director del Departamento de Milieux, Productions, Ressources et Systèmes.

Su nombre está fuertemente unido a la nutrición del ganado ovino, en especial del ovino lechero, y a los libros rojos del INRA (1978, 1988, 2010 y 2018). Sus capítulos sobre nutrición de ovino son de lectura imprescindible y los mejores para estimar las necesidades e ingestión de las ovejas lecheras. Sus aportaciones a la industria ovina Mediterránea, en la que destacan Francia y nuestro país, serán inolvidables.

Relacionado con la Revista ITEA y vinculado a AIDA (Asociación Interprofesional para el Desarrollo Agrario), fue el conferenciante invitado en la sesión inaugural de las XI Jornadas de Producción Animal de 2005 en Aula Dei (Montañana, Zaragoza) con la conferencia titulada: La perennidad y duración de las granjas de rumiantes dependen de las capacidades adaptativas de las hembras.

Paco ha sido un original dibujante, un investigador creativo, muy sensible a las tecnologías informáticas, capaz de formarse en electrónica y de crear patentes para la gestión de la reproducción mediante dispositivos de detección automática de celos basados en la identificación electrónica en ovinos y caprinos (Alpha).



Como un detalle más de su genialidad y generosidad, su perfil en Linkedin indica que era el único miembro de una empresa benéfica (Mon Trip), dedicada a la ayuda humanitaria y en desastres naturales. Su perfil describe su actividad como:

«Je recycle et répare tout ce que je trouve, Je cherche à donner une seconde vie aux objets avec une prédilection pour l'informatique, Je donne à ceux qui en ont besoin»

Paco recogía a diario con su furgoneta toda bicicleta, ordenador y trasto útil que encontraba, lo desmontaba en el sótano de su casa, reparaba y volvía a montar… para dárselo a todo estudiante que llegaba nuevo. Sólo ponía una condición: "Cuando ya no te sirva, no lo vendas, dáselo a alguien que lo necesite".

Una personalidad irrepetible, tierna, creativa, divertida, comprometida y generosa, amante de la vida, del arte africano y del moderno, de Georges Brassens y de Bob Dylan, al que recordaremos por sus aportaciones en lo personal y profesional.

Alguien que nos faltará, pero que con Marie-Helène Farce, su entrañable compañera, y sus mosqueteros Olivier, Louis y Simon, sus hijos, llenó nuestros corazones y al que no olvidaremos.

Gerardo Caja

Sumario

Producción Vegetal

Nota técnica: Primer éxito en el cultivo de trufa negra en el oeste de la península ibérica y posibilidades de expansión.
First success of black truffle cultivation in western Iberian Peninsula and its potential for expansion.
S. Sánchez, S. Sánchez y J. Sánchez 112

Efecto de biorreguladores del crecimiento sobre indicadores de calidad fisicoquímica en frutos de tomate cultivados en invernadero.
Effect of growth bioregulators on physicochemical quality indicators in tomato fruits grown in greenhouse.
R. Cano-Hernández, M.T. Martínez-Damián, E.C. Moreno-Pérez, F. Sánchez-del Castillo, O. Cruz-Álvarez y M.J. Rodríguez-Roque 120

Producción Animal

Caracterización económico-productiva del sistema bovino doble propósito en tres regiones tropicales de México.
Productive and economic characterization of dual-purpose cattle in three tropical regions of Mexico.
Y. Bautista-Martínez, J.G. Herrera-Haro, J.A. Espinosa-García, F.E. Martínez-Castañeda, H. Vaquera-Huerta, A. Morales y G. Aguirre-Guzmán 134

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.
Influence of ageing and cooking method on sensory evaluation and aromatic compounds profile of meat from Retinta breed crossbreeding.
B. Panea, G. Ripoll, K. Insausti, M.J. Beriain, C. Sañudo y P. Albertí 149

Solubilidad del colágeno y textura de la carne bovina cocinada al vacío: efecto del tiempo de maduración y de la temperatura de cocinado.
Collagen solubility and beef meat texture under vacuum-cooking: effect of cooking temperature and ageing time.
B. Panea y G. Ripoll 163

Economía Agraria

Estimación del impacto económico de *Xylella fastidiosa* en Aragón.
Estimation of the economic impact of Xylella fastidiosa *in Aragón.*
Y. Martínez y A. Palacio-Bielsa 175

Nota técnica

Primer éxito en el cultivo de trufa negra en el oeste de la península ibérica y posibilidades de expansión

S. Sánchez[1,*], S. Sánchez[2] y J. Sánchez[2]

[1] Unidad de Recursos Forestales, Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA)-Instituto Agroalimentario de Aragón (IA2) (CITA-Universidad de Zaragoza), Avda. Montañana 930, 50059, Zaragoza, España

[2] Instituto Hispano-Luso de Investigaciones Agrarias, Universidad de Salamanca, c/ Río Duero, 12, 37185, Villamayor, Salamanca, España

Resumen

El cultivo de trufa negra (*Tuber melanosporum* Vittad.) es una actividad que va tomando cada vez más importancia en las zonas rurales europeas. En la península ibérica está restringido principalmente a la zona este, dada la preponderancia de suelos calizos, aptos para la fructificación silvestre de este hongo. Para comprobar si existen fuera de esa área, en el oeste peninsular, zonas aptas para su cultivo, en 2005 se llevó a cabo una pequeña plantación experimental de encinas micorrizadas con trufa negra en la provincia de Salamanca. Los cuidados se limitaron a la poda de formación y gestión del riego. En el otoño de 2009 se confirmó la persistencia de las micorrizas de trufa negra en las raíces de los árboles y cuatro años después se hizo la primera recolección de trufas, las cuales han seguido produciéndose hasta la actualidad. Esa primera recolección fue bastante elevada (36 trufas, 1180 g en 6 árboles), lo que podría indicar que la producción comenzó algún año antes pero las primeras trufas no fueron localizadas. Los rendimientos obtenidos hacen pensar que se ha abierto una nueva oportunidad de negocio para una parte del centro-occidente peninsular.

Palabras clave: Truficultura, cultivos alternativos, Salamanca, *Tuber melanosporum.*

First success of black truffle cultivation in western Iberian Peninsula and its potential for expansion

Abstract

Black truffle cultivation is an activity that is gaining increasing importance in rural areas of Europe. On the Iberian Peninsula its cultivation is mainly restricted to the east, given the prevalence of limestone soils, suitable for the wild fructification of this fungus. To verify whether any areas are suitable for black truffle producing outside of this area, in the west of the Peninsula, an experimental plantation was established in 2005 in Salamanca Province. Management was limited to shape pruning and irrigation. In autumn 2009 the persistence of black truffle mycorrhizae in the trees was confirmed and four years later a first truffle harvest was achieved. Truffle production has continued to date. This first harvest was

* Autor para correspondencia: ssanchezd@aragon.es

Cita del artículo: Sánchez S, Sánchez S, Sánchez J (2019). Nota técnica: Primer éxito en el cultivo de trufa negra en el oeste de la península ibérica y posibilidades de expansión. ITEA-Información Técnica Económica Agraria 115(2): 112-119. https://doi.org/10.12706/itea.2018.031

quite high (36 truffles, 1180 g in 6 trees), suggesting that production had started in a previous year but first truffles were not found. These results lead us to believe that a business opportunity has opened up for some of the areas for part of the mid-west of the Iberian Peninsula.

Keywords: Trufficulture, alternative crops, Salamanca, *Tuber melanosporum.*

Introducción

La trufa negra es la fructificación hipogea del hongo *Tuber melanosporum* Vittad., el cual vive de forma natural en formaciones boscosas y en simbiosis ectomicorrícica con plantas del género *Quercus* L. principalmente. Es un producto forestal no maderero muy valorado por su característico e intenso aroma y que, además, puede cultivarse, obteniendo grandes rendimientos y compensando así el descenso de la producción silvestre de las últimas décadas (García-Barreda *et al*., 2018). España es el segundo productor mundial, después de Francia, con el 27,3% de la producción total que, promediada para los años 2003-2013, ronda las 58 toneladas al año según Reyna y García-Barreda (2014). Tomando como referencia ese mismo trabajo, podemos estimar que en la actualidad existen en España unas 13.000 hectáreas cultivadas con árboles micorrizados con trufa negra. Esta superficie crece a un ritmo de un 5-10% anual, sustentada por un sector viverista especializado con 27 empresas en 2013 (Cocina *et al*., 2013) que producen unos 250.000 plantones micorrizados con trufa al año (Sánchez *et al*., 2016).

Las actividades económicas relacionadas con este hongo, como recolección silvestre, plantaciones, viverismo, empresas de transformación y restauración, entre otras, se han concentrado en las zonas cercanas al hábitat silvestre de la especie (Figura 1), situado por completo en la conocida como "España caliza", que aproximadamente se corresponde con el este peninsular. De hecho, la presencia de caliza activa en el suelo es el factor más determinante para la fructificación de este hongo (García-Montero *et al*., 2006; Chevalier y Sourzat, 2012). Hasta donde hemos podido comprobar, no ha sido citada su presencia en el oeste del país (la "España ácida"), que está formado mayoritariamente por rocas metamórficas e intrusivas, como granitos, pizarras, esquistos, etc. que tienen por lo general valores de pH más ácidos (Santisteban *et al*., 1993a). Sin embargo, también pueden encontrarse ciertos afloramientos de litoarcosas, litoarenitas y fangos, cementados por carbonatos (Santisteban *et al*., 1993b) que originan suelos de tipo Cambisol calcárico principalmente (ITACYL, 2017), que *a priori* podrían ser aptos para el cultivo de esta especie.

El presente trabajo explora la posibilidad de cultivo de trufa negra en una de estas zonas calizas del oeste peninsular, mediante la realización de una pequeña plantación experimental de encinas (*Quercus ilex* L. subsp. *ballota* (Desf.) Samp.) micorrizadas, siguiendo tanto el estado de micorrización de los árboles como la entrada en producción.

Material y métodos

Se seleccionó una parcela de regadío situada en el término municipal de Aldearrubia, Salamanca, pues sus características edafoclimáticas y geográficas se encuentran entre los límites aceptables para el desarrollo de la trufa, con la única excepción de las precipitaciones total y estival, lo cual podría solucionarse mediante el riego. La tabla 1 muestra los parámetros más relevantes del lugar de implante comparados con los estándares conocidos para la especie.

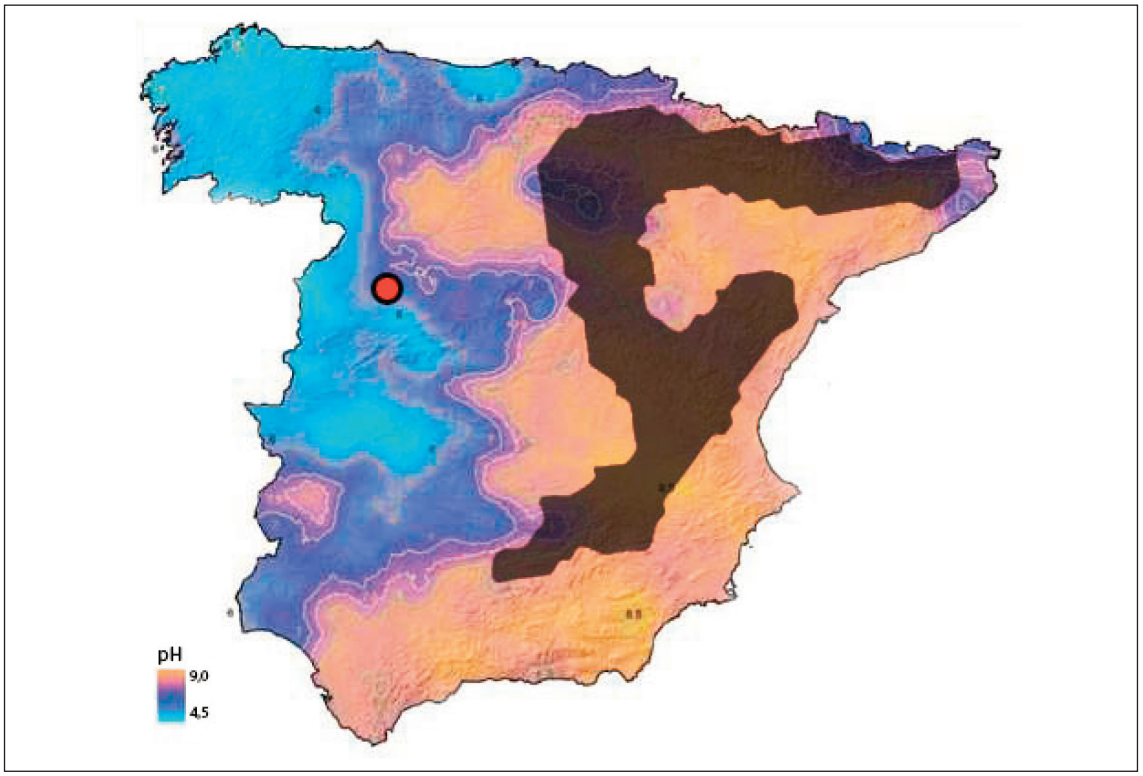


Figura 1. Mapa de pH de los suelos de la España peninsular (Rodríguez *et al.*, 2009). El área de distribución natural de *Tuber melanosporum* (García-Cunchillos *et al*., 2014), aparece sombreada, y la localización de la zona de plantación marcada en rojo.
Figure 1. Soil pH map of peninsular Spain (Rodríguez et al., *2009). The area of natural distribution for* Tuber melanosporum *(García-Cunchillos* et al., *2014) is shaded, and the location of the plantation is marked in red.*

En otoño de 2005 se plantaron seis encinas micorrizadas con *T. melanosporum*. Los plantones fueron producidos en el Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA) siguiendo el método diseñado por C. Palazón y detallado por García-Barreda *et al*. (2017). La calidad de micorrización se comprobó por el método INIA-Aragón, revisado por Andrés-Alpuente *et al.* (2014), resultando el lote de plantas apto para el cultivo. Se emplearon protectores forestales, que se retiraron al tercer año. Durante los cinco primeros años los cuidados se limitaron a la realización de poda de formación hacia el invierno y riego por goteo en verano para garantizar la supervivencia de los plantones. A partir del quinto año se cambió el sistema de riego a aspersión.

Para comprobar si la simbiosis continuaba correctamente establecida en la plantación, se realizó un análisis del estado de micorrización en el año 2009 siguiendo el "método directo" expuesto por Sánchez *et al*. (2014). A partir del 8º año se comprobó la posible presencia de trufas mediante un perro recién entrenado al efecto.

Tabla 1. Características geográficas y edafoclimáticas del lugar de plantación y rango óptimo para *Tuber melanosporum* (Colinas *et al*., 2007; García-Barreda *et al*., 2012; Serrano-Notivoli *et al*., 2015). Coordenadas: latitud 40.9970131 Norte, longitud 5.5036163 Oeste. Los parámetros climáticos de la zona de plantación han sido recogidos de la Agencia Estatal de Meteorología (*www.aemet.es*) para el periodo de 1981 al 2010 en el punto más cercano a la zona de estudio (Aeropuerto de Matacán).
Table 1. Geographical and edaphoclimatic characteristics of the plantation site and those of optimum rank for Tuber melanosporum (Colinas et al*., 2007; García-Barreda* et al*., 2012; Serrano-Notivoli* et al*., 2015). Coordinates: latitude 40.9970131 North, longitude 5.5036163 West. The climatic parameters of the plantation area have been taken from AEMET (*www.aemet.es*) for the period from 1981 to 2010 at the closest point to the study site (Matacán Airport).*

	Zona de plantación	Rango óptimo *T. melanosporum*
Parámetros geográficos		
Altitud (msnm)	790	400-1200
Parámetros edáficos		
Caliza activa (%)	<2	0,1-30
Textura	Franco-arenosa:	
	Arena 78,23%	
	Arcilla 12,91%	
	Limo 8,86%	Franca; Franco-arcillosa-arenosa; Franco-arenosa
Materia orgánica (%)	1,76	1-8
pH agua (1:2,5)	8,2	7,5-8,5
Parámetros climáticos		
Precipitación (mm)		
total	373	400-1500
estival	52	75-185
Temperaturas (ºC)		
media anual	13,2	8-15
mes más cálido	21,5	16,5-23
mes más frío	4,0	1-8

Resultados y discusión

El muestreo realizado en 2009 permitió comprobar la presencia de ectomicorrizas de *T. melanosporum* en todos los árboles, confirmando así el correcto desarrollo del experimento, la aptitud del terreno y el manejo adecuado para el desarrollo vegetativo de la trufa negra.

La primera recolección de trufas se llevó a cabo durante la campaña 2014/2015, en cuatro de los seis árboles. Se obtuvo una media de seis carpóforos por árbol, con un peso total de 1180g. El peso medio por carpóforo fue de 38 g, con un mínimo de 4 g y un máximo de 154 g. La mayoría de las trufas estaban en un grado óptimo de maduración y poseían una adecuada calidad organoléptica. La mayor parte de ellas se formaron muy superficialmente (en los 10 primeros cm de suelo) quizás por la ausencia de laboreo y de gestión de la flora adventicia. Dado el escaso número de árboles que configuraban el ensayo, cualquier estimación de rendimiento de cosecha es imprecisa. Aun así, salvando las distancias y con fines únicamente orientativos, indicaremos que extrapolando la cosecha a una hectárea con una densidad de plantación habitual de 250 pies por hectárea (con marco de 6 x 6 m), fue equivalente a 49,20 kg/ha y campaña, claramente superior a la media estimada en plantaciones (Reyna, 2011) e inusual para un inicio de producción (Pierre Sourzat, com. pers.). Parece por tanto que la producción realmente comenzó algún año antes pero no fue detectada por el perro. Durante las siguientes campañas entraron en producción los dos árboles que faltaban y se mantuvieron las producciones en niveles muy aceptables: 900 g (temporada 2015/2016), 720 g (temporada 2016/2017) y 2320 g (temporada 2017/2018), corroborando de alguna manera los datos de producción obtenidos en la primera cosecha.

A partir del éxito conseguido en esta plantación experimental, se planteó valorar la potencialidad del cultivo trufero a mayor escala en la provincia de Salamanca sin necesidad de realizar enmiendas calizas. Para ello, se analizaron numerosas muestras de suelo en las que se midió, entre otros parámetros, el pH. Con los datos obtenidos y teniendo en cuenta la ecología de la trufa, se detectaron tres zonas con pH superior a 7,5, aptas *a priori*, para el desarrollo de *T. melanosporum* (Figura 2): el cuadrante noreste de la provincia y dos zonas en torno a Ciudad Rodrigo y Tamames. Además, en la reciente campaña 2017/2018 se ha recogido la primera cosecha de trufa negra en la provincia de Zamora, en el municipio de Aspariegos (Servicio de Agricultura y Ganadería de la Diputación de Zamora, com. pers.), confirmando la aptitud de otras zonas del oeste peninsular para este cultivo. Existen también plantaciones ya establecidas en otras provincias cercanas como Valladolid (García-Rodríguez, 1994).

Conclusiones

La producción de trufa negra en las vetas subalcalinas del oeste peninsular, ácido en su mayoría, es posible, por lo que este cultivo podría constituir una alternativa productiva a tener en cuenta en territorios en los que nunca antes se había planteado, probablemente debido a la falta de conocimiento y de tradición de consumo en estas zonas "no truferas" de España. Acorde con la revisión realizada, la recolección de trufa negra llevada a cabo en el presente trabajo es la más alejada de la zona de producción silvestre en la península ibérica, por lo que se considera que se ha localizado una nueva zona de hábitat potencial para el desarrollo de este hongo. Del mismo modo que el cultivo de *T.*

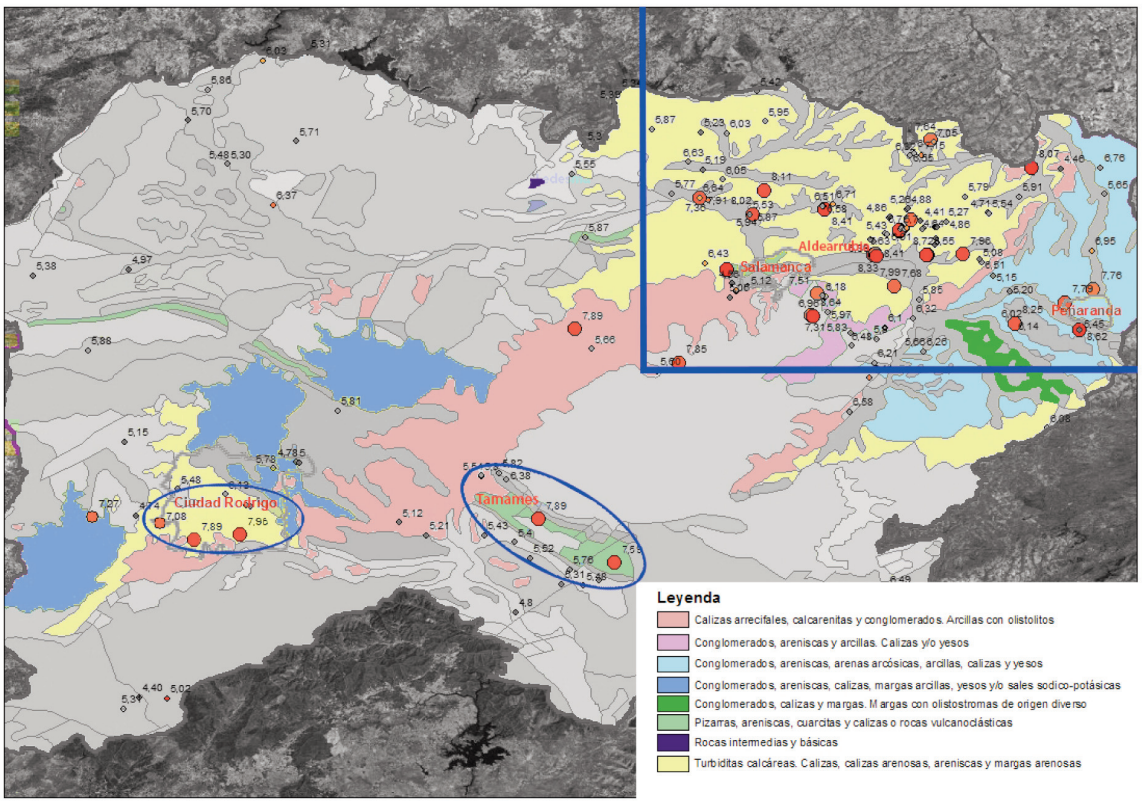


Figura 2. Mapa de suelos de la provincia de Salamanca (modificado de IGME, 1994). Se han delimitado tres zonas potencialmente aptas para el cultivo: zona noreste de la provincia (donde se encuentra la zona de implantación) y dos más meridionales en torno a Ciudad Rodrigo y Tamames. Se muestran los valores de pH de todos los puntos analizados. Los puntos rojos corresponden a los de pH subalcalino.
Figure 2. Soil map of the province of Salamanca (modified from IGME, 1994). Three areas that are potentially suitable for cultivation have been delimited: north-east of the province (where the plantation area is located) and two more southern areas around Ciudad Rodrigo and Tamames. pH values of all the points analysed are shown. The red dots correspond to those showing subalkaline pH.

melanosporum se ha extendido a países donde no se encuentra la especie de modo natural (Reyna y García-Barreda, 2014), muchos de ellos en el hemisferio sur, aún se descubren nuevas zonas, relativamente próximas a su hábitat silvestre, con gran potencial para ser aprovechadas en este sentido. Queda por confirmar la rentabilidad real mediante el establecimiento de plantaciones de mayor superficie y con fines económicos, así como estudiar la posible compaginación de esta actividad con los sistemas productivos de las "Dehesas perennifolias de *Quercus* spp." (Tipo de Hábitat de Interés Comunitario nº6310, Directiva UE 92/43), ya que podría conferir un gran valor añadido a estos bosques tan peculiares y tradicionales que dominan el oeste de la península ibérica.

Agradecimientos

Los autores quieren mostrar su entero y eterno agradecimiento a Rosa María Durán Cordovilla por su colaboración en este trabajo, en todos los anteriores y en todos los futuros.

También quieren agradecer a Luis Gómez Corona su empeño y ganas para que este proyecto salga adelante. Por último, desean expresar su agradecimiento a los revisores y a la editora que han mejorado la calidad de este manuscrito con sus acertadas sugerencias.

Referencias bibliográficas

Andrés-Alpuente A, Sánchez S, Martín M, Aguirre AJ, Barriuso JJ (2014). Comparative analysis of different methods for evaluating quality of *Quercus ilex* seedlings inoculated with *Tuber melanosporum*. Mycorrhiza 24: 29-37.

Chevalier G, Sourzat P (2012). Soils and techniques for cultivating *Tuber melanosporum* and *Tuber aestivum* in Europe. En: Edible Ectomycorrhizal mushrooms: Current knowledge and future prospects (Eds. Zambonelli A, Bonito GM), pp. 163-189. Springer Berlin Heidelberg, Berlin.

Cocina L, Barriuso JJ, Martín-Santafé M, Sánchez S (2013). A review of nurseries producing mycorrhizal plants in Spain and the world. 1st International Congress of Trufficulture. Tuber 2013, 5-8 de marzo, Teruel, España.

Colinas C, Capdevila JM, Oliach D, Fischer CR, Bonet JA (2007). Mapa de aptitud para el cultivo de la trufa negra (*Tuber melanosporum* Vitt.) en Catalunya. Centre Tecnològic Forestal de Catalunya, Solsona, España. 30 pp.

García-Barreda S, Reyna S, Pérez R, Rodríguez-Barreal JA, Domínguez JA (2012). Ecología de la trufa y las áreas truferas. En: Truficultura. Fundamentos y técnicas (Ed. Reyna S), pp. 151-206. Mundiprensa, Madrid, España.

García-Barreda S, Molina-Grau S, Reyna S (2017). Fertilisation of *Quercus* seedlings inoculated with *Tuber melanosporum*: Effects on growth and mycorrhization of two host species and two inoculation methods. IForest 10: 267-272.

García-Barreda S, Forcadell R, Sánchez S, Martín-Santafé M, Marco P, Camarero JJ, Reyna S (2018). Black truffle harvesting in Spanish forests: trends, current policies and practices, and implications on its sustainability. Environmental Management 61(4): 535-544.

García-Cunchillos I, Sánchez S, Barriuso JJ, Pérez-Collazos E (2014). Population genetics of the westernmost distribution of the glaciations-surviving black truffle *Tuber melanosporum*. Mycorrhiza 24: 89-100.

García-Montero LG, Casermeiro MA, Hernando J, Hernando I (2006). Soil factors that influence the fruiting of *Tuber melanosporum* (black truffle). Australian Journal of Soil Research 44: 731-738.

García-Rodríguez J (1994). Trufas y truficultura en España. I jornadas internacionales de truficultura. Asopiva, Abejar (Soria).

IGME (1994). Mapa geológico de la península ibérica, Baleares y Canarias. Escala 1:1.000.000 (MAGNA). Instituto Geológico y Minero de España.

ITACYL (2016). Suelos de Castilla y León. Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León. Disponible en: *http://suelos.itacyl.es* (Consultado: 29 mayo 2017).

Reyna S (2011). Sostenibilidad de la truficultura: aspectos ecológicos, económicos y sociales. En: Truficultura: fundamentos y técnicas (Ed. Reyna S), pp. 49-72. Mundiprensa, Madrid, España.

Reyna S, García-Barreda S (2014). Black truffle cultivation: a global reality. Forest Systems 23: 317-328.

Rodríguez JA, López M, Grau JM (2009). Metales pesados, materia orgánica y otros parámetros de los suelos agrícolas y pastos de España. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid, España. 225 pp.

Sánchez S, Ágreda T, Águeda B, Martín M, De Miguel AM, Barriuso J (2014). Persistence and detection of black truffle ectomycorrhizas in plantations: Comparison between two field detection methods. Mycorrhiza 24: 39-46.

Sánchez S, De Miguel AM, Sáez R, Martín-Santafé M, Águeda B, Barriuso J, García-Barreda S, Salvador-Alcalde D, Reyna S (2016). La trufa de verano en la península ibérica: estado actual y potencialidad de cultivo. ITEA-Información Técnica Económica Agraria 112: 20-33.

Santisteban JI, Martín-Serrano Á, Monteserín V (1993a). Memoria de la hoja 478 (Salamanca) Mapa Geológico de España E.1:50.000 (MAGNA). Instituto Tecnológico GeoMinero de España (IGME). 96 pp.

Santisteban JI, Martín-Serrano Á, Monteserín V, Díez-Balda MA, Nozal F (1993b). Mapa Geológico de la hoja 478 (Salamanca). Mapa Geológico de España E.1:50.000 (MAGNA). Instituto Tecnológico GeoMinero de España (IGME).

Serrano-Notivoli R, Incausa-Ginés A, Martín-Santafé M, Sánchez S, Barriuso-Vargas JJ (2015). Modelización espacial del hábitat potencial de la trufa negra (*Tuber melanosporum* Vittad.) en la provincia de Huesca (España). ITEA-Información Técnica Económica Agraria 111(3): 227-246.

(Aceptado para publicación el 21 de noviembre de 2018)

Efecto de biorreguladores del crecimiento sobre indicadores de calidad fisicoquímica en frutos de tomate cultivados en invernadero

R. Cano-Hernández[1], M.T. Martínez-Damián[1,*], E.C. Moreno-Pérez[1], F. Sánchez-Del Castillo[1], O. Cruz-Álvarez[2] y M.J. Rodríguez-Roque[2]

[1] Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Fitotecnia, ctra. México-Texcoco, km 38,5. C.P. 56230, Texcoco de Mora, Estado de México, México

[2] Universidad Autónoma de Chihuahua, Facultad de Ciencias Agrotecnológicas, Avda. Pascual Orozco s/n, Campus 1, Santo Niño. C.P. 31350, Chihuahua, México

Resumen

En el ciclo agrícola primavera-verano (abril-agosto) del año 2016 y en un invernadero perteneciente a la Universidad Autónoma Chapingo en México, se evaluó el efecto de la aplicación de biorreguladores del crecimiento (etefón, prohexadiona de calcio, yodo y selenito de sodio) con diferentes concentraciones sobre algunos indicadores de calidad en frutos de tomate. El diseño experimental fue completamente al azar. Los indicadores de calidad de fruto evaluados fueron color, peso, diámetro ecuatorial y polar, índice de redondez, firmeza, sólidos solubles totales, acidez titulable y contenido en licopeno. Se encontró que la aplicación de yodo afectó significativamente los componentes de color como la brillantez y tonalidad, así como al contenido de sólidos solubles totales. Por otro lado, la aplicación de prohexadiona de calcio incrementó el peso de fruto y el contenido de licopeno. Adicionalmente, el selenito de sodio resultó importante para la obtención de frutos con mayor firmeza y acidez. En general el uso de biorreguladores de crecimiento puede ser una alternativa útil para mejorar los indicadores fisicoquímicos de calidad del fruto que favorecen el manejo poscosecha y la vida útil del tomate.

Palabras clave: *Solanum lycopersicum* L., activador fisiológico, manejo agronómico, firmeza, índice de redondez, sólidos solubles totales, licopeno.

Effect of growth bioregulators on physicochemical quality indicators in tomato fruits grown in greenhouse

Abstract

In the spring-summer agricultural cycle (April-August) of 2016 and in a greenhouse belonging to the Chapingo Autonomous University in Mexico, the effect of the application of growth bioregulators (ethephon, calcium prohexadione, iodine and sodium selenite) was evaluated with different concentrations on some quality indicators in tomato fruits. The experimental design was completely random. The fruit quality indicators evaluated were color, weight, equatorial and polar diameter, roundness index, firmness, total soluble solids, titratable acidity and lycopene content. It was found that the application of iodine significantly affected the color components such as brightness and tonality, as well as the content of total so-

* Autor para correspondencia: teremd13@gmail.com

Cita del artículo: Cano-Hernández R, Martínez-Damián MT, Moreno-Pérez EC, Sánchez-del Castillo F, Cruz-Álvarez O, Rodríguez-Roque MJ (2019). Efecto de biorreguladores del crecimiento sobre indicadores de calidad fisicoquímica en frutos de tomate cultivados en invernadero. ITEA-Información Técnica Económica Agraria 115(2): 120-133. https://doi.org/10.12706/itea.2018.032

luble solids. On the other hand, the application of calcium prohexadione increased the fruit weight and the lycopene content. Additionally, sodium selenite was important for obtaining fruits with greater firmness and acidity. In general, the use of growth bioregulators can be a useful alternative to improve physicochemical indicators of fruit quality that favor postharvest handling and tomato life.

Keywords: *Solanum lycopersicum* L., physiological activator, agronomic management, firmness, roundness index, total soluble solids, lycopene.

Introducción

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es una de las hortalizas con mayor superficie cultivada a nivel mundial, representa el 30% de la producción hortícola (Cuesta y Mondaca, 2014) y es un ingrediente alimentario esencial, tanto en fresco como procesado (Kiferle *et al.,* 2013). Es importante señalar que, a pesar del incremento en la productividad de esta especie hortícola (Casierra-Posada y Aguilar-Avendaño, 2008), es muy frecuente la presencia de una serie de problemas poscosecha relacionados con daños mecánicos, condiciones inadecuadas de manipulación y almacenamiento, transporte y empaques incorrectos, así como por las características fisiológicas del fruto (Urrieta-Velázquez *et al.,* 2012; Carrillo-López y Yahia, 2014).

El nivel de aceptación entre los diversos productos hortofrutícolas se encuentra ampliamente correlacionado con sus características físicas externas (color, firmeza y apariencia visual) (Beckles, 2012), y en el caso del fruto de tomate, su mayor consumo se presenta cuando su epidermis ha cambiado a una tonalidad roja, pero sin observarse cambios excesivos en su textura (Cuesta y Mondaca, 2014), es por ello que el productor considera importante desde el punto de vista técnico y comercial, mantener o retrasar estos cambios el mayor tiempo posible (De la Rosa-Rodríguez *et al.,* 2016).

El tomate se caracteriza por ser un fruto perecedero, como consecuencia de su elevada producción interna de etileno, incrementando su sensibilidad a la aplicación exógena de este compuesto (Jiang *et al.,* 2011); por lo que se sugiere el uso de temperaturas de almacenamiento entre 10 y 12 °C (Padrón-Pereira *et al.,* 2012), por su efecto directo sobre la disminución del contenido de clorofila e incremento de licopeno, liberación de volátiles e hidrólisis de pectinas y hemicelulosas, así como en el desarrollo de pudriciones (López-Camelo *et al.,* 2003; Figueroa-Cares *et al.,* 2018), sin embargo, su uso es limitado, debido a que los mejores resultados se observan durante dos semanas, y el costo por el mantenimiento de infraestructura es elevado (Becvort-Azcurra *et al.,* 2012).

En la agricultura moderna, se ha incrementado el uso de reguladores del crecimiento (fitohormonas) de origen natural o sintético, lo cual se asocia con la realización de diversas prácticas agronómicas (control del crecimiento vegetativo, cuajado de fruto, incremento brotación de yemas florales, entre otros) (Ramírez *et al.,* 2010; Ozbay y Ergun, 2015) y son una herramienta complementaria que coadyuva al incremento en la productividad de los cultivos (Ramírez *et al.,* 2008), no obstante, existen otros compuestos (biorreguladores) que aplicados en bajas concentraciones promueven, inhiben o modifican el comportamiento de los procesos morfológicos y fisiológicos en las plantas (Dhall y Singh, 2013; Ramírez *et al.,* 2017), donde la maduración es uno de los procesos fisiológicos que más atención recibe, por su enorme impacto sobre las características intrínsecas de calidad de los productos hortofrutícolas durante su manejo poscosecha (Jiang *et al.,* 2011; De la Rosa-Rodríguez *et al.,* 2016).

En tomate existen diversas investigaciones relacionadas con la aplicación de biorreguladores del crecimiento (Ramírez *et al.,* 2012; Zhu *et al.,* 2016; Guardado-Félix *et al.,* 2017), en las que se abarca el uso de retardantes del crecimiento como la prohexadiona de calcio y etefón; activadores fisiológicos (yodo) y microminerales (selenito de sodio), en la que evalúa desde la interacción con la actividad hormonal, crecimiento vegetativo, homogeneidad en la cosecha, así como el desarrollo y maduración del fruto, no obstante, su evaluación se ha realizado de manera individual y con poca o nula información relacionada con el efecto conjunto que provocan sobre el proceso de maduración y el consiguiente demerito de la calidad del fruto.

El proceso de maduración es primordial debido a que determina las características relacionadas con la aceptación del consumidor, así como el tiempo de consumo del producto, siendo la madurez y el reblandecimiento los principales atributos de perecibilidad en las frutas climatéricas, dado que, al cabo de pocos días, se consideran no comestibles debido a la sobremaduración (Cuesta y Mondaca, 2014; Ozbay y Ergun, 2015). Es por todo lo anterior, que el objetivo de la presente investigación fue evaluar el efecto de la aplicación de biorreguladores del crecimiento (etefón, prohexadiona de calcio, yodo y selenito de sodio) con diferentes concentraciones sobre algunos indicadores fisicoquímicos de calidad en frutos de tomate.

Material y métodos

Biorreguladores de crecimiento ensayados

Se emplearon cuatro productos químicos comerciales con actividad biorreguladora del crecimiento, etefón (Ethrel 240®, Bayer CropScience LP, USA), prohexadiona de calcio (Apogee®, BASF, USA), yodo (Q-2000 Plus®, Quimcasa de México, S. A. de C.V., México) y selenito de sodio (Selenito de Sodio 45%®, Retorte, Alemania). De acuerdo con los fabricantes, estos productos son descritos como reguladores de crecimiento (etefón, y prohexadiona de calcio), activadores fisiológicos (yodo) y microminerales (selenito de sodio).

Material vegetal

Se utilizó el hibrido comercial de tomate de crecimiento indeterminado "Imperial 643" tipo bola (Enza Zaden Company). El ensayo se realizó durante los meses de abril-agosto de 2016 en un invernadero ubicado en el Campo Experimental "San Martín" de la Universidad Autónoma Chapingo, Estado de México, México (19° 29' 23" N y 98° 53' 24" O) a una altitud de 2240 metros sobre el nivel del mar y temperatura media anual de 15,9 °C.

Manejo del cultivo

La siembra se realizó en bandejas de poliestireno de 200 alveolos, utilizando como sustrato una mezcla de turba y vermiculita (90:10). Trascurridos 35 días se llevó a cabo el trasplante en canaletas con dimensiones de 25x1x0,6 m, rellenas con tezontle rojo con tamaño de partícula de 20-30 mm de diámetro, con una densidad de 8 plantas·m^{-2} conducidas a un solo tallo. El suministro de los elementos esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plántulas se efectuó de acuerdo con los parámetros que establece la solución de Steiner y complementada con micronutrientes (Steiner, 1984); donde el volumen de riego aplicado fue de 0,30-3,0 litros por planta de acuerdo a cada etapa fenológica y el control de temperatura fue manual, es decir, con la apertura y cierre de las ventanas laterales protegidas con malla antiáfidos. Para la realización de los análisis de laboratorio correspondientes, los frutos que se cosecharon fueron aquellos ubicados entre el segundo y

quinto racimo en el estado de madurez seis, es decir, cuando el fruto posee 90% de coloración roja (Choi *et al.,* 1995).

Diseño experimental

El experimento se estableció con un diseño experimental completamente al azar con diez repeticiones y la unidad experimental consistió de 8 plantas (1 m^2), en la que se realizaron dos aplicaciones foliares de biorreguladores de crecimiento a los 45 y 60 días después del trasplante, cuya concentración se describe en la Tabla 1, donde al tratamiento testigo no se le realizó ninguna aplicación. Con un fruto como unidad experimental y 10 repeticiones se evaluó el color, peso, diámetro polar y ecuatorial e índice de redondez del fruto. Por otro lado, para firmeza, sólidos solubles totales, acidez titulable y licopeno se emplearon 3 repeticiones con 2 frutos por repetición.

Tabla 1. Biorreguladores de crecimiento aplicados en frutos de tomate cultivados en invernadero.
Table 1. Growth regulators applied in tomato fruits grown in greenhouse.

Biorreguladores de crecimiento	Concentración			Ingrediente activo
Etefón ($ml \cdot l^{-1}$)	0,8	1,2	1,6	Etefón 27%
[y]Pro-Ca ($mg \cdot l^{-1}$)	50	100	200	Calcio 3-oxido-5-oxo-4-propionilciclohex-3-enecarboxílico
Yodo ($ml \cdot l^{-1}$)	1	3	5	Yodo libre 1,5%
SS ($mg \cdot l^{-1}$)	75	125	175	Selenito de sodio 45%

[y]Pro-Ca: prohexadiona de calcio; SS: selenito de sodio.

Indicadores evaluados

Color del fruto

Se determinó sobre la epidermis en la parte ecuatorial del fruto mediante espectrofotómetro portátil de esfera X-Rite (SP-62®, USA), obteniendo las coordenadas de color CIE 1976 (L*a*b) (Voss, 1992). Posteriormente se analizó las diferencias entre los tratamientos en las otras coordenadas CIELab; la cromaticidad [$C^* = (a^2+b^2)^{1/2}$], ángulo de tonalidad o "Hue" [$h^* = \arctan(b^*a^{-1})$] y la luminosidad o brillantez (L*).

Peso de fruto

Se obtuvo mediante una balanza electrónica digital Scout® Pro SP602 (OHAUS, USA), con capacidad de 0,6 kg y aproximación de 0,01 g. Los resultados se expresaron en gramos (g).

Diámetro polar y ecuatorial

Se determinaron con la ayuda de pie de rey modelo CAL-6MP de acero con longitud de 6" (Truper®, México), sobre el plano polar y ecuatorial del fruto. Los resultados se expresaron en mm.

Índice de redondez

Con los datos de diámetro polar y ecuatorial, el índice de redondez se calculó con la siguiente expresión: $IR=\frac{dp}{de}$, donde dp y de son el diámetro polar y ecuatorial, respectivamente. Los resultados se reportan de forma adimensional.

Firmeza

Se determinó en la zona ecuatorial del fruto, en la que se empleó un texturómetro digital Compact Gauge (Mecmesin CE®, USA) fijado en una mesa con puntal en forma de cono con diámetro y altura de 9 mm, registrándose la lectura en Newtons (N), que es la fuerza aplicada hasta la penetración del puntal.

Sólidos solubles totales

Se cuantificaron con refractómetro digital portátil PAL-1 (ATAGO®, USA), el cual utiliza un rango de 0-53 °Brix.

Acidez titulable

Se determinó de acuerdo con la metodología propuesta por la AOAC (AOAC, 1990). La acidez de 20 g de pulpa se valoró con una solución de Hidróxido de Sodio a una concentración 0,1 N, en la que se empleó fenolftaleína al 1% como indicador. Los resultados se reportaron en% de ácido cítrico (ácido predominante en la pulpa de tomate).

Licopeno

La concentración de licopeno fue cuantificada según el método modificado por Sadler *et al*. (1990): se homogeneizaron 20 g de pulpa con agua destilada, las mezclas obtenidas se colocaron en frascos cubiertos con papel aluminio y secadas a 38 °C. Se colocó 0,1 g de la pasta en tubos de ensayo cubiertos con papel aluminio, se les adicionaron 30 ml de una mezcla de hexano/etanol/acetona en la proporción 2:1:1 y se agitaron durante 10 minutos. Se adicionaron 18 ml de agua destilada y se volvió a agitar durante 5 minutos, separándose la mezcla en dos fases, acuosa y orgánica. Con matraces de separación se tomó y midió el volumen de la fase orgánica, determinando el contenido de licopeno mediante espectrofotometría a una longitud de onda de 470 nm. Se utilizó la fórmula de Inbaraj y Chen (2008) y los resultados se expresaron en mg·100 g^{-1} de peso fresco.

Análisis estadístico

A los datos obtenidos se les verificó la normalidad y homogeneidad de varianzas mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov y Bartlett, respectivamente (Sokal y Rohlf, 1995). Posteriormente se realizó el análisis de varianza de clasificación simple y comparación múltiple de medias a través de la prueba Tukey a una probabilidad del 5% ($p \leq 0,05$), con la ayuda del paquete de análisis estadístico SAS v9.0 (SAS Institute, 2004).

Resultados y discusión

Color

Brillantez

De acuerdo con la comparación de medias de los valores correspondientes con el componente brillantez (L*) de color, se pudo observar significancia entre los tratamientos aplicados (Tabla 2). En el tratamiento de 1 ml·l^{-1} de yodo (Y1) se encontraron los frutos con mayor valor medio de L* (37,87), lo que de acuerdo con Padrón-Pereira *et al.* (2012) coincide con la presencia de frutos con tonalidad roja intensa y adecuados para su consumo en fresco, no obstante, su comportamiento fue similar a lo mostrado cuando se aplicaron 1,6 ml·l^{-1} de etefón (E3), 50 y 200 mg·l^{-1}

Tabla 2. Color, peso y firmeza de frutos de tomate sometidos a tratamientos con biorreguladores.
Table 2. Color, weight and firmness of tomato fruits subjected to treatments with bioregulators.

Tratamiento	Color			Peso de fruto (g)	Firmeza (N)
	Brillantez (L*)	Cromaticidad (C*)	Hue (°) (h*)		
E1	31,30 b	30,75	63,24 b	115,10 bac	1,26 dc
E2	32,86 ba	31,25	59,16 b	138,00 ba	1,06 dc
E3	32,13 b	33,71	60,59 b	138,45 ba	0,96 d
P-Ca 1	33,36 ba	34,71	68,01 ba	101,98 bc	1,11 dc
P-Ca 2	32,48 b	33,61	64,75 b	102,68 bc	1,37 dc
P-Ca 3	32,73 ba	34,84	66,51 b	150,85 a	2,56 ab
Y1	37,87 a	34,11	85,54 a	104,20 bc	1,69 dc
Y2	34,43 ba	30,04	69,64 ba	119,51 bac	1,68 dc
Y3	32,29 b	31,50	72,60 ba	142,72 ba	1,67 dc
SS1	29,73 b	33,28	66,85 b	77,72 c	1,46 dc
SS2	32,60 b	31,87	61,85 b	106,68 bac	1,77 bc
SS3	31,50 b	34,02	65,60 b	112,14 bac	2,75 a
T	31,61 b	32,09	60,29 b	98,45 bc	1,32 dc
DMSH	5,19 b	8,76	18,63	45,90	0,79

Etefón = E($ml \cdot l^{-1}$): E1(0,8); E2(1,2); E3(1,6). Prohexadiona de calcio = P-Ca($mg \cdot l^{-1}$): P-Ca1(50); P-Ca2(100); P-Ca3(200). Yodo = Y($ml \cdot l^{-1}$): Y1(1); Y2(3); Y3(5). Selenito de sodio = SS($mg \cdot l^{-1}$): SS1(75); SS2(125); SS3(175). Testigo = T. DMSH: diferencia mínima significativa honesta. *Medias con igual letra dentro de la misma columna son estadísticamente iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

de prohexadiona de calcio (P-Ca1 y P-Ca3) y 3 $ml \cdot l^{-1}$ de yodo (Y2) siendo la dosis baja e intermedia de este último las que presentaron los valores más altos para esta variable. En este sentido Casierra-Posada y Aguilar-Avendaño (2008) y Carrillo-López y Yahia (2014) indican que, durante el proceso de maduración del fruto de tomate, el primer compuesto sintetizado es el fitoeno (incoloro) para posteriormente dar lugar a la síntesis y acumulación de licopeno (rojo), momento que coincide con la disminución de la brillantez del color rojo (Becvort-Azcurra *et al.,* 2012). El comportamiento de los valores observados para frutos coincide con el estudio de López-Camelo *et al.* (2003), donde, en estudios de tomate variedad 'Tommy', los valores de L* no se vieron afectados por los tratamientos de reguladores del crecimiento como el etefón.

Cromaticidad (C) y Hue (h*)*

La cromaticidad y ángulo hue evaluados como pureza y tonalidad de color, respectivamente, son de manera frecuente considerados por el consumidor final como parámetros de calidad durante la selección de cualquier producto hortofrutícola. En la Tabla 2 se muestran los datos correspondientes con la pureza de color (Cromaticidad C*) y ángulo hue (tonalidad de color h*). La cromaticidad no presento variación significativa ($P \leq 0,05$), sus valores fluctuaron entre 30,04 y 34,84. De acuerdo con Padrón-Pereira *et al.* (2012), los valores de este componente de color indican propiamente el grado de pureza de cierto color, y su valor va de 0 a 100, de donde se desprende que nuestros datos son bajos y representan un tercio del valor máximo deseado. Por otro lado, en tomates con el tratamiento de 1 $ml \cdot l^{-1}$· de yodo (Y1) se observó el valor estadísticamente más alto de tonalidad de color del fruto (h* = 85,54°), sin embargo, no superó a lo mostrado por el tratamiento de 50 $mg \cdot l^{-1}$ de prohexadiona de calcio (P-Ca1), así como al resto de los tratamientos de yodo, Y2 y Y3 (3 y 5 $ml \cdot l^{-1}$), con valores de 68,0°; 69,64° y 72,60°, respectivamente. En contraste García-Osuna *et al.* (2014), en un estudio realizado en *Opuntia ficus-indica* L., mencionan no haber encontrado interacción entre la aplicación de yodo a una concentración de 10^{-4} M y el desarrollo de las características de color. Por su parte, Kiferle *et al.* (2013) al evaluar la calidad de fruto de tomate 'SUN7705' a la aplicación externa de yoduro de potasio (KI) y yodato de potasio (KIO_3) mencionan no haber encontrado una alteración en la apariencia visual (entre ellos el color), así como tamaño y forma del fruto. La variación entre resultados puede estar asociado según Ramírez *et al.* (2008) con la duración del período de tiempo entre la aplicación del producto químico y la evaluación de su efecto, ya que por ejemplo la prohexadiona de calcio requiere un mínimo de 8 horas para una máxima absorción (Ramírez *et al.,* 2012).

Peso de fruto

Con la aplicación de 200 $mg \cdot l^{-1}$ de prohexadiona de calcio (P-Ca3) se pudieron encontrar diferencias ($p \leq 0,05$) con relación al peso de fruto con un valor medio de 150,85 g, no obstante, con excepción del tratamiento Y1 [la dosis baja de yodo (1 $ml \cdot l^{-1}$)], SS1 (selenito de sodio a 75 $mg \cdot l^{-1}$) y testigo, su comportamiento fue similar con el resto de tratamientos aplicados (Tabla 2). En contraste, Chang (2016) en un estudio realizado con relación a la influencia de prohexadiona de calcio sobre el crecimiento y calidad de fruto de guayaba 'Jen-Ju Bar' no reportan efecto sobre el peso de fruto, lo que según Privé (2006) puede estar relacionado con la inhibición en el crecimiento de brotes y la constante competencia entre el crecimiento vegetativo y reproductivo, donde la aplicación de riego puede reducir la eficacia de este tratamiento (Ramírez *et al.,* 2008). En frutos como la uva (*Vitis vinifera* L.) 'Shiraz' Ramírez *et al.* (2017) no encontraron variación con respecto al peso de fruto, sin embargo, estos mismos autores indican que la etapa fenológica en que la P-Ca se aplica si puede influir en ésta característica física del fruto. Al respecto, Ramírez *et al.* (2012) indican que cuando la aplicación de prohexadiona de calcio se realiza durante el periodo de floración, se presenta un bloqueo en la síntesis de giberelinas lo que induce una reducción en el tamaño y peso del producto cosechado.

Firmeza

La aplicación de 175 $mg \cdot l^{-1}$ de selenito de sodio (SS3) y 200 $mg \cdot l^{-1}$ de prohexadiona de calcio (P-Ca3) indujeron la producción de frutos con la mayor firmeza entre todos los biorreguladores utilizados, con valores medios de 2,75 y 2,56 N, respectivamente (Tabla 2). Adicionalmente, el tratamiento de etefón (1,6 $ml \cdot l^{-1}$) fue el que reportó el valor más bajo (0,96 N). Por su parte, Carra *et al.* (2017) in-

dican en la variedad de peral 'Smith' que la aplicación de prohexadiona de calcio no afecto al comportamiento de la firmeza de los frutos almacenados en condiciones de frío. Urrieta-Velázquez *et al.* (2012) mencionan que por sus características morfológicas, el fruto de tomate presenta valores de firmeza que son considerados bajos con respecto a frutos de otras especies, sin embargo, pueden incrementarse mediante aspersiones foliares de calcio o cosechando en las primeras etapas de maduración y que esto permita soportar el manejo poscosecha (Casierra-Posada y Aguilar-Avendaño, 2008; Ramírez *et al.,* 2010), tal como se observó en el comportamiento encontrado para los tratamientos de prohexadiona de calcio.

Diámetro ecuatorial

La determinación del diámetro ecuatorial del fruto se considera de primordial relevancia, debido a que es una característica que influye directamente sobre el patrón característico de cada variedad de productos hortofrutícolas (Figueroa-Cares *et al.,* 2018). En este trabajo, la aplicación de 200 mg·l^{-1} de prohexadiona de calcio (P-Ca3) mostró el valor más alto (70,56 mm) con relación a esta característica del fruto, el cual supero a los tratamientos de selenito de sodio (SS1, SS2 y SS3) y al testigo (T), cuyos valores fluctuaron entre 56,34 y 62,12 mm (Tabla 3). Por su parte, Ramírez *et al.* (2017) indican no haber encontrado valores significativos relacionados con el diámetro de fruto de uva (*Vitis vinífera* L.) 'Shiraz' con la aplicación de 100 a 300 mg·l^{-1} de prohexadiona de calcio. Comportamiento similar es reportado por Carra *et al.* (2017), al aplicar dosis de prohexadiona de calcio que fluctuaron entre 100-400 mg·l^{-1} de prohexadiona de calcio en pera (*Pyrus calleryana* Decne) variedad 'Smith'.

Diámetro polar

Como se observa en la Tabla 3, la aplicación de 5 ml·l^{-1} de yodo (Y3) favoreció un incremento significativo en el diámetro polar de los frutos con 54,23 mm, sin embargo, con excepción de la dosis baja de selenito de sodio (SS1) (75 mg l^{-1}) (45,64 mm) y al testigo (T) (48,35 mm), no supero estadísticamente al resto de los tratamientos, cuyos valores fluctuaron entre 48,86 y 52,71 mm. En este sentido, Cortés-Flores *et al.* (2016) indican que el yodo no tiene una función específica en las plantas, no obstante, induce una mayor presencia de antioxidantes y aporta un aumento en la tolerancia a algunos factores adversos. Por su parte, Becvort-Azcurra *et al.* (2012) al realizar la aplicación de selenio (10 y 20 mg·l^{-1}) en plantas de tomate y evaluar su efecto sobre su productividad, reportan un incremento en la concentración de selenio en hoja y tallo, sin embargo, no encontraron un incremento en la producción de fruto y específicamente un efecto sobre sus características físicas (tamaño y forma). En *Vitis vinífera* L., variedad 'Shiraz', Ramírez *et al.* (2017) indican que la aplicación de retardantes de crecimiento, como la prohexadiona de calcio, no afecta el diámetro polar del fruto, contrario a lo que se observa en este estudio.

Índice de redondez

El uso de biorreguladores del crecimiento no provocó variación estadística significativa ($p \leq 0,05$) sobre el índice de redondez (Tabla 3) y todos los frutos presentaron forma achatada, es decir, con índice de redondez que fluctuó entre 0,74 y 0,81 (<1). En contraste, Figueroa *et al.* (2018) reportan haber encontrado variación en este indicador, al ser determinado en frutos de tomate del tipo arriñonado y cereza, no obstante, esta variación

Tabla 3. Diámetro ecuatorial y polar e índice de redondez de frutos de tomate sometidos a tratamientos con biorreguladores.
Table 3. Equatorial and polar diameter and roundness index of tomato fruits subjected to treatments with bioregulators.

Tratamiento	Diámetro ecuatorial (mm)	Diámetro polar (mm)	Índice de redondez
E1	65,30 ba	52,03 ba	0,80
E2	62,90 bac	49,28 bac	0,78
E3	69,23 ba	51,69 ba	0,75
P-Ca1	62,83 bac	49,48 bac	0,79
P-Ca2	62,79 bac	50,16 bac	0,80
P-Ca3	70,56 a	52,71 ba	0,74
Y1	63,35 bac	48,86 bac	0,77
Y2	63,75 bac	49,85 bac	0,78
Y3	68,52 ba	54,23 a	0,79
SS1	56,34 c	45,64 c	0,81
SS2	61,92 bc	49,93 bac	0,80
SS3	62,12 bc	50,73 bac	0,81
T	61,53 bc	48,35 bc	0,79
DMSH	8,14	5,87	0,07

Etefón = E($ml \cdot l^{-1}$): E1(0,8); E2(1,2); E3(1,6). Prohexadiona de calcio = P-Ca($mg \cdot l^{-1}$): P-Ca1(50); P-Ca2(100); P-Ca3(200). Yodo = Y($ml \cdot l^{-1}$): Y1(1); Y2(3); Y3(5). Selenito de sodio = SS($mg \cdot l^{-1}$): SS1(75); SS2(125); SS3(175). Testigo = T. DMSH: diferencia mínima significativa honesta. Medias con igual letra dentro de la misma columna son estadísticamente iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

según los autores se asoció con las características morfológicas de cada tipo de tomate, más que por efecto ambiental. En este sentido, Montoya-Holguin *et al.* (2014) indican que al ser una variable compuesta por variables relativamente estables como son el diámetro ecuatorial y polar, su comportamiento se encuentra poco influenciado por el ambiente, sino más bien por el genotipo.

Sólidos solubles totales

Como se aprecia en el Tabla 4, el comportamiento del contenido de sólidos solubles totales fue similar entre tratamientos, con excepción de los frutos sometidos con 0,8 $ml \cdot l^{-1}$ de etefón (E1) que fue el valor más bajo con 4,41 °Brix, no obstante, se precisa cierto valor sobresaliente con la aplicación de yodo a

Tabla 4. Concentración de sólidos solubles, acidez titulable y licopeno en frutos de tomate sometidos a tratamientos con biorreguladores.
Table 4. Concentration of soluble solids, titratable acidity and lycopene in tomato fruits subjected to treatments with bioregulators.

Tratamiento	Sólidos solubles totales (°Brix)	Acidez titulable (% ácido cítrico)	Licopeno (mg·100 g^{-1})
E1	4,41 b	0,17 g	9,44 i
E2	4,64 ba	0,18 gf	9,80 ih
E3	4,68 ba	0,23 e	14,99 ed
P-Ca1	4,53 ba	0,28 cb	20,61 a
P-Ca2	4,57 ba	0,26 cd	10,61 h
P-Ca3	4,47 ba	0,29 b	13,81 gf
Y1	4,88 ba	0,19 gf	9,91 ih
Y2	4,94 a	0,20 f	19,58 b
Y3	4,80 ba	0,24 ed	19,32 b
SS1	4,60 ba	0,18 gf	14,33 ef
SS2	4,62 ba	0,36 a	15,83 d
SS3	4,78 ba	0,26 cd	12,99 g
T	4,55 ba	0,1 gf	17,48 c
DMSH	0,51	0,02	0,91

Etefón = E(ml·l^{-1}): E1(0,8); E2(1,2); E3(1,6). Prohexadiona de calcio = P-Ca(mg·l^{-1}): P-Ca1(50); P-Ca2(100); P-Ca3(200). Yodo = Y(ml·l^{-1}): Y1(1); Y2(3); Y3(5). Selenito de sodio = SS(mg·l^{-1}): SS1(75); SS2(125); SS3(175). Testigo = T. DMSH: diferencia mínima significativa honesta. Medias con igual letra dentro de la misma columna son estadísticamente iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

una concentración de 3 ml·l^{-1} (Y2) con 4,96 °Brix. En contraste, Kiferle *et al.* (2013) indican que al evaluar el efecto de la concentración de yoduro de potasio (KI) y yodato de potasio (KIO_3) con dosis que fluctuaron entre 1-5,0 mM y 0,5-2,0 mM, respectivamente, sobre la calidad de fruto de tomate 'SUN7705', encontraron una disminución progresiva en la concentración de °Brix, sin embargo, también mencionan una ligera variación en su concentración al final de la evaluación producto de la translocación del K^+ vía floema. En contraste, Dhall y Singh (2013) al evaluar diferentes concentraciones de etefón (500, 1000 y 1500 ppm) reportan un incremento lento pero constante en el contenido de sólidos solubles totales durante el proceso de maduración, no obstante, al ser los azucares un componente primordial en el proceso de respiración, ésta acumulación de sólidos solubles totales decayó.

Acidez titulable

La concentración de ácidos orgánicos durante el proceso de maduración constituye uno de

los principales indicativos del sabor característico de los productos hortofrutícolas. En este trabajo la aplicación de 125 mg·l^{-1} de selenito de sodio (SS2) ha mostrado la mayor acumulación de ácido cítrico de los frutos con un valor medio de 0,36% de ácido cítrico (Tabla 4). Los niveles de acidez observados en los diferentes tratamientos fluctuaron entre 0,1% y 0,29% de ácido cítrico, siendo el testigo el que presentó la menor acidez. Con respecto a estos resultados, Smole *et al.* (2016) indican que el selenito de sodio al ser absorbido, es transformado en diferentes formas orgánicas de selenio y acumulado en las raíces, como consecuencia de su baja movilidad en xilema, por lo que estos resultados corroboran lo reportado en otros trabajos, donde se menciona que tanto la aplicación vía foliar y a través de la solución nutritiva, se correlaciona con el incremento de su concentración en tejido en diversos cultivos (Ramos *et al.,* 2010; Guardado-Félix *et al.,* 2017), entre ellos el tomate (Zhu *et al.,* 2016). En este sentido, Palencia *et al.* (2016) en fresa 'Splendor' reportan un incremento significativo de los valores medios de acidez titulable, cuando se realizaron aplicaciones de selenio tanto de manera foliar como al sustrato.

Licopeno

El contenido de licopeno de los frutos analizados mostró valores que fluctuaron entre 9,44 y 20,61 mg·100 g^{-1} (Tabla 4), donde la aplicación de 50 mg·l^{-1} de prohexadiona de calcio (P-Ca1) fue el tratamiento más sobresaliente. Al respecto, Ramírez *et al.* (2012) al evaluar la aplicación foliar de 125, 175 y 200 mg·l^{-1} de prohexadiona de calcio en tomate 'Floradade' reportan un incremento en el contenido de licopeno con valores de 19 µg·g^{-1}; los autores indican que el resultado más claro se observó cuando los frutos habían iniciado su proceso de maduración, lo cual sugiere un efecto directo en la inhibición en la síntesis de giberelinas (Ozbay y Ergun, 2015), lo cual convierte a la prohexadiona de calcio como alternativa en el manejo agronómico que permite un incremento en la acumulación de licopeno como un importante compuesto antioxidante que coadyuva en el cuidado de la salud. En rosal (*Rosa hybrida* L.) Schmitzer *et al.* (2012) reportan un efecto positivo de la aplicación de prohexadiona de calcio sobre los pétalos, con referencia al desarrollo de los parámetros de color y los contenidos de flavonoles específicamente las antocianinas, donde además también se indica un efecto benéfico sobre el comportamiento del proceso de senescencia durante su manejo poscosecha (Ramírez *et al.,* 2010; Chang, 2016).

Conclusiones

El uso de diversos biorreguladores del crecimiento parece afectar la calidad fisicoquímica en los frutos de tomate, sin embargo, los mejores resultados se obtuvieron con la aplicación de yodo, el cual permitió un incremento en la brillantez y tonalidad de color, manteniendo sin cambios la pureza de color, de igual manera sobre la concentración de sólidos solubles totales. Por otro lado, la prohexadiona de calcio permitió un incremento en el peso de fruto, diámetro ecuatorial y concentración de licopeno. Adicionalmente las plantas con frutos con mayor firmeza y acidez fueron observadas con la aplicación de selenito de sodio.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad Autónoma Chapingo (UACh) y a la Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH) por los apoyos técnico y administrativo otorgados para la realización de esta investigación. Así

mismo, el primer autor agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada para la obtención del grado de Doctor en Ciencias en Horticultura.

Referencias bibliográficas

AOAC (1990). Official Methods and Analysis, 14th. Ed. AOAC International, VA, EE. UU. 1006 pp.

Beckles DM (2012). Factors affecting the postharvest soluble solids and sugar content of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruit. Postharvest Biology and Technology 63: 129-140.

Becvort-Azcurra A, Fuentes-Lara LO, Benavides-Mendoza A, Ramírez H, Robledo-Torres V, Rodríguez-Mendoza MN (2012). Aplicación de selenio en tomate: crecimiento, productividad y estado antioxidante del fruto. Terra Latinoamericana 30(4): 291-301.

Carra B, Spagnol D, Sozo-de Abreu E, Da Silveira-Pasa M, Pereira-da Silva C, Hellwing, CG, Fachinello JC (2017). Prohexadione calcium reduces vegetative growth and increases fruit set of 'Smith' pear trees, in Southern Brazil. Bragantia 76: 360-371.

Carrillo-López A, Yahia EM (2014). Changes in color-related compounds in tomato fruit exocarp and mesocarp during ripening using HPLC-APcI^{+}-mass Spectrometry. Journal of Food Science and Technology 51: 2720-2726.

Casierra-Posada F, Aguilar-Avendaño O (2008). Calidad en frutos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cosechados en diferentes estados de madurez. Agronomía Colombiana 26: 300-307.

Chang PT (2016). Influence of Prohexadione-Calcium on the growth and quality of summer 'Jen-Ju Bar' guava fruit. Journal of Plant Growth Regulation 35: 980-986.

Choi K, Lee G, Han YJ, Bunn JM (1995). Tomato maturity evaluation using color image analysis. Transactions of the ASAE 38: 171-176.

Cortés-Flores C, Rodríguez-Mendoza MN, Benavides-Mendoza A, García-Cué JL, Tornero-Campante M, Sánchez-García P (2016). El yodo aumenta el crecimiento y la concentración de minerales en plántulas de pimiento morrón. Agrociencia 50: 747-758.

Cuesta G, Mondaca E (2014). Efecto de un biorregulador a base de auxinas sobre el crecimiento de plantines de tomate. Revista Chapingo Serie Horticultura 20: 215-222.

De la Rosa-Rodríguez R, Lara-Herrera A, Lozano-Gutiérrez J, Padilla-Bernal LE, Avelar-Mejía, J, Castañeda-Miranda R (2016). Rendimiento y calidad de tomate en sistemas hidropónicos abierto y cerrado. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 17: 3439-3452.

Dhall RK, Sing P (2013). Effect of ethephon and ethylene gas on ripening and quality of tomato (*Solanum Lycopersicum* L.) during cold storage. Journal of Nutrition & Food Sciences 3: 244.

Figueroa-Cares IE, Cruz-Álvarez O, Martínez-Damián MT, Rodríguez-Pérez JE, Colinas-León MT, Valle-Guadarrama S (2018). Calidad nutricional y capacidad antioxidante en variedades y genotipos nativos de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.). Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ) 35: 63-84.

García-Osuna HT, Benavides-Mendoza A, Rivas-Morales C, Morales-Rubio E, Verde-Star J, Miranda-Ruvalcaba R (2014). Iodine application increased ascorbic acid content and modified the vascular tissue in *Opuntia ficus-indica*. Pakistan Journal of Botany 46: 127-134.

Guardado-Félix D, Serna-Saldivar SO, Cuevas-Rodríguez EO, Jacobo-Velázquez DA, Gutiérrez-Uribe JA (2017). Effect of sodium selenite on isoflavonoid contents and antioxidant capacity of chickpea (*Cicer arietinum* L.) sprouts. Food Chemistry 226: 69-74.

Inbaraj BS, Chen BH (2008). Carotenoids in tomato plants. En: Tomatoes and tomato products: nutritional, medicinal and therapeutic properties (Ed. Preedy V, Watson R), pp. 133-164. Science Publishers, Enfield, NH, USA.

Jiang TM, Wang P, Yin XR, Zhang B, Xu CJ, Li X, Chen KS (2011). Ethylene biosynthesis and expression of related genes in loquat fruit at different developmental and ripening stages. Scientia Horticulturae 130: 452-458.

Kiferle C, Gonzali S, Holwerda TH, Real R, Perata P (2013). Tomato fruits: a good target for iodine biofortification. Frontier in Plant Science 4: 205.

López-Camelo AL, Gómez P, Artés F (2003). Use of a* and b* colour parameters to assess the effect of some growth regulators on carotenoid biosynthesis during postharvest tomato ripening. Acta Horticulturae 599: 305-308.

Montoya-Holguin C, Cortés-Osorio JA, Chaves-Osorio JA (2014). Sistema automático de reconocimiento de frutas basado en visión por computador. Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería 22: 504-516.

Ozbay N, Ergun N (2015). Prohexadione calcium on the growth and quality of eggplant seedlings. Pesquisa Agropecuária Brasileira 50: 932-938.

Padrón-Pereira CA, Padrón-León GM, Montes-Hernández AI, Oropeza-González RA (2012). Determinación del color en epicarpio de tomates (*Lycopersicum esculentum* Mill.) con sistema de visión computarizada durante la maduración. Agronomía Costarricense 36: 97-111.

Palencia P, Martínez F, Burducea M, Oliveira JA, Giralde I (2016). Efectos del enriquecimiento con selenio en SPAD, calidad de la fruta y parámetros de crecimiento de plantas de fresa en un sistema de cultivo sin suelo. Revista Brasileira de Fruticultura 38: 202-212.

Privé JP, Cline J, Fava E (2006). Influence of prohexadione calcium (Apogee®) on shoot growth of non-bearing mature apple trees in two different growing regions. Canadian Journal of Plant Science 86: 227-233.

Ramírez H, Herrera-Gámez B, Méndez-Quiroa YH, Benavides-Mendoza A, De la cruz-Breton JA, Álvarez-Mares V, Rancaño-Arrioja JH, Villareal-Quintanilla JA (2008). Prohexadiona de calcio disminuye el contenido de giberelinas endógenas en ápices de tomate saladette y chile pimiento. Revista Chapingo Serie Horticultura 14: 193-198.

Ramírez H, Amado-Ramírez C, Benavides-Mendoza A, Robledo-Torres V, Martínez-Osorio A (2010). Prohexadiona-Ca, AG_3, ANOXA y BA modifican indicadores fisiológicos y bioquímicos en chile Mirador. Revista Chapingo Serie Horticultura 16: 83-89.

Ramírez H, Leza PC, Rivera CE, Amado C, Benavides A, Herrera B, Martínez A, Méndez O (2012). Prohexadione-Ca reduces plant height, improves yield and fruit quality on solanaceous crops. Acta Horticulturae 936: 457-462.

Ramírez H, Álvarez-Maldonado VM, Aguilar CN, Wong-Paz JE, Zermeño-González A, Vázquez-Badillo ME, Zavala-Ramírez MG, Mendoza-Castellanos J (2017). La prohexadiona-Ca aumenta rendimiento y contenido de antioxidantes en vid cultivar Shiraz. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 4: 13-20.

Ramos SJ, Faquin V, Guilherme LRG, Castro EM, Ávila FW, Carvalho GS, Bastos CEA, Oliveira C (2010). Selenium biofortification and antioxidant activity in lettuce plants fed with selenate and selenite. Plant Soil and Environment 56: 584-588.

SAS Institute (2004). SAS/STAT User's Guide Release 9.0. Statistical Analysis Institute, Cary, North Carolina, USA.

Sadler G, Davis J, Dezman D (1990). Rapid extraction of lycopene and β-carotene from reconstituted tomato paste and pink grapefruit homogenates. Journal of Food Science 55: 1460-1461.

Schmitzer V, Veberic R, Stampar F (2012). Prohexadione-Ca application modifies flavonoid composition and color characteristics of rose (*Rosa hybrida* L.) flowers. Scientia Horticulturae 146: 14-20.

Smoleń S, Skoczylas L, Ledwożyw-Smoleń I, Rakoczy R, Liszka-Skoczylas M, Kopeć A, Piątkowska E, Bieżanowska-Kopeć R, Koronowicz A, Kapusta-Duch J, Sady W (2016). The quality of carrot (*Daucus carota* L.) cultivated in the field depending on iodine and selenium fertilization. Folia Horticulturae 28: 151-164.

Sokal RR, Rohlf FJ (1995). Biometry. The principles and practice of statistics in biological research. 3rd. Ed. W.H. Freeman and Company. New York, USA. 887 pp.

Steiner AA (1984). The universal nutrient solution. Proceedings 6th International Congress on Soilles Culture, 20 abril-5 mayo, Wageningen, The Netherlands, pp. 883.

Urrieta-Velázquez JA, Rodríguez-Mendoza MN, Ramírez-Vallejo P, Baca-Castillo GA, Ruiz-Posada, LM, Cueto-Wong JA (2012). Variables de producción y calidad de tres selecciones de jitomate de costilla (*Solanum lycopersicum* L.). Revista Chapingo Serie Horticultura 18: 371-381.

Voss DH (1992). Relating colorimeter measurement of plant color to the *Royal Horticultural Society Color Charts*. HortScience 27: 1256-1260.

Zhu Z, Chen Y, Zhang X, Li M (2016). Effect of foliar treatment of sodium selenate on postharvest decay and quality of tomato fruits. Scientia Horticulturae 198: 304-310.

(Aceptado para publicación el 22 de noviembre de 2018)

Caracterización económico-productiva del sistema bovino doble propósito en tres regiones tropicales de México

Y. Bautista-Martínez[1,*], J.G. Herrera-Haro[2], J.A. Espinosa-García[3], F.E. Martínez-Castañeda[4], H. Vaquera-Huerta[2], A. Morales[5] y G. Aguirre-Guzmán[1]

[1] Universidad Autónoma de Tamaulipas, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Km 5 Carretera Cd. Victoria – Mante, Cd. Victoria, Tamaulipas, México
[2] Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Km 36,5 Carretera México-Texcoco. Edo. México, México
[3] Centro Nacional de Investigación en Fisiología y Mejoramiento Animal, Carretera a Colon Km. 1, Ajuchitlan Querétaro, México
[4] Universidad Autónoma del Estado de México. Carretera Toluca-Atlacomulco km. 14,5, Toluca. Edo. México, México
[5] Universidad de Wisconsin-Madison, Madison Wisconsin, Estados Unidos de América

Resumen

El objetivo de este estudio fue determinar las características productivas, indicadores económicos, índice de adopción de tecnología y la relación entre ellos, en unidades de producción en bovinos de doble propósito. La investigación se desarrolló en tres regiones del trópico mexicano (Tabasco, Chiapas y Sinaloa), en 30 unidades de producción del sistema doble propósito, elegidos con muestreo aleatorio, se estableció un sistema de registros que incluyó variables productivas, prácticas de manejo y erogaciones del proceso de producción. Con un análisis de varianza se detectaron diferencias en las variables productivas e indicadores económicos entre regiones y un análisis de regresión fue utilizado para medir la relación del índice de adopción tecnológica con las variables de desempeño económico. La producción promedio de leche por vaca y día fue de 6,47; 5,49 y 12,24 l; el índice de adopción tecnológica (con escala de 0 a 21) fue de 10,95; 9,20 y 12,24 y el coste de producción de un litro de leche fue de 0,24 €, 0,26 € y 0,28 € en Tabasco, Chiapas y Sinaloa, respectivamente, difiriendo entre regiones ($P < 0,05$). Los componentes tecnológicos más usados fueron en el área de alimentación, con frecuencias promedio de 97%, 93% y 100% y la frecuencia menor se presentó en el área de reproducción con 40%, 20% y 30% para Tabasco, Chiapas y Sinaloa, respectivamente. El índice de adopción tecnológica se relacionó positivamente con la producción de leche, la rentabilidad sobre la inversión y la utilidad.

Palabras clave: Costes de producción, innovación tecnológica, productividad, rentabilidad.

Productive and economic characterization of dual-purpose cattle in three tropical regions of Mexico

Abstract

The aim of this study was to determine the production characteristics, economic indicators, rate of adoption of technology in farms of dual purpose cattle. The study was carried in three regions of the Mexican tropic (Tabasco, Chiapas and Sinaloa), in 30 cattle farms of dual purpose cattle, chosen with random sampling. A system of records was established that included productive variables, management

* Autor para correspondencia: ybautista@docentes.uat.edu.mx

Cita del artículo: Bautista-Martínez Y, Herrera-Haro JG, Espinosa-García JA, Martínez-Castañeda FE, Vaquera-Huerta H, Morales A, Aguirre-Guzmán G (2019). Caracterización económico-productiva del sistema bovino doble propósito en tres regiones tropicales de México. ITEA-Información Técnica Económica Agraria 115(2): 134-148. https://doi.org/10.12706/itea.2018.028

practices and expenditures of the production process. With an analysis of variance, differences in the productive and economic variables between regions were detected and a regression analysis was used to measure the relationship of the technological adoption rate with the economic performance variables. The average milk production per cow and day was 6.47, 5.49 and 12.24 l; the technological adoption rate (0 to 21 scale) was 10.95, 9.20 and 12.24 and the production cost of one liter of milk was 0.24 €, 0.26 €, and 0.28 € in Tabasco, Chiapas and Sinaloa, respectively, differing between regions ($P < 0.05$). The most used technological components were in the feeding area, with average frequencies of 97%, 93% and 100% and the lowest frequency was presented in the reproductive area with 40%, 20% and 30% for Tabasco, Chiapas and Sinaloa, respectively. The technological adoption rate was positively related to milk production, profitability on investment and utility.

Keywords: Production cost, technological innovation, productivity, economic profitability.

Introducción

La producción de bovinos de doble propósito (DP) en regiones tropicales secas y húmedas en México, es una de las principales actividades productivas y económicas; estas regiones ocupan más de 48 millones de ha, equivalentes a 26,2% del territorio nacional y concentra 50% del inventario de bovinos nacional, que es de 32.939.529 animales productores de leche y carne (SIAP, 2017). El DP se desarrolla principalmente en áreas tropicales y se caracteriza por producir leche y carne, a base de forrajes como principal alimento y suplementación mínima; además, utiliza cruces de razas *Bos indicus* y *B. taurus* como líneas maternas y paternas (Rojo-Rubio *et al.,* 2009; García-Martínez *et al.,* 2015). Una de las problemáticas que destacan en este sistema son los bajos índices productivos, reproductivos y rentabilidad consecuencia de una inadecuada administración, por la carencia o uso mínimo de registros en los que se basa la toma de decisiones, así como también la ausencia de planes estratégicos para mejorar la eficiencia de las unidades de producción (UP) (Ruiz-Guevara *et al.,* 2008). La ausencia de registros productivos y contables en la UP impide que se conozcan con exactitud los ingresos y costes de producción y se puedan definir estrategias para maximizar sus ganancias (Nava-Rosillón *et al.,* 2009). Un esquema de administración eficiente genera información confiable de las actividades del proceso productivo, permitiendo realizar evaluaciones periódicas que conduzcan a replantear acciones para alcanzar metas económicas-productivas de corto y mediano plazo (Espinosa-García *et al.,* 2010). Lo anterior permitirá conocer la estructura de costes de producción, el comportamiento del precio de los productos generados y el margen de ganancias o pérdidas de la empresa pecuaria. El efecto de la implementación de innovaciones tecnológicas en la producción y desempeño económico de las UP ayudará al productor a escoger las tecnologías a implementar o hacer cambios en ellas para mejorar la UP (Cuevas-Reyes *et al.,* 2013). Algunos estudios técnico-económicos del sistema bovino DP en el trópico de Venezuela (Nava-Rosillón *et al.,* 2009), Colombia (Cortés *et al.,* 2012) y México (Cuevas-Reyes *et al.,* 2013; Puebla *et al.,* 2015), basados en encuestas, señalan que el sistema es rentable, a pesar de tener índices productivos bajos, y que el uso de tecnología permitirá aumentar los niveles de productividad y rentabilidad, y garantizará el éxito de esas empresas pecuarias. El objetivo de este estudio fue identificar las características productivas, sociales, adopción de tecnología e indicadores de desempeño económico de UP en tres regiones tropicales de México en el sistema de DP y cuantificar la relación que existe entre el índice de adopción de tecnología y los indicadores económicos.

Material y métodos

El estudio se realizó en tres áreas tropicales de México. La primera correspondió a la región central del estado de Tabasco (17°49'49" N, 93°23'29" O, 29 m de altitud, clima cálido húmedo, precipitación media mensual de 190,85 mm, lluvias abundantes en verano y temperatura media anual de 26,4 °C). La segunda fue la región costera de Chiapas (15°41'12" N, 93°12'33" O, 57 m de altitud, clima cálido sub húmedo, temperatura media anual de 28,0 °C y precipitación media mensual de 80 mm) y la tercera fue al sur del estado de Sinaloa (23°14'29" N, 106°24'35" O, 10 m de altitud, clima tropical semi húmedo, temperatura media anual de 26,0 °C y precipitación media mensual de 63 mm) (CNA, 2016). Estas tres regiones de acuerdo a sus características agroecológicas y climáticas se caracterizan por producir leche y carne bajo el sistema de doble propósito.

Los datos se obtuvieron de los registros mensuales de información socioeconómica, productiva y uso de tecnología de 30 UP, en el periodo de julio 2012 a junio 2013, con un total de 360 registros. Las UP fueron seleccionadas por muestreo aleatorio irrestricto, en un marco de muestreo de 120 UP inscritas en las asociaciones ganaderas locales y cooperantes con la adopción de cedulas de registro de información de manejo de hato, variables productivas e ingresos y egresos económicos. Cada UP representó una unidad muestreo y sus elementos fueron los animales y los productores. La información incluyó datos generales del productor y de unidad de producción, estructura del hato, prácticas tecnológicas relacionadas con la alimentación del ganado, manejo de praderas, sanitario y reproductivo, compras de insumos y ventas de productos. Con la información obtenida se generaron los indicadores siguientes:

Índice de adopción tecnológica (IAT): Basado en la metodología de Valdovinos-Terán *et al.* (2015) se utilizó la información de 21 componentes tecnológicos registrados durante el periodo de estudio, agrupados en cinco áreas: a) Actividades generales de manejo, que incluyó registros técnicos y económicos, lotificación de hato, pesaje de la leche, manejo del tanque enfriador y ordeño mecánico; b) Manejo sanitario, que incluyó la desparasitación, vacunación, diagnóstico de brucelosis y tuberculosis, diagnóstico de mastitis y prácticas sanitarias en el ordeño; c) Manejo de forrajes, que consideró el ajuste de carga animal, rotación de praderas, uso de cerco eléctrico, conservación de forraje en silos y henificado; d) Alimentación, que incluyó la suplementación con dietas balanceadas, suplementación con forrajes conservados y mineral; e) Reproducción y genética, que incluyó la práctica de inseminación artificial y diagnóstico de gestación. Se designó un valor de 0 si el productor no realiza la actividad, 0,5 si la realiza de forma inadecuada y 1 si la aplica en forma apropiada. El resultado del índice de adopción fue la suma aritmética de los componentes tecnológicos que aplica el productor de los 21 componentes.

Se midió la frecuencia de uso de los 21 componentes tecnológicos por región, de las cinco áreas (actividades generales de manejo, manejo sanitario, forrajes, alimentación, reproducción y genética).

La producción promedio diaria de leche fue calculada dividiendo la producción total mensual de leche entre el número de vacas en ordeño y el número de días por mes.

Por otra parte, la base para generar indicadores de desempeño económico de una empresa requiere del registro permanente de información. Existe una gran cantidad de indicadores, sin embargo, en este estudio se calcularon los de relevancia para la empresa pecuaria de acuerdo a Espinosa-García *et al.* (2010), que fueron: a) Costes totales de producción, constituidos por la suma de los cos-

tes variables y fijos. b) Costes variables, fueron la suma aritmética de los egresos por conceptos: mano de obra, insumos alimenticios, medicamentos, inseminación artificial, combustibles, servicios, mantenimiento y otros gastos. c) Costes fijos, que incluyeron la depreciación de los activos que se utilizan únicamente para la actividad ganadera (corrales, ganado, ordeñadora). Cada activo se adecuó lo más posible a los años de vida útil, de acuerdo al valor comercial y estado físico en los que se encontraron en la UP. También se consideró el coste de administración de un 3% de los ingresos brutos por la venta de productos generados, en los casos que no se tenía contratado un administrador en la unidad de producción. d) Ingreso total estimado, obtenido de la suma aritmética de los ingresos por venta de leche, becerros y los ingresos potenciales (animales que nacieron en el periodo analizado y que no se habían vendido al momento de concluir el periodo de análisis). e) Coste unitario de producción de leche y de carne, se aplicó el método de prorrateo en el cual se distribuyen los costes totales anuales de la UP, de acuerdo a la proporción porcentual con que incide el valor de la venta de cada producto en el valor total anual de los ingresos, dividiendo los resultados entre los litros de leche y becerros producidos. f) Utilidad, que se refiere a la ganancia monetaria de la empresa pecuaria durante el periodo de análisis y se calcula como la diferencia entre los ingresos totales menos los costes totales. g) Relación beneficio-coste, se calculó dividiendo los ingresos totales del periodo entre los costes totales de producción. h) punto de equilibrio económico (PEE) e i) punto de equilibrio productivo (PEP) con las siguientes fórmulas:

$$PEE = \frac{Costes\ fijos\ totales}{1 - \frac{Coste\ variable\ unitario}{Precio\ de\ venta\ unitario}}$$

$$PEP = \frac{PEE}{Precio\ de\ venta\ unitario}$$

Para el análisis económico se consideró el tipo de cambio de venta MXN – EUR durante junio del 2012 a julio del 2013, que fue 13,44 $ y 12,93 $, respectivamente, de acuerdo con datos del Banco de México, utilizándose el promedio (12,88 $) para transformar los pesos a euros.

Las características socioeconómicas y de producción fueron analizadas usando estadística descriptiva: media, frecuencias y porcentajes; mientras que los indicadores productivos, económicos e IAT se analizaron mediante un análisis de varianza basado en un modelo de un solo criterio de clasificación. Las medias fueron comparadas con la prueba de Tukey ($P < 0,05$). Se realizaron análisis de regresión simple para evaluar la relación del IAT con la producción promedio de leche (PPL), coste de un litro de leche (CLECH), coste de producir un becerro (CBEC), relación beneficio-coste (B/C), utilidad por litro de leche (ULECH), utilidad por becerro (UBEC) y la rentabilidad sobre la inversión total (R/I).

Resultados y discusión

Características socioeconómicas

La edad promedio de los productores coincidió con lo reportado en otros estudios realizados en estados de la República Mexicana como Guanajuato (Vélez *et al.,* 2013), Veracruz (Valdovinos-Terán *et al.,* 2015) y Sinaloa (Cuevas-Reyes *et al.,* 2013) quienes reportaron edades de 49 y 50 años (Tabla 1). Esto refleja que en general los productores son de edad avanzada. Gómez-Castro *et al.* (2002) atribuyen este comportamiento a que la gente joven emigra a las zonas urbanas en buscan de oportunidades de trabajo, lo que ha generado un bajo relevo generacional en esta actividad y en algunas regiones del trópico seco el abandono de la actividad ganadera (Nájera-Garduño *et al.,* 2016).

Tabla 1. Características socioeconómicas de unidades de producción del doble propósito en tres regiones tropicales de México.
Table 1. Socioeconomic characteristics of dual purpose cattle in farms in three tropical regions of Mexico.

Variable	Tabasco				Chiapas				Sinaloa			
	n	$\bar{Y}$	DE	CV	n	$\bar{Y}$	DE	CV	n	$\bar{Y}$	DE	CV
Edad del productor (años)	10	51,70	10,34	20,01	10	47,70	11,76	24,66	10	50,30	8,49	16,89
Escolaridad (años)	10	9,90	4,62	46,76	10	11,40	5,73	50,33	10	9,30	4,71	50,70
Tamaño de la unidad de producción (ha)	10	55,30	27,19	49,18	10	142,00	125,56	88,42	10	89,80	80,13	89,24
Mano de obra familiar permanente (UTA)	10	2,20	1,13	51,60	10	3,80	3,15	83,03	10	3,00	2,30	76,98
Mano de obra contratada permanente (UTA)	10	0,85	0,12	15,18	10	0,82	0,12	14,63	10	0,85	0,12	15,18
Mano de obra contratada temporal (UTA)	10	0,17	0,16	96,42	10	0,22	0,21	97,28	10	0,17	0,20	117,61
Distancia a la comunidad más cercana (km)	10	2,20	1,93	87,20	10	1,90	0,99	52,33	10	2,10	0,99	47,35
Ingreso de la actividad ganadera (%)	10	75,50	30,95	40,99	10	73,20	26,31	35,94	10	87,50	26,79	30,62

n: Número de unidades de producción; $\bar{Y}$: Media; DE: Desviación estándar; CV: Coeficiente de variación; UTA: Unidades de trabajo al año.

En promedio los productores estudiaron hasta la secundaria (Tabla 1). En los estados de Guanajuato (Vélez *et al.*, 2013), Sinaloa (Cuevas-Reyes *et al.,* 2013) y Estado de México (Rojo-Rubio *et al.,* 2009) se reportan en promedio nueve años de educación formal, correspondiente a la educación básica. El grado educativo del productor influye positivamente en la adopción y uso de innovaciones tecnológicas en las UP, lo que mejora la producción y desempeño económico de estas (Velasco-Fuenmayor *et al.,* 2009).

El tamaño promedio de las UP varió de 55 a 142 ha (Tabla 1). De acuerdo con Rojo-Rubio *et al.* (2009), las UP en el sistema de DP se caracterizan por tener grandes extensiones de terrenos para pastorear a los animales. Productores con extensiones pequeñas de pastoreo se inclinan por adoptar innovaciones tecnológicas relacionadas con el manejo de praderas, para prevenir la escasez de forraje durante la época de seca, haciendo un uso sustentable de sus praderas y de esta forma buscan aumentar las variables productivas y consecuentemente mejorar el desempeño económico de las UP (Cuevas-Reyes *et al.,* 2013).

En las UP de las tres regiones combinan mano de obra permanente y temporal (Tabla 1). La mano de obra familiar permanente varió de 2,20 a 3,80 UTA (unidades de trabajo año), mientras que la mano de obra contratada permanente de 0,82 a 0,85 UTA. Un alto uso de la mano de obra familiar es una característica que distingue al sistema de doble propósito y tiene la ventaja de influir positivamente en la rentabilidad de las UP (Posadas-Domínguez *et al.,* 2014).

Los ingresos de los productores dedicados a la actividad ganadera fueron mayores que aquellos obtenidos de otras actividades (empleados o comerciantes) (Tabla 1). En otras regiones productores bajo el mismo sistema de DP también tienen ingresos por llevar acabo otras actividades diferentes a la ganadera, aunque estos representan un mayor porcentaje de ingresos respecto al total (Vélez *et al.,* 2013).

Estructura del hato

La composición del hato fue heterogénea entre las UP de las tres regiones (Tabla 2), su estructura varió con el tamaño de estas. El tamaño de hato es un factor que influye en la adopción de tecnología; productores con hatos grandes adoptan innovaciones tecnológicas más rápido que los que tienen hatos pequeños (Velasco-Fuenmayor *et al.,* 2009). Este efecto puede deberse a que productores que tienen un inventario mayor de animales buscan alternativas para disminuir los costes de producción, principalmente las relacionadas con la alimentación, que representan el mayor gasto de los costes variables (Tabla 4), con el objetivo de mejorar el desempeño económico de las UP.

Indicadores económicos

Las UP en los tres estados tuvieron mayores ingresos por venta de leche respecto a la de becerros (Tabla 3). En estados del trópico mexicano y áreas tropicales de países como Venezuela reportaron el mismo comportamiento, cuyos ingresos por venta de leche fueron del 64 al 89 % respecto a los ingresos totales (Zárate-Martínez *et al.,* 2010; Orantes-Zebadúa *et al.,* 2014). La producción de leche en el sistema de doble propósito es importante, por el porcentaje de ingresos que se obtienen por la venta de este producto, por ello, representa una alternativa para mejorar la rentabilidad de las UP, mediante la utilización eficiente de los recursos disponibles para la producción.

Por otra parte, de los costes totales de producción, los costes variables fueron mayores que los costes fijos en las tres regiones (Tabla 3 y 4). Estos resultados concuerdan con Urda-

Tabla 2. Estructura del hato de unidades de producción en el sistema de doble propósito en tres regiones tropicales de México.
Table 2. Farms herd structure of dual purpose cattle in three tropical regions of Mexico.

Variable	Tabasco				Chiapas				Sinaloa			
	n	$\bar{Y}$	DE(S)	CV	n	$\bar{Y}$	DE(S)	CV	n	$\bar{Y}$	DE(S)	CV
Vacas en producción	10	52,40	18,39	35,09	10	67,00	46,06	68,74	10	71,00	37,83	53,28
Vacas secas	10	22,50	13,45	59,78	10	19,60	12,58	64,23	10	14,80	9,98	67,47
Vaquillas	10	20,40	12,44	61,01	10	26,50	26,05	98,32	10	12,40	10,06	81,19
Becerros	10	13,30	6,32	47,55	10	18,70	12,42	66,45	10	6,40	4,59	71,86
Becerras	10	16,80	8,10	48,25	10	19,00	12,21	64,26	10	7,50	4,42	59,04
Sementales	10	2,50	1,08	43,20	10	2,90	1,79	61,79	10	2,10	1,66	79,20

n: Número de unidades de producción; $\bar{Y}$: Media; DE: Desviación estándar; CV: Coeficiente de variación; Vacas en producción: 29-80 meses; Vacas secas: 45-70 meses; Vaquillas: 18-28 meses; Becerros: 6-8 meses; Becerras: 6-8 meses; Sementales: 24-120 meses.

neta *et al.* (2004) y Nava-Rosillón *et al.* (2009) quienes reportaron una proporción de costes variables del 63,2% al 78,3% respecto a los costes totales de producción. Realizar un mayor gasto por costes variables significa que los productores gastan más dinero en insumos requeridos para realizar el proceso productivo, tales como la alimentación (Nava-Rosillón *et al.,* 2009). Un menor gasto en los costes fijos representa una ventaja para los sistemas de producción de doble propósito, ya que a medida que los costes fijos son mayores el punto de equilibrio es más elevado y la empresa pecuaria requiere de un mayor volumen de producción para cubrir los costes totales. Del total de los costes variables, la alimentación representó el gasto mayor, seguido por la mano de obra (Tabla 3 y 4). Una menor proporción de los costes variables fue representada por los gastos en medicamentos, agroquímicos, fertilizantes, agua, luz, teléfono, combustible y otros. Estos resultados propician que los productores busquen alternativas tecnológicas y de aplicación en el área de alimentación del ganado como primera prioridad (Cuevas-Reyes *et al.,* 2013; Pereira-Lima *et al.,* 2015).

Respecto al IAT se encontraron diferencias entre estados ($P \leq 0,01$). Las UP de Sinaloa presentaron un mayor IAT, seguido por Tabasco y Chiapas (Tabla 4). Estas diferencias pueden ser explicadas por diferencias en la precipitación entre regiones, ya que los productores de Sinaloa se ubican en una región del trópico seco, con menor precipitación en el transcurso del año comparado con las otras regiones ubicadas en el trópico húmedo. En la época seca la disponibilidad de forraje es menor en estas áreas y los productores tienen una mayor necesidad de buscar alternativas tecnológicas en el área de alimentación y manejo de forrajes como prioridad. Cuevas-Reyes *et al.* (2013) mencionan que los productores del DP en el estado de Sinaloa al obtener resultados favorables en la desnutrición

Tabla 3. Ingresos y costes de producción por vaca-hato del sistema de doble propósito en tres regiones tropicales de México.
Table 3. Income and production costs for cow-herd of dual purpose cattle in three tropical regions of Mexico.

	Tabasco	Chiapas	Sinaloa	Sig.
Producción				
Producción promedio de leche por (vaca/año/l)	1640,78^{b}	1545,11^{b}	3683,36^{a}	**
Producción promedio anual de becerros (vaca/año)	0,20	0,22	0,31	ns
Ingresos				
Ingresos por venta de leche (€/vaca/año)	459,42^{b}	478,98^{b}	1252,34^{a}	**
Ingresos por venta de becerros (€/vaca/año)	75,11	76,89	112,20	ns
Ingresos potenciales por productos no vendidos (€/vaca/año)	1,26^{a}	23,58^{b}	2,71^{b}	**
Ingreso total (€/vaca/año)	595,79^{b}	579,45^{b}	1367,26^{a}	**
Costes variables				
Mano de obra (€/vaca/año)	138,44	110,08	128,12	ns
Insumos alimenticios (€/vaca/año)	192,32^{b}	227,12^{b}	754,84^{a}	**
Medicamentos (€/vaca/año)	18,30	9,21	30,37	ns
Agroquímicos y fertilizantes (€/vaca/año)	4,55^{b}	7,51^{b}	16,47^{a}	*
Servicios (agua, luz, teléfono) (€/vaca/año)	4,36	6,42	11,03	ns
Combustibles (€/vaca/año)	30,98	14,02	14,25	ns
Otros gastos (€/vaca/año)	0,97^{b}	2,69^{b}	23,59^{a}	**
Total de costes variables (€/vaca/año)	389,91^{b}	377,06^{b}	978,67^{a}	**
Costes fijos				
Depreciación (€/vaca/año)	90,93	80,44	85,75	ns
Administración (€/vaca/año)	17,87^{b}	17,38^{b}	41,02^{a}	*
Total de costes fijos (€/vaca/año)	108,80^{ab}	97,83^{b}	126,77^{a}	*
Costes totales de producción (€/vaca/año)	498,72^{b}	479,89^{b}	1105,44^{a}	**

Sig.: Nivel de significación; €: Euro; l: Litros. $^{a.b}$ Distintas letras en una fila indican diferencias (P < 0,05).

del ganado a causa de la adopción de tecnologías en el área de alimentación, manejo de ganado y forrajes, han incursionado en la adopción de tecnologías en otras áreas.

La producción promedio diaria de leche presentó diferencias entre estados (P < 0,01), las UP de Sinaloa presentaron el promedio más alto seguido por Tabasco y Chiapas (Tabla 4). En el sistema de DP se reportan producciones promedio de leche por vaca y día de 4,48 a 6,0 l en el estado de Chiapas (Gómez-Castro *et al.,* 2002; Orantes-Zebadúa *et al.,* 2014), y de 4,2 a 11,3 l en Tabasco (Pérez *et al.,* 2001). La producción de leche depende de diversos factores tales como tamaño del hato, asesoría técnica (Camacho-Vera *et al.,*

Tabla 4. Indicadores económicos y tecnológicos del sistema de doble propósito en tres regiones de México.
Table 4. Economic indicators and technology of dual purpose cattle in three tropical regions of Mexico.

Indicadores económicos	n	Tabasco	Chiapas	Sinaloa	Sig.
Índice de adopción tecnológica	30	10,95[a]	9,20[a]	14,05[b]	***
Ingresos totales (€)	30	44624,65[b]	50180,25[b]	117310,75[a]	**
Costes totales (€)	30	37353,78[b]	41125,36[b]	94846,90[a]	**
Utilidad (€)	30	32765,27[a]	9054,89[b]	22463,84[a]	**
Relación beneficio-coste	30	1,18	1,20	1,24	ns
Coste de un litro de leche (€)	30	0,24[a]	0,26[b]	0,28[c]	***
Coste de un becerro (€)	27	323,54	281,99	297,52	ns
Precio promedio pagado al productor por litro de leche (€)	30	0,28[a]	0,31[b]	0,34[c]	***
Precio promedio pagado al productor por becerro (€)	30	380,19	342,35	365,04	ns
Utilidad por un litro de leche (€)	30	0,04[a]	0,05[ab]	0,06[b]	***
Utilidad por producir un becerro (€)	27	56,65	60,36	67,52	ns
Punto de equilibrio de leche (€)	30	14311,14	15148,45	27269,49	ns
Punto de equilibrio de becerros (€)	30	3114,61	2871,10	2705,76	ns
Punto de equilibrio en leche (L)	30	48005,64	47407,54	75581,97	ns
Punto de equilibrio en becerros (becerros)	30	8,37	8,22	7,08	ns

n: Número de unidades de producción; Sig.: Nivel de significación; (€): Euro. [a.b] Distintas letras en una fila indican diferencias (P < 0,05).

2017), alimentación, raza e índice de adopción de tecnología (Cuevas-Reyes *et al.,* 2013; Vélez *et al.,* 2013). Una mayor producción de leche en UP del estado Sinaloa puede ser debido a que estos productores tienen un mayor índice de adopción de tecnologías (Tabla 4) respecto a Chiapas y Tabasco.

La relación beneficio-coste indica cuánto se gana por cada euro que gastan en promedio los productores de Sinaloa, Chiapas y Tabasco; estimando una ganancia de 24, 20 y 18 céntimos respectivamente por cada euro gastado (Tabla 4). Estas relaciones son mayores a las de 11 a 16 céntimos reportadas en otras áreas tropicales de México (Juárez-Barrientos *et al.,* 2015). La relación beneficio-coste variará entre UP porque depende de las utilidades generadas y de los costes totales de producción. De acuerdo a las relaciones de beneficio-coste obtenidas en este estudio, estas son superiores a la tasa de interés que recibiría el productor si guardara su dinero a plazo fijo en cualquier Banco de México (BM, 2018). Por lo tanto, les es más conveniente invertir su dinero en la actividad agropecuaria y contribuir de esta manera a la producción de alimentos básicos.

Respecto al coste de producción de un becerro no se encontraron diferencias entre regiones, sin embargo, sí hubo diferencias en el coste de producción de un litro de leche ($P \leq 0,01$), ya que los productores de Sinaloa tuvieron costes mayores respecto a Tabasco y Chiapas (Tabla 4). Los costes de producción dependerán de la cantidad y precios de los insumos utilizados en el proceso productivo. En áreas tropicales del estado de México se han reportado costes de 0,30 € (Albarrán-Portillo *et al.,* 2015), de 0,22 € a 0,30 € en Veracruz (Ruiz-Guevara *et al.,* 2008; Zárate-Martínez *et al.,* 2010) y 0,21 € en Tabasco (Granados-Zurita *et al.,* 2011). En este estudio, el mayor coste se debió principalmente a que productores de Sinaloa hacen un mayor gasto en la compra de alimentos para suplementación e inversión en adopción de prácticas tecnológicas respecto a Chiapas y Tabasco. El uso de alimentos concentrados aumenta los costes de producción de leche, en Colombia, UP basadas en el sistema de pastoreo reportan costes de producción de 0,09 € por litro de leche (Botero y Rodríguez, 2006) mientras que Lerdon *et al.* (2014), en Chile, reportan costes de 0,12 € a 0,25 € donde productores combinan el pastoreo con diferentes fuentes de suplementación tales como; ensilado, heno, minerales y concentrados.

El punto de equilibrio ocurre cuando los ingresos son iguales a los costes de producción, es decir no existen ganancias ni pérdidas. El punto de equilibrio económico y productivo fue mayor en productores de Sinaloa respecto a Chiapas y Tabasco. Esto se explica porque los costes totales y por el mayor coste de producción de un litro de leche y becerro en esta región, lo que ocasiona que tengan que producir mayor cantidad de leche y becerros para recuperar sus costes de producción y empezar a generar ganancias.

Uso de componentes tecnológicos

En el área de actividades de manejo, el porcentaje promedio del uso de los seis componentes tecnológicos fue del 95% en Sinaloa, 60% en Tabasco y 58,3% en Chiapas. Los componentes de mayor uso en los tres estados fueron: pesaje de la leche y lotificación de hato con un porcentaje de uso del 90% en las tres regiones. Respecto al componente registros técnicos y económicos, Tabasco y Chiapas tuvieron un 40% mientras que Sinaloa presentó un promedio del 90%. Esto explica por qué los productores de Sinaloa tuvieron mejores índices económicos respecto a Chiapas y Tabasco, ya que el uso de estos permiten planear las actividades de las UP en base a sus necesidades y disponibilidad de recursos para utilizarlos de manera eficiente, además de evaluar las diferentes actividades realizadas y

hacer los cambios necesarios en el manejo de estas (Valdovinos-Terán *et al.,* 2015).

Los componentes tecnológicos que destacaron en el área de manejo sanitario fueron la desparasitación y vacunación con el 100% de uso en los tres estados, y un promedio de uso de los cuatro componentes tecnológicos del 84% en Sinaloa, 82% en Tabasco y 66% en Chiapas, respectivamente. El uso de los componentes tecnológicos de las actividades de manejo sanitario es importante porque ayuda a evitar o reducir el riesgo de enfermedades en el hato y evitar disminuir la producción por la presencia de enfermedades (Trujillo *et al.,* 2011), lo cual tiene un impacto económico porque al haber presencia de enfermedades, hay perdidas económicas por muerte de animales, disminuye la producción de leche y hay ganancias de peso en animales en crecimiento, lo que ocasiona mayores gastos en alimentación al aumentar el periodo de engorde y compra de medicamentos para el control o corrección de enfermedades (Romero *et al.,* 1999).

El área de manejo de forrajes presentó un uso promedio de sus cinco componentes del 56% en Sinaloa, 52% en Chiapas y el 38% en Tabasco. El componente de mayor uso en los tres estados fue la rotación de praderas, con porcentajes de uso del 90%, 70% y 80% para Tabasco, Chiapas y Sinaloa, respectivamente. Una mayor utilidad en la producción de leche y becerros en productores de Sinaloa puede ser ocasionada por hacer un mayor uso de los componentes de manejo de forrajes respecto a Tabasco y Chiapas, ya que los costes de alimentación disminuyen al adoptar tecnología relacionada con el manejo de forrajes, porque aumenta el rendimiento y calidad de estos, incrementando la producción de leche y carne por hectárea en animales es pastoreo (Vazquez y Smith, 2000).

Los componentes tecnológicos en el área de alimentación son los que se realizaron con mayor frecuencia en los tres estados, con porcentajes promedio de uso de los componentes del 96,6%, 93,3% y 100% en Tabasco, Chiapas y Sinaloa, respectivamente. La suplementación con dietas balanceadas y minerales fue la que se efectuó en un 100 % en los tres estados; los productores se inclinaron por adoptar y realizar actividades relacionadas con la alimentación del ganado, ya que estas tienen un impacto positivo sobre las variables productivas a corto plazo y los productores optan por adoptar tecnologías que tengan un efecto en menor tiempo sobre las variables productivas y se vea reflejado en sus ingresos económicos (Cuevas-Reyes *et al.,* 2013).

El uso de los componentes tecnológicos en el área de reproducción fueron las que se realizaron con menor frecuencia, con promedios de uso del 20% en Chiapas y 30% en Tabasco y Sinaloa, respectivamente. El componente de inseminación artificial fue el que menos se realizó con promedios de uso del 10%, 20% y 30% en Chiapas, Tabasco y Sinaloa, respectivamente. El mismo comportamiento es reportado por Valdovinos-Terán *et al.* (2015) en el estado de Veracruz, quienes señalan que el mejoramiento genético en base a la inseminación artificial como método reproductivo en el DP no es el adecuado para incrementar la producción de leche. En otros países como Colombia el uso de esta tecnología no es utilizada de manera práctica por los productores, por la logística requerida, costes, falta de capacitación y desconocimiento de los productores (Giraldo-Giraldo, 2007).

El análisis de regresión simple indicó que el 66,6% de la producción de leche es explicada por el índice de adopción de tecnología ($P < 0,05$) (Tabla 5), evidenciando que el incremento en una unidad en el IAT ocasiona un incremento promedio de 1,05 l de leche por vaca por día. Lo anterior coincide con lo informado por Cuevas-Reyes *et al.* (2013) y Vélez *et al*. (2013), quienes reportaron que la adopción de tecnología se refleja en incrementos en las variables productivas, por ello,

se puede concluir que un mayor IAT ocasionará beneficios en la producción de leche y carne porque permiten hacer un uso eficiente de los recursos disponibles y de las nuevas adopciones de tecnología que se implementa en la UP.

El IAT explica únicamente el 16,9% del coste de producir un litro de leche (P < 0,05), lo que supone un coeficiente de determinación bajo. Sin embargo, este índice explica el 31,4% (P < 0,05) del precio de venta de leche, lo cual se refleja en un incremento en 0,061 céntimos por cada unidad adicional en el índice de tecnología y por ende esto ocasionará un aumento en las utilidades por venta de leche y becerros (P < 0,05) (Tabla 5). Por lo tanto, existe una tendencia de obtener mejoras económicas para los productores por la aplicación de innovaciones tecnológicas.

La rentabilidad sobre la inversión fue explicada en un 38,3% por IAT y en promedio esta incrementó en 1,34% al aumentar en una unidad el IAT (P < 0,05) (Tabla 5), lo cual explica porque Sinaloa tuvo una mayor rentabilidad sobre la inversión respecto a Chiapas y Tabasco, ya que los productores de este estado tuvieron en promedio un mayor IAT. En este sentido, Cuevas-Reyes *et al.* (2013) señalan que las UP que implementan innovaciones tecnológicas tienen mayores ingresos por un incremento en la producción de leche y becerros, mejorando así su rentabilidad. La aplicación de nuevas tecnologías relacionadas con la actividad productiva sirve para lograr un incremento en el uso de nuevas tecnologías apropiadas para los productores y los resultados de la adopción de estas se reflejen en mayores ganancias económicas de las UP (Vélez *et al.,* 2013; Cuevas-Reyes *et al.,* 2016).

Tabla 5. Resumen de los modelos de regresión.
Table 5. Summary of regression models.

	Parámetro estimado	Error estándar	Sig.
Intercepto	-3,6	1,65	**
Índice de adopción de tecnología	1,05	0,14	***
R^2	66,6		
Intercepto	3,81	0,27	***
Coste de producción leche (l)	3,05	0,02	**
R^2	16,9		
Intercepto	4,21	0,33	***
Precio de venta leche (l)	0,10	0,02	***
R^2	31,4		
Intercepto	-7,88	3,77	**
Rentabilidad	1,34	0,32	***
R^2	38,3		

Sig.: Nivel de significación; R^2: Coeficiente de determinación.

Conclusiones

En las regiones de estudio, se desarrolla un sistema de producción de bovinos DP con variabilidad en sus características sociales, estructura y tamaño de las UP. Los ingresos principales son por la venta de leche y becerros. Mientras que los mayores egresos son por costes de alimentación del ganado y mano de obra; lo cual es una ventaja porque pertenecen a los costes variables que están relacionados con el volumen de producción, de tal forma que si en la empresa pecuaria en un momento deja de producir carne o leche solo se tendrían que cubrir los costes fijos que representan una menor cantidad en relación a los costes totales.

Las prácticas relacionadas con el manejo reproductivo son las que se realizan con menor frecuencia en las UP, el fomento en la aplicación y adopción de las tecnologías relacionadas con esta área, podría ser una alternativa para mejorar las variables productivas del DP a largo plazo.

El uso y adopción de tecnología tiene beneficios económicos para estas UP, ya que fomenta la producción y mejora sus indicadores económicos, principalmente la rentabilidad sobre la inversión.

La información obtenida en este estudio es útil para los creadores, promotores y extensionistas de programas de adopción de tecnología, para el desarrollo de los sistemas de producción de leche y carne en áreas tropicales. Para que las tecnologías que se promuevan o se les brinda un mayor recurso para su difusión sean las que mayor impacto tengan a corto plazo sobre las variables productivas e indicadores económicos tales como las relacionados con el manejo en la alimentación, forrajes y sanidad, ya que son las principales razones porque los productores se incentivan a adoptarlas.

Referencias bibliográficas

Albarrán-Portillo B, Rebollar-Rebollar S, García-Martínez A, Rojo-Rubio R, Avilés-Nova F, Arriaga-Jordán CM (2015). Socioeconomic and productive characterization of dual-purpose farms oriented to milk production in a subtropical region of Mexico. Tropical Animal Health and Production 47(3): 519-523.

Botero L, Rodriguez D (2006). Costo de producción de un litro de leche en una ganadería de el sistema doble propósito, Magangué, Bolivar. Revista MVZ Córdoba 11(2): 806-815.

BM (2018). Banco de México. Disponible en: http://www.banxico.org.mx (Consultado: junio 2018).

Camacho-Vera JH, Cervantes-Escoto F, Palacios-Rangel MI (2017). Factores determinantes del rendimiento en unidades de producción de lechería familiar. Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias 8(1): 23-29.

Cortés JA, Cotes A, Cotes JM (2012). Características estructurales del sistema de producción con bovinos doble propósito en el trópico húmedo colombiano. Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias 25(2): 229-239.

Cuevas-Reyes V, Baca Del Moral J, Cervantes-Escoto F, Espinosa-García JA, Aguilar-Ávila J, Loaiza-Meza A (2013). Factores que determinan el uso de innovaciones tecnológicas en la ganadería de doble propósito en Sinaloa, México. Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias 4(1): 31-46.

Cuevas-Reyes V, Astengo-López E, Loaiza-Meza A, Antengo-Cazares H, Reyes-Jiménez JE, González-Gonzales D, Moreno-Gallegos T (2016). Análisis de la percepción del uso de tecnología de productores pecuarios en Sinaloa, México. Nova Scientia 8(16): 455.

CNA (2016). Comisión Nacional del Agua. Disponible en: http://smn.cna.gob.mx (Consultado: enero 2018).

Nájera-Garduño A, Piedra-Matias R, Albarrán-Portillo B, García-Martínez A (2016). Cambios en la ganadería doble propósito en el trópico seco del estado de México. Agrociencia 50: 701-710.

Espinosa-García JA, González-Orozco TA, Luna-Estrada AA, Cuevas-Reyes V, Moctezuma-López G, Góngora-González SF, Jolalpa-Barrera JL y Vélez-Izquierdo A (2010). Administración de ranchos pecuarios con base en el uso de registros técnicos y económicos. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. SAGARPA. 222 p.

García-Martínez A, Albarrán-Portillo B, Avilés-Nova F (2015). Dinámicas y tendencias de la ganadería doble propósito en el sur del Estado de México. Agrociencia 49: 125-139.

Giraldo-Giraldo JJ (2007). Una mirada al uso de la inseminación artificial en bovinos. Revista Lasallista de Investigación 4(1): 51-57.

Gómez-Castro H, Tewolde A, Nahed-Toral J (2002). Análisis de los sistemas ganaderos de doble propósito en el centro de Chiapas, México. Archivos Latinoamericanos de Producción Animal 10(3): 175-183.

Granados-Zurita L, Quiroz-Valiente J, Barrón-Arredondo M, Cruz-Pelcastre C, Jiménez-Ortiz MM (2011). Costo de Producción del litro de leche y carne en un sistema de lecheria de doble proposito. Actas Iberoamericanas de Conservación Animal 1: 424-427.

Juárez-Barrientos JM, Herman-Lara E, Soto-Estrada A, Ávalos-de la Cruz DA, Vilaboa-Arroniz J, Díaz-Rivera P (2015). Tipificación de sistemas de doble propósito para producción de leche en el distrito de desarrollo rural 008, Veracruz, México. Revista Científica 25(4): 317-323.

Lerdon J, Miranda JC, Moreira V, Gebauer M (2014). Análisis comparativo de dos metodologías para la asignación de costos de producción de leche Bovina. Estudio de casos. IDESIA 32: 51-58.

Nava-Rosillón M, Urdaneta F, Casanova A (2009). Comportamiento económico y financiero de sistemas de ganadería de doble propósito (*Taurus - Indicus*). Revista Científica 9(4): 356-365.

Orantes-Zebadúa MA, Platas-Rosado D, Córdova-Avalos V, Santos-Lara MC, Córdova-Avalos A (2014). Caracterización de la ganadería de doble propósito en una región de Chiapas, México. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 1: 49-58.

Pereira-Lima L, Mattos-Veloso C, Ferreira-da Silva F, Vieira-Pires AJ, Andrade-Teixeira F, Nunes-Nascimento PV (2015). Milk production and economic assessment of cassava bagasse in the feed of dairy cows. Acta Scientiarum 37(3): 307-313.

Pérez P, Solaris F, García-Winder M, Osorio-Arce M, Gallegos-Sánchez J (2001). Comportamiento productivo y reproductivo de vacas de doble propósito en dos sistemas de amamantamiento en el trópico. Archivos Latinoamericanos de Producción Animal 9(2): 79-85.

Posadas-Domínguez RR, Arriaga-Jordán CM, Martínez-Castañeda FE (2014). Contribution of family labour to the profitability and competitiveness of small-scale dairy production systems in central Mexico. Tropical Animal Health and Production 46(1): 235-240.

Puebla-Albiter S, Rebollar-Rebollar S, Albarrán-Portillo B, García-Martínez A y Arriaga-Jordán CM (2015). Análisis técnico económico de sistemas de bovinos doble propósito en Tejupilco, Estado de México, en la época de secas. Investigación y Ciencia 23(65): 13-19.

Rojo-Rubio R, Vázquez-Armijo JF, Pérez-Hernández P, Mendoza-Martínez GD, Salem AZM, Albarrán-Portillo B, González-Reyna A, Hernández-Martínez J, Rebollar-Rebollar S, Cardoso-Jiménez D, Dorantes-Coronado EJ, Gutierrez-Cedillo JG (2009). Dual purpose cattle production in Mexico. Tropical Animal Health and Production 41(5): 715-721.

Romero JR, Villamil LC, Pinto JA (1999). Impacto económico de enfermedades animales en sistemas productivos en Sudamérica: estudios de caso. Scientific and Technical Review of the Office International des Epizooties 18(2): 498-511.

Ruiz-Guevara C, García-Hernández LA, Ávila-Bello CH, Brunett-Pérez L (2008). Sustentabilidad financiera: el caso de una empresa ganadera de bovino de doble propósito. Revista Mexicana de Agronegocios 22: 503-515.

SIAP (2013). Población Ganadera, avícola y apícola. Resumen Nacional 2001-2014. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Disponible en: http://infosiap.siap.gob.mx/repoAvance_siap_gb/pecResumen.jsp (Consultado: febrero 2018).

Trujillo CM, Gallego AF, Ramírez N, Palacio LG, (2011). Prevalencia de mastitis en siete hatos lecheros del oriente antioqueño. Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias. 24:11-18.

Urdaneta F, Materán M, Peña ME, Casanova A (2004). Tipificación tecnológica del sistema de producción con ganadería bovina de doble propósito (*Bos taurus x Bos indicus*). Revista Científica 14(3): 254-262.

Valdovinos-Terán ME, Espinoza-García JA, Velez-Izquierdo A (2015). Innovación y eficiencia de unidades bovinas de doble propósito en Veracruz. Revista Mexicana de Agronegocios 36: 1306-1314.

Vazquez OP, Smith TR (2000). Factors affecting pasture intake and total dry matter intake in grazing dairy cows. Journal of Dairy Science 83(10): 2301-2309.

Velasco-Fuenmayor J, Ortega-Soto L, Sánchez-Camarillo E, Urdaneta F (2009). Factores que influyen sobre el nivel tecnológico presente en las fincas ganaderas de doble propósito localizadas en el estado Zulia, Venezuela. Revista Científica 19: 187-195.

Vélez A, Espinosa, JA, Omaña, JM, González TA, Quiroz J (2013). Adopción de tecnología en unidades de producción de lechería familiar en Guanajuato, México. Actas Iberoamericanas de Conservación Animal 3: 88-96.

Zárate-Martínez JP, Esqueda-Esquivel VA, Vinay-Vadillo JC, Jácome-Maldonado SM (2010). Evaluación económico-productiva de un sistema de producción de leche en el trópico. Agronomía Mesoamericana 21(2): 255-265.

(Aceptado para publicación el 10 de octubre de 2018)

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

B. Panea[1,*], G. Ripoll[1], K. Insausti[2], M.J. Beriain[2], C. Sañudo[3] y P. Albertí[1]

[1] Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón, Instituto Agroalimentario de Aragón – IA2 (CITA-Universidad de Zaragoza). Avenida de Montañana, 930, 50059, Zaragoza, España
[2] Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, Universidad Pública de Navarra. 31006 Pamplona, España
[3] Facultad de Veterinaria, Universidad de Zaragoza, Instituto Agroalimentario de Aragón – IA2 (CITA-Universidad de Zaragoza). C/ Miguel Servet, 176, 50013, Zaragoza, España

Resumen

Se estudió el efecto del tiempo de maduración y tipo de cocinado sobre la valoración sensorial y el perfil de los compuestos aromáticos de la carne de animales de los cruces de toros de las razas Retinta, Limousine, Pirenaica y Asturiana de los Valles con vacas Retintas. Se utilizaron dos paneles, uno para el efecto de la maduración y otro para el tipo de cocinado. El entrenamiento de los catadores y la temperatura de cocinado fueron idénticos en ambos casos, aunque los perfiles difieren entre sí. En la valoración sensorial no se encontraron interacciones entre efectos. El cruce sólo afectó a la terneza, siendo la carne de Pirenaica x Retinta y Retinta x Retinta algo más dura. La terneza, el flavor a hígado y el flavor ácido aumentaron con la maduración, al contrario que la jugosidad. El tipo de cocinado afectó a la terneza y a la facilidad al tragar, estando ambas variables inversamente correlacionadas. Se identificaron 50 compuestos aromáticos. El cruce tuvo menos influencia que el tipo de cocinado y se encontró una interacción significativa entre efectos para 15 de los compuestos, especialmente hidrocarburos. El cruce afectó al porcentaje de alcoholes, compuestos azufrados y cetonas pero no al resto y el tipo de cocinado, a todos los compuestos. Los hidrocarburos y las cetonas presentaron mayores concentraciones que el resto. Para todos los grupos de compuestos excepto para los azufrados, las cantidades detectadas fueron mayores cuando el método de cocinado fue la cocción.

Palabras clave: Panel, compuestos aromáticos, vacuno.

Influence of ageing and cooking method on sensory evaluation and aromatic compounds profile of meat from Retinta breed crossbreeding

Abstract

We studied the effect of ageing period and cooking method on sensory evaluation and aromatic compounds profile of meat from crosses of Retinta, Limousine, Pirenaica and Asturiana de los Valles bulls and Retinta dams. Two panels were used, one to study the ageing effect and another to compare the effect of cooking method. The training and temperature of cooking were identical in both cases, although the descriptive profiles are different among themselves. No interaction between effects was found in sensory evaluation. Crossbreeding only affected tenderness, being meat from Pirenaica x Re-

* Autor para correspondencia: bpanea@aragon.es

Cita del artículo: 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

tinta and Retinta x Retinta crosses slightly tougher. Tenderness, liver flavour and acid flavour increased with ageing, contrary to juiciness. The cooking method affected tenderness and ease swallowing, and both variables were inversely correlated. 50 aromatics compounds were identified and we found a significant interaction effects for 15 compounds, especially hydrocarbons. Crossbreeding affected the percentage of alcohols, ketones and sulphur compounds whereas cooking method affected to all compounds. Hydrocarbons and ketones showed higher concentrations than the rest of the compounds. All compounds except the ketone groups were affected by cooking method. For all groups of compounds except for the sulphur, the amounts detected were higher when the cooking method was water-boiling.

Keywords: Beef, panel test, aromatic compounds.

Introducción

La adhesión de España a la UE facilitó la introducción en España de razas extranjeras con unas características carniceras superiores a las de las razas autóctonas y originó que el cruzamiento industrial fuera práctica común (Ahumada, 1997). En la actualidad, aproximadamente el 35% del ganado sacrificado en España está cruzado en cierto grado siendo el cruce más frecuente el de hembras autóctonas con machos especializados de aptitud cárnica (Illescas *et al.,* 2009). El impacto de la heterosis en los parámetros productivos es conocido desde hace mucho tiempo y se han desarrollado programas de cruzamientos en todas las especies ganaderas para optimizar su beneficio (Dickerson, 1973). El macho de raza seleccionada aporta canales con mayor conformación y más rendimiento carnicero, mientras que la nodriza de raza rústica o ambiental asegura un aprovechamiento de los recursos locales por su adaptación al medio. Sin embargo, el efecto del cruzamiento sobre la calidad de la carne no está suficientemente estudiado, a pesar de que la base genética condiciona la cantidad y tipo de fibras musculares, la cantidad de mioglobina del músculo, el grado de engrasamiento de la carne y el perfil de ácidos grasos (Wood *et al.*, 2008; Gama *et al.*, 2013; Font i Furnols y Guerrero, 2014; Khan *et al.,* 2015). Todos estos factores tienen repercusión sobre los procesos de oxidación que ocurren durante el almacenamiento de la carne. Los procesos de oxidación proteica y lipídica originan numerosos compuestos responsables del sabor y flavor de la carne (Mottram, 1998) y se modifican con la maduración y el cocinado (Campo *et al.,* 1999; Wood *et al.,* 2004; Ripoll *et al.,* 2014). Así, la ruptura de las miofibrillas durante la maduración da lugar a aminoácidos y péptidos (Ngapo *et al.,* 2013) que en cocinados rápidos a alta temperatura forman los derivados de la reacción de Maillard, mientras que los cocinados lentos y a bajas temperaturas dan lugar a compuestos aromáticos derivados de los lípidos (Kerth y Miller, 2015).

El objetivo del presente estudio fue estudiar la influencia de la maduración y el tipo de cocinado sobre la valoración sensorial y el perfil de compuestos aromáticos de la carne de terneros procedentes del cruce industrial de vacas de raza Retinta.

Material y métodos

El presente trabajo se deriva del proyecto RTA 2001-106. Los resultados del análisis instrumental de la carne de los animales utilizados han sido publicados en Panea *et al.* (2016), y muestran que no existe efecto del cruce ni en la cantidad de grasa intramuscular ni el porcentaje de proteína de la carne de estos animales.

Manejo de los animales

Todos los procedimientos realizados han sido aprobados por el Comité Ético de Experimentación Animal del Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA). El cuidado y el uso de los animales han sido desarrollados de acuerdo con la Directiva de la Unión Europea nº 2010/63 de la protección de animales utilizados en experimentos y otros propósitos científicos (E.U., 2010).

Se cebaron 28 terneros, repartidos en cuatro lotes: 7 de Retinta en pureza (RExRE), 8 del cruce Limousine x Retinta (LIxRE), 6 del cruce Pirenaica x Retinta (PIxRE) y 7 del cruce Asturiana de los Valles x Retinta (ASxRE). A su llegada a las instalaciones del CITA en Zaragoza, los animales fueron desparasitados y vacunados contra enfermedades respiratorias y toxemias. Tras un periodo de adaptación, a los animales se les ofreció pienso concentrado (Tabla 1) y paja *ad libitum*. Los animales se sacrificaron a los doce meses de edad (362 ± 11,0 días) con 480,0 ± 15,5 kg de peso vivo de media. El sacrificio se realizó en un matadero oficial (Mercazaragoza, Zaragoza, España) a 6 km de las instalaciones del CITA. Para minimizar el estrés anterior al sacrificio los animales se transportaron el mismo día del sacrificio y se sacrificaron inmediatamente a su llegada, sin ayuno, previo aturdimiento con una pistola de émbolo cautivo. Una vez faenados los animales, las canales se mantuvieron en refrigeración en cámara a 4°C durante 24 horas. Posteriormente, se extrajo de la media canal izquierda la porción de músculo *Longissimus thoracis et lumborum* comprendido entre la 10ª vértebra torácica y la 6ª lumbar y se obtuvieron 12 filetes de 2 cm de espesor. El proyecto del que deriva este trabajo es un proyecto coordinado, por lo que el análisis sensorial se realizó en dos laboratorios diferentes: en la Universidad de Zaragoza se realizó una prueba para estudiar el efecto del tiempo de maduración mientras que en la Universidad Pública de Navarra la prueba se diseñó para comparar el efecto del tipo de cocinado. Por lo tanto, los filetes se maduraron al vacío 2, 7 ó 21 días, en función del diseño experimental de cada laboratorio. Tras la maduración, todas las muestras se congelaron a –18°C, manteniéndose así hasta el día del análisis y se descongelaron a 4°C durante 24 h. En cada laboratorio se realizó una sesión previa para elaborar el perfil descriptivo, por lo que éstos son distintos

Tabla 1. Composición del pienso utilizado en el cebo de animales procedentes de distintos cruces de Retinta.
Table 1. Feed composition used to raise animals from different Retinta crosses.

Ingredientes	Porcentaje
Maíz	35,0
Cebada 10%	16,11
Soja 44%	9,48
Tercerillas	6,0
Gluten feed	12,0
Cascarilla soja	8,0
Germen maíz	5,0
Asigras (buffer)	0,46
Pulpa remolacha	3,0
Carbonato cálcico	1,38
Aceite de palma	2,0
Fosfato bicálcico	0,45
Sal	0,6
Corrector vitamínico	0,5
Materia seca (% MS)	88,21
Grasa bruta (% MS)	6,02
Proteína bruta (% MS)	13,75
Energía (MJ EM/ kg MS)	12,55

en función del laboratorio, pero el entrenamiento de los catadores (ISO-8586:2012) y las temperaturas de cocinado (70°C de temperatura interna) fueron idénticos en ambos casos.

Efecto de la maduración

Esta prueba se realizó en la sala de catas de la facultad de Veterinaria de Zaragoza. Se utilizaron tres filetes por animal, madurados a 1, 7 ó 21 días. Una vez descongelados, los filetes se envolvieron en papel de aluminio y se cocinaron en un grill de doble placa (SAMMIC P8D-2) precalentado a 200°C hasta alcanzar una temperatura interna de 70°C, controlada con un termopar (Jenway 2000, Staffordshire, Reino Unido). Una vez cocinados, se retiró la grasa y el tejido conectivo externo, se cortaron en muestras cúbicas de 2 cm de lado, se envolvieron en papel de aluminio con un código de tres dígitos y se mantuvieron a 60°C un máximo de cinco minutos hasta que se sirvieron. Las muestras se sirvieron a un panel entrenado de ocho miembros en cabinas individuales con luz roja para enmascarar diferencias en el color de la carne (ISO-8586:2012). Para evitar efectos del orden de presentación, las muestras se presentaron en distinto orden a cada catador (MacFie *et al.,* 1989). Para limpiar el paladar, cada catador tenía a su disposición agua y pan. Se realizó un test comparativo multimuestra, con tres/cuatro muestras por plato, por medio de un diseño de bloque equilibrado incompleto (Meilgaard *et al.,* 1991). Se realizaron 14 sesiones con un total de 162 evaluaciones por catador. Los descriptores utilizados fueron intensidad de olor a vacuno, intensidad de olor a hígado, jugosidad inicial, cantidad de residuo, intensidad de flavor a vacuno, intensidad de flavor a hígado e intensidad de flavor ácido. Cada uno de los atributos se valoró utilizando una escala lineal no estructurada en la que 1 correspondía al valor más bajo y 10 al más alto para el atributo en cuestión.

Efecto del tipo de cocinado

Esta prueba se realizó en el laboratorio de la Universidad Pública de Navarra. Todos los filetes utilizados tenían una maduración de 7 días. Las muestras se cocinaron por tres métodos diferentes: cocción en baño de agua (Selecta Precistern, Barcelona, España), plancha de doble placa (Silanos, Barcelona, España) precalentada a 200°C y asado en horno de convección (BSH HM21211 DUO 413, Zaragoza, España). Todas las muestras se cocinaron hasta que alcanzaron una temperatura interna de 70°C (AMSA, 2016). La temperatura interna se monitorizó con la ayuda de un termopar (Digitron, Hertford, UK). Las muestras se evaluaron con un panel entrenado de 11 miembros entrenados según la ISO-8586:2012. Los panelistas valoraron jugosidad inicial y continuada, dureza, cohesividad, facilidad para tragar, untuosidad, intensidad global de aroma, intensidad de aroma a hígado, intensidad de flavor a hígado, intensidad de flavor a sangre, intensidad de flavor a grasa e intensidad de flavor residual. Se utilizó una escala lineal no estructurada de 10 puntos en la que 1 correspondía al valor más bajo y 10 al más alto para el atributo en cuestión.

Compuestos volátiles

El análisis de compuestos volátiles se realizó sobre las muestras utilizadas para el panel de cata de la Universidad Pública de Navarra. Se estudiaron tanto en carne cruda como en carne cocinada mediante cromatografía de gases y espacio de cabeza dinámico (Gorraiz *et al.,* 2002). Aproximadamente 10 g de muestra picada se colocaron en un vial con espacio de cabeza. El vial fue conectado a un concentrador de purga y trampa (purge-and-trap, 4460A, OI Analytical, College Station, Texas). La muestra fue calentada a 70°C y purgada con 40 mL/min de flujo de helio durante 10 minutos. Los volátiles del espacio de cabeza se recogieron en una trampa Tenax GC (60/80

mesh) a 30°C y sufrieron una desorción térmica a 180°C/ 4 minutos con 40 mL/min de flujo de helio. Se utilizó un cromatógrafo de gases HP-5890 (Hewlett-Packard, Madrid, España) equipado con una columna capilar HP-5. El análisis se realizó utilizando helio como gas de arrastre. La columna se calentó inicialmente a 35°C durante 15 minutos y se programó para alcanzar 220°C con una rampa de 8°C/minuto, manteniéndose a esa temperatura durante 5 minutos. La determinación se hizo por duplicado para cada muestra. La identificación de los compuestos volátiles se hizo con un cromatógrafo de gases HP-6890 (Hewlett-Packard, Madrid, España) acoplado a un espectrómetro de masas cuádruple HP-5973 (Hewlett-Packard, Madrid, España). Los parámetros operacionales más importantes del cromatógrafo de gases fueron los siguientes: voltaje inicial 70 eV; temperatura de la fuente de iones, 230°C; voltaje del multiplicador de electrones, 3000 V; velocidad de escaneado, 3,32 scan/s y rango de escaneado 30 a 250 uma, con el cuadrupolo a 108°C. El espectro obtenido se comparó con la biblioteca Wiley 275. Los índices de retención se calcularon con el método Van Den Dool y Kratz (1963), modificado para cromatógrafos de gases programados por temperatura.

Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó utilizando el paquete estadístico SAS (versión 9.3). Se realizaron dos GLM, uno con el genotipo y tiempo de maduración como efectos fijos y otro con el genotipo y tipo de cocinado como efectos fijos. Para todas las variables se calcularon las medias y la comparación entre medias se hizo con el test de Duncan, con $p < 0,05$.

Resultados y discusión

Efecto del tiempo de maduración sobre la valoración sensorial

En la Tabla 2 se muestran las medias y el error estándar de las variables medidas, así como el efecto del tiempo de maduración. La variabilidad de los datos del análisis sensorial del presente trabajo estaría de acuerdo con los datos ofrecidos por Campo *et al.* (1997), quienes señalan coeficientes de variación de entre el 8 y el 35%. No se encontró efecto del cruce sobre ninguno de los atributos estudiados ($p > 0,05$) pero la maduración afectó a algunas de las variables. No se encontraron interacciones significativas entre efectos. Puede verse que la terneza aumentó ($p = 0,000$) con el tiempo de maduración, pero sólo durante la primera semana, para estabilizarse a partir del día 7. Por el contrario, la jugosidad disminuyó a partir del 7º día ($p = 0,000$). El flavor a hígado ($p = 0,007$) y el flavor ácido aumentaron ($p = 0,003$) paulatinamente a lo largo de la maduración.

El efecto de la raza sobre la valoración sensorial de la carne está ampliamente estudiado, aunque los resultados pueden ser contradictorios. Así, algunos estudios muestran diferencias entre razas (Santolaria *et al.,* 1997; Campo *et al.,* 1999), mientras que otros no las encuentran (Albertí *et al.,* 1995; Insausti *et al.,* 2005). Vieira *et al.* (2006) señalan que la carne de los animales procedentes de cruce industrial con razas cárnicas es más tierna que la de los animales de tipo rústico criados en pureza, pero en el presente trabajo la terneza de la carne de la raza en pureza (RExRE) no fue significativamente diferente del resto. Sinclair *et al.* (1998), utilizando cruces de Angus o de Charolais como padres, demostraron que si todos los animales reciben la misma dieta, la raza no influye sobre las características organolépticas de la carne.

Tabla 2. Medias, error estándar y significación del efecto maduración (valor de p) sobre la valoración sensorial de la carne de animales procedentes de distintos cruces de Retinta.
Table 2. Means, standard error and signification of the ageing effect (p values) on the sensory analysis of meat from different Retinta breed crosses.

Variable*	Maduración			e.e.	valor de p
	1 día	7 días	21 días		
Olor vacuno	5,33	5,38	5,30	0,070	0,757
Olor a hígado	2,80	2,97	3,09	0,087	0,058
Terneza	5,22^{b}	6,11^{a}	6,22^{a}	0,072	0,000
Jugosidad Inicial	4,85^{a}	5,04^{a}	4,42^{b}	0,083	0,000
Residuo	4,52	4,21	4,47	0,006	0,058
Flavor vacuno	5,93	5,97	5,88	0,061	0,543
Flavor a hígado	3,03^{b}	3,23^{ab}	3,44^{a}	0,093	0,007
Flavor ácido	3,35^{b}	3,41^{b}	3,74^{a}	0,090	0,003

* Escala de 1 a 10, siendo 1 el valor más bajo y 10 el más alto para la intensidad del atributo en cuestión. e.e.- error estándar. $^{a, b}$.- superíndices distintos en la misma fila implican diferencias significativas entre tiempos de maduración ($p < 0,05$).

En cuanto a la maduración, está demostrado que tiene un marcado efecto sobre la calidad sensorial de la carne (Hughes *et al.,* 2014) y que este efecto es más importante que el de otros factores como el genotipo o el nivel de engrasamiento (Albertí *et al.,* 1995). La maduración aumenta la intensidad del flavor meálico, flavor ácido y flavor a rancio (Yancey *et al.,* 2005), así como su terneza y jugosidad (Campo *et al.,* 1999). Se ha descrito que la maduración origina un aumento de la intensidad del olor debida principalmente a la aparición de hidrocarburos alifáticos durante la oxidación de los lípidos, así como por el incremento de ácidos grasos libres producidos por lipolisis (Gorraiz *et al.,* 2002). Insausti *et al.* (2002) describen que el flavor a hígado y flavor ácido se deben principalmente a las cetonas y algunos hidrocarburos como los octenos y octanos, compuestos que han sido detectados en el presente trabajo.

Efecto del tipo de cocinado sobre la valoración sensorial

En la Tabla 3 se presenta la significación del cruce y el tipo de cocinado sobre la valoración sensorial de la carne. El cruce sólo tuvo efecto sobre la terneza ($p = 0,014$), mientras que el cocinado afectó a la terneza ($p = 0,015$) y a la facilidad al tragar ($p = 0,001$). No se encontraron interacciones entre efectos. La carne de los cruces PIxRE (7,44) y RExRE (7,12) fue algo más dura que la de los cruces LIxRE (6,25) y ASxRE (5,96) (Tabla 4). En cuanto al tipo de cocinado, puede verse en la tabla 5 que dureza y facilidad para tragar están inversamente relacionadas, coincidiendo con los resultados de otros autores (Campo *et al.,* 1999; Panea, 2002; Panea *et al.,* 2003; Olleta *et al.,* 2008).

Tabla 3. Significación (valor de p) de los efectos estudiados (cruce industrial y tipo de cocinado) sobre la valoración sensorial de la carne de animales procedentes de distintos cruces de Retinta.
Table 3. Signification (p values) of the studied effects (crossbreeding and cooking method) on the sensory analysis of meat from different Retinta breed crosses.

Variable	Cruce	Cocinado	Cruce x Cocinado
Aroma característico ternera	0,156	0,723	0,667
Aroma sangre	0,455	0,131	0,675
Aroma hígado	0,107	0,146	0,579
Flavor característico ternera	0,656	0,293	0,859
Flavor característico sangre	0,831	0,667	0,921
Flavor hígado	0,668	0,071	0,635
Flavor grasa	0,370	0,980	0,692
Sabor residual	0,555	0,919	0,270
Jugosidad inicial	0,704	0,458	0,940
Jugosidad continuada	0,295	0,736	0,914
Dureza	0,014	0,015	0,643
Cohesividad	0,321	0,187	0,865
Facilidad tragar	0,550	0,001	0,686
Untuosidad	0,819	0,975	0,659

Tabla 4. Medias y error estándar para la variable dureza en el análisis sensorial de la carne de animales procedentes de distintos cruces de Retinta.
Table 4. Means and standard error for meat hardness on the sensory analysis of meat from different Retinta breed crosses.

Variable*	RE x RE	LI x RE	PI x RE	AS x RE	e.e.
Dureza	$7,12^{ab}$	$6,25^{bc}$	$7,44^{a}$	$5,55^{c}$	0,59

* Escala de 1 a 10, siendo 1 el valor más bajo y 10 el más alto para el atributo. RE = Retinta; LI = Limousine; PI = Pirenaico; AS = Asturiano. e.e.- error estándar. ^{a,b,c}.- superíndices distintos en la misma fila implican diferencias significativas entre cruces ($p < 0,05$).

Tabla 5. Medias y error estándar para las variables afectadas por el tipo de cocinado en el análisis sensorial de la carne de animales procedentes de distintos cruces de Retinta.
Table 5. Means and standard error for variables affected by cooking method on the sensory analysis of meat from different Retinta breed crosses.

Variable*	Cocción	Horno	Plancha	e.e.
Dureza	5,94^{y}	6,99^{x}	7,14^{x}	0,59
Facilidad al tragar	6,62^{x}	5,86^{y}	5,14^{z}	0,44

* Escala de 1 a 10, siendo 1 el valor más bajo y 10 el más alto para la intensidad del atributo en cuestión. e.e.- error estándar. ^{x,y,z}.- superíndices distintos en la misma fila implican diferencias significativas entre tipos de cocinado ($p < 0,05$).

Compuestos aromáticos

En la Tabla 6 se muestran las medias y la significación de los efectos estudiados sobre los compuestos aromáticos detectados. Se identificaron 50 compuestos aromáticos, aunque no todos ellos se encontraron en todas las razas o en todos los tipos de cocinado. Los compuestos se distribuyen en los siguientes grupos: hidrocarburos (n = 27), alcoholes (n = 4), compuestos azufrados (n = 3), cetonas (n = 5), ésteres (n = 2) y aldehídos (n = 9).

El perfil de compuestos volátiles depende de muchos factores, como el tiempo, la temperatura y la técnica de extracción (Lorenzo, 2014).

El cruce tuvo menos influencia que el tipo de cocinado, ya que el primero afectó a 17 de los compuestos volátiles identificados mientras que el cocinado afectó a 41 compuestos. Se encontró una interacción significativa entre efectos para 15 de los compuestos, especialmente hidrocarburos, aunque en aras de una lectura más ágil no se muestra el valor de la interacción en la Tabla 6. Los compuestos afectados por la interacción fueron: 1,1'-oxibis-etano, 2-metilpentano, 2-metilheptano, 3-metilheptano, metil-ciclohexano, 1,2,4-trimetil-hexano, tolueno, m-xileno, 1,4-benceno, tiobis-metano, tiourea, acetato de etilo y heptanal.

El cruce afectó al porcentaje de alcoholes, compuestos azufrados y cetonas ($p \leq 0,000$), pero no al resto de los compuestos ($p > 0,05$). Las diferencias en la proporción de alcoholes se deben sobre todo al etanol. La tiourea sólo se detectó en el cruce RExRE y la concentración de tiobismetano fue menor en el cruce LIxRE que en el resto. La 2-propanona y la 2-butanona son las responsables de las diferencias en la proporción de cetonas y para ambas, el cruce LIxRE presentó valores más bajos y el cruce RExRE valores más altos.

El proceso de calentamiento es fundamental para el desarrollo del perfil de compuestos aromáticos (Mottram, 1998; Domínguez *et al.,* 2014; Khan *et al.,* 2015) y así, la carne cruda mostró, en general, menor concentración y frecuencia de compuestos que la carne cocinada. Tanto en carne cruda como en carne cocinada, los hidrocarburos y las cetonas presentaron mayores concentraciones que el resto de los compuestos. Los hidrocarburos contribuyen muy débilmente al olor de la carne y tienen, además, umbrales de detección muy altos, mientras que los aldehídos y las cetonas, que se producen hacia los 60°C por rotura de los lípidos, tienen un umbral de detección bajo (Mottram, 1998). Todos los grupos de compuestos excepto las cetonas se vieron afectados por el tipo de cocinado.

Tabla 6. Medias (porcentaje del área total), error estándar y significación (valores de p) de los efectos estudiados (tipo de cocinado y cruce) sobre los compuestos volátiles detectados en el espacio de cabeza dinámico.
Table 6. Means, standard error and signification (p values) of studied effects (cooking method and crossbreeding) on volatile compounds detected in the head-space. Values are% of total peak area.

Compuesto	Cocinado				Cruce				e.e	P cocinado	P cruce
	Crudo	Cocción	Horno	Plancha	RExRE	RExPl	RExLl	RExAS			
1,1 -oxibis-etano	21,262	31,412		4,492	6,667	13,758	16,876	19,720	2,0257	0,000	0,057
Diclorometano			0,007	0,011			0,006	0,011	0,0027	0,301	0,310
2-metilpentano	0,068	0,010			0,071	0,008		0,003	0,0082	0,001	0,001
2-metilheptano		0,017	0,015	0,013	0,020	0,006	0,015	0,002	0,0020	0,006	0,001
3-metilheptano	0,007	0,153	0,100	0,108	0,158	0,046	0,106	0,051	0,0093	0,000	0,000
1-octeno	0,002	0,243	0,110	0,241	0,317	0,087	0,129	0,062	0,0341	0,039	0,045
2-octeno (E)		0,008	0,005	0,021	0,010	0,003	0,017	0,001	0,0037	0,328	0,330
2-octeno [Z]	0,005	0,365	0,127	0,128	0,172	0,152	0,137	0,171	0,0110	0,000	0,162
3-metil-2-heptano	0,002	0,142	0,077	0,081	0,114	0,050	0,086	0,049	0,0059	0,000	0,000
2-octano	0,003	0,146	0,069	0,069	0,086	0,059	0,076	0,066	0,0050	0,000	0,063
2,2,4,6,6-pentametil-heptano	0,101	0,601	0,268	0,329	0,409	0,364	0,276	0,271	0,0208	0,000	0,009
6-Cloro, 4-metil, 2-heptano		0,013	0,006	0,006	0,009	0,003	0,003	0,011	0,0012	0,001	0,027
Decano	0,008	0,056	0,053	0,032	0,040	0,036	0,036	0,039	0,0047	0,000	0,981
Metilciclohexano		0,033	0,029	0,034	0,052	0,006	0,028	0,008	0,0034	0,000	0,000
1,2,4-trimetilciclohexano		0,015	0,002	0,001	0,003	0,004	0,002	0,010	0,0010	0,000	0,006
1-etil, 4-metil (trans)-ciclohexano		0,010	0,004	0,005	0,005	0,003	0,005	0,005	0,0009	0,001	0,842
Propilciclohexano		0,029	0,020	0,013	0,016	0,011	0,012	0,023	0,0027	0,001	0,385
Limoneno	0,001	0,062	0,111	0,047	0,059	0,107	0,031	0,034	0,0139	0,032	0,217
Benceno	0,046	0,019	0,007		0,013	0,007	0,035	0,014	0,0075	0,214	0,557
Tolueno	0,031	0,307	0,158	0,251	0,276	0,142	0,191	0,134	0,0157	0,000	0,001

Tabla 6. Medias (porcentaje del área total), error estándar y significación (valores de p) de los efectos estudiados (tipo de cocinado y cruce) sobre los compuestos volátiles detectados en el espacio de cabeza dinámico (continuación).
Table 6. Means, standard error and signification (p values) of studied effects (cooking method and crossbreeding) on volatile compounds detected in the head-space. Values are% of total peak area (continuation).

Compuesto	Cocinado				Cruce				e.e	P cocinado	P cruce
	Crudo	Cocción	Horno	Plancha	RExRE	RExPl	RExLl	RExAS			
Etilbenceno	0,004	0,027	0,005	0,005	0,015	0,012	0,007	0,009	0,0018	0,000	0,415
M-xileno	0,015	0,113	0,041	0,036	0,068	0,052	0,040	0,048	0,0052	0,000	0,243
Estireno	0,002	0,041			0,007	0,019	0,010	0,008	0,0027	0,000	0,293
1,4-dimetil-benceno	0,001	0,017	0,004	0,005	0,019	0,003	0,002	0,002	0,0022	0,121	0,031
Benzonitrilo	0,022	0,003				0,004	0,011	0,009	0,0024	0,003	0,282
1,2,4-trimetil-benceno		0,004	0,001		0,003			0,001	0,0006	0,169	0,353
1-etil, 3-metil-benceno		0,001	0,002	0,002	0,003	0,001		0,001	0,0007	0,410	0,445
Total hidrocarburos	***21,581***	***33,285***	***1,219***	***5,930***	***8,486***	***14,943***	***18,139***	***20,764***	***20,0276***	***0,000***	***0,087***
Etanol	0,387	0,580	0,290	0,345	0,271	0,962	0,195	0,276	0,0419	0,051	0,000
1-octanol		0,005	0,002			0,005		0,004	0,0008	0,028	0,058
2-etil-1-hexanol		0,006	0,001	0,001	0,005	0,001	0,001	0,001	0,0008	0,032	0,192
1-octen-3-ol		0,045	0,005		0,015	0,026		0,013	0,0059	0,008	0,457
Total alcoholes	***0,387***	***0,636***	***0,298***	***0,347***	***0,291***	***0,994***	***0,196***	***0,294***	***0,0429***	***0,009***	***0,000***
Tiobismetano	1,243	0,073	0,208	0,099	0,572	0,466	0,162	0,482	0,0715	0,000	0,055
Tiourea	0,659	0,008	0,007		0,698				0,0566	0,000	0,000
O-decil-hidroxilamina		0,022	0,004	0,007	0,007	0,007	0,005	0,016	0,0021	0,001	0,272
Total azufrados	***1,902***	***0,103***	***0,219***	***0,107***	***1,278***	***0,474***	***0,166***	***0,498***	***0,1050***	***0,000***	***0,000***

Tabla 6. Medias (porcentaje del área total), error estándar y significación (valores de p) de los efectos estudiados (tipo de cocinado y cruce) sobre los compuestos volátiles detectados en el espacio de cabeza dinámico (continuación).
Table 6. Means, standard error and signification (p values) of studied effects (cooking method and crossbreeding) on volatile compounds detected in the head-space. Values are% of total peak area (continuation).

Compuesto	Cocinado				Cruce				e.e	P cocinado	P cruce
	Crudo	Cocción	Horno	Plancha	RExRE	RExPl	RExLl	RExAS			
2-propanona	10,381	12,932	12,517	13,155	17,818	14,071	8,928	9,002	0,6519	0,437	0,000
2-butanona	1,415	2,109	1,434	1,409	1,907	2,001	0,895	1,751	0,0782	0,001	0,000
2-pentanona	0,001	0,068	0,004	0,003	0,032	0,016	0,007	0,025	0,0043	0,000	0,107
3-Ciclohepteno,1-ona		0,066	0,004	0,001	0,041	0,015	0,004	0,014	0,0098	0,030	0,563
2-heptanona		0,029	0,001		0,012	0,008	0,003	0,008	0,0028	0,000	0,658
Total cetonas	***11,797***	***15,204***	***13,961***	***14,568***	***19,810***	***16,112***	***9,837***	***10,800***	***0,6773***	***0,278***	***0,000***
Acetato de etilo	0,045	0,265	0,032	0,069	0,096	0,136	0,092	0,097	0,0155	0,000	0,489
Acetato de butilo		0,008		0,007	0,010	0,002	0,001	0,002	0,0013	0,041	0,048
Total ésteres	***0,045***	***0,273***	***0,032***	***0,076***	***0,106***	***0,138***	***0,093***	***0,099***	***0,0155***	***0,000***	***0,544***
Hexanal	0,037	18,261	30,040	2,279	5,793	6,433	5,380	6,570	0,6296	0,000	0,651
Pentanal		1,927	0,267	0,124	0,471	0,631	0,589	0,678	0,0726	0,000	0,470
2-meti-propanal		0,019	0,038	0,297	0,101	0,108	0,080	0,060	0,0119	0,000	0,430
Butanal	0,002	0,010				0,001	0,003	0,008	0,0015	0,052	0,281
3-metil- butanal		0,008		0,264	0,067	0,074	0,071	0,053	0,0139	0,000	0,948
2-metil-butanal		0,001		0,272	0,068	0,073	0,079	0,044	0,0129	0,000	0,701
Octanal		0,240	0,022	0,013	0,074	0,085	0,086	0,035	0,0106	0,000	0,082
Heptanal		0,511	0,059	0,043	0,191	0,183	0,180	0,071	0,0205	0,000	0,009
Nonanal		0,183	0,028	0,043	0,084	0,069	0,059	0,048	0,0075	0,000	0,132
Total aldehídos	***0,039***	***21,162***	***3,453***	***3,333***	***6,848***	***7,657***	***6,528***	***7,567***	***0,7208***	***0,000***	***0,726***

Una casilla en blanco significa que no se ha detectado el compuesto en cuestión.

Para todos los grupos de compuestos excepto para los azufrados, las cantidades detectadas fueron mayores cuando el método de cocinado fue la cocción en baño de agua, lo que no se corresponde con las conclusiones generales de la mayoría de los trabajos, según los cuales, al aumentar la temperatura de cocinado aumenta el nº de compuestos volátiles formados (Mottram, 1998; Domínguez *et al.,* 2014). Sin embargo, según Insausti *et al.* (2005), cuando la temperatura de cocinado no es excesivamente alta (70°C en el presente estudio), la mayoría de los compuestos aromáticos se producen por oxidación de los lípidos, lo cual justificaría que en la carne cocinada en baño de agua la concentración de aldehídos sea más elevada que en el resto de los cocinados.

Dentro de los hidrocarburos, los que presentaron mayor concentración fueron el 1,1'-oxibis-etano, el 2,2,4,6,6-pentametil-heptano y los octenos. El 2,2,4,6,6-pentametilheptano en la carne cruda está relacionado con el flavor a sangre mientras que su presencia en la carne cocinada en plancha se relaciona con el flavor característico a vacuno (Gorraiz *et al.,* 2002). En la carne cocinada al horno, el 1-octeno y el 2-octeno [Z] están relacionados negativamente con el aroma a hígado, por lo que influyen positivamente en la apreciación global. También se encontraron cantidades apreciables de 3-metil-2-hepatno, relacionado positivamente con el flavor característico y de 2-octano, relacionado con el aroma a sangre y el flavor a hígado (Insausti *et al.,* 2002).

El alcohol mayoritario fue el etanol, que aporta un aroma dulce (Revilla *et al.,* 2009). Las dos cetonas que presentaron mayor concentración fueron la 2-propanona y la 2-butanona. Las 2-cetonas son frecuentes en muchos alimentos y dan aromas a mantequilla o queso (Van Ba *et al.,* 2012).

Los ésteres se forman por esterificación de alcoholes y ácidos carboxílicos y tienen umbrales de detección muy bajos (Domínguez *et al.,* 2014). En carne cruda dan olores afrutados pero su presencia en carne cocinada parece deberse a la adición de metanol como estándar interno (Song *et al.,* 2011).

La presencia de aldehídos está relacionada con los procesos de oxidación de los lípidos y entre ellos, el hexanal es el mayoritario debido a que se existen varias rutas que lo originan (Domínguez *et al.,* 2014). Insausti *et al.* (2005) obtuvieron una correlación negativa del hexanal con el flavor a sangre en carne de vacuno madurada 7 días y cocinada al horno y una relación positiva con el flavor característico en carne madurada 14 días. El octanal y el nonanal, se relacionan con el olor a sopa (Arn y Acree, 1998), mientras que el heptanal da olores pungentes y penetrantes (Domínguez *et al.,* 2014).

En base a los resultados obtenidos, se puede concluir que el cruce no afectó a la valoración sensorial, siendo más importantes el efecto de la maduración y del tipo de cocinado. La terneza, el favor a hígado y el flavor ácido aumentaron con el tiempo de maduración, mientras que la jugosidad disminuyó. El tipo de cocinado afectó a la terneza y a la facilidad al tragar, estando ambas variables inversamente correlacionadas. En el perfil de compuestos aromáticos, el cruce tuvo menos influencia que el tipo de cocinado y se encontró una interacción significativa entre efectos para 15 de los compuestos, especialmente hidrocarburos. El cruce afectó al porcentaje de alcoholes, compuestos azufrados y cetonas. Todos los grupos de compuestos excepto las cetonas se vieron afectados por el tipo de cocinado, siendo los hidrocarburos y las cetonas los compuestos mayoritarios. Para todos los grupos de compuestos excepto para los azufrados, las cantidades detectadas fueron mayores cuando el método de cocinado fue la cocción.

Agradecimientos

A Gonzalo Campo, por el trabajo desarrollado. Este trabajo ha sido financiado por el proyecto INIA RTA 2001-106.

Referencias bibliográficas

Ahumada A (1997). Razas bovinas extranjeras y cruzamientos. En: Vacuno de carne: aspectos claves (Ed. Buxadé C). pp. 135-162. Mundi Prensa Libros SA. Madrid, España.

Albertí P, Sañudo C, Santolaria P, Negueruela I, Olleta JL, Mamaqui E, Campo MM, Álvarez F (1995). Calidad de la carne de terneros de raza Parda Alpina y Pirenaica cebados con pienso rico en gluten feed y mandioca. ITEA-Informacion Tecnica Economica Agraria Vol. Extra 16(2): 630-632.

AMSA (2016). Research guidelines for cookery, sensory evaluation and instrumental tenderness measurements of fresh meat. American Meat Science Association. Chicago, EEUU.

Arn H, Acree TE (1998). Flavornet: A database of aroma compounds based on odor potency in natural products. Developments in Food Science 40 (C): 27.

Campo MM, Sañudo C, Albertí P, Olleta JL, Panea B, Guerrero L (1997). Efecto de la maduración sobre la calidad sensorial de la carne en 7 razas bovinas españolas. ITEA-Informacion Tecnica Economica Agraria Vol. Extra 18: 775-777.

Campo MM, Sañudo C, Panea B, Albertí P, Santolaria P (1999). Breed type and ageing time effects on sensory characteristics of beef strip loin steaks. Meat Science 51: 383-390.

Dickerson GE (1973). Inbreeding and heterosis in animals. Journal of Animal Science 1973(1): 54-77.

Domínguez R, Gómez M, Fonseca S, Lorenzo JM (2014). Effect of different cooking methods on lipid oxidation and formation of volatile compounds in foal meat. Meat Science 97: 223-230.

Font i Furnols M, Guerrero L (2014). Consumer preference, behavior and percepetion about meat and meat products: an overview. Meat Science 98: 361-371.

Gama LT, Bressan MC, Rodrigues EC, Rossato LV, Moreira OC, Alves SP, Bessa RJ (2013). Heterosis for meat quality and fatty acid profiles in crosses among *Bos indicus* and *Bos taurus* finished on pasture or grain. Meat Science 93: 98-104.

Gorraiz C, Beriain MJ, Chasco J, Insausti K (2002). Effect of aging time on volatile comounds, odor and flavor of cooked beef from Pireniaca and Friesian bulls and heifers. Journal of Food Science 67: 916-922.

Hughes JM, McPhail NG, Kearney G, Clarke F, Warner RD (2014). Beef *longissimus* eating quality increases up to 20 weeks of storage and is unrelated to meat colour at carcass grading. Animal Production Science 55: 174-179.

Illescas JL, Ferrer S, Bacho O (2009). Vacuno. Guía práctica. Ed. Mercasa. Madrid, España. 251 pp.

Insausti K, Beriain MJ, Gorraiz C, Purroy A (2002). Volatile compounds of raw beef from 5 local Spanish cattle breeds stored under modified atmosphere. Journal of Food Science 67: 1580-1589.

Insausti K, Goñi V, Petri E, Gorraiz C, Beriain MJ (2005). Effect of weight at slaughter on the volatile compounds of cooked beef from Spanish cattle breeds. Meat Science 70: 83-90.

Kerth CR, Miller RK (2015). Beef flavor: a review from chemistry to consumer. Journal of the Science of Food and Agriculture 95: 2783-2798.

Khan MI, Jo C, Tariq MR (2015). Meat flavor precursors and factors influencing flavor precursors –A systematic review. Meat Science 110: 278-284.

Lorenzo JM (2014). Influence of the type of fiber coating and extraction time on foal dry-cured loin volatile compounds extracted by solid-phase microextraction (SPME). Meat Science 96: 179-186.

MacFie HJ, Bratchell N, Greenhoff K, Vallis LV (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.

Meilgaard M, Civille G, Carr B (1991). Basic statistical methods. En: Sensory Evaluation Techniques, 2nd ed, pp. 237-273. CRC Press, Inc., Boston.

Mottram DS (1998). Flavour formation in meat and meat products: a review. Food Chemistry 62: 415-424.

Ngapo TM, Riendeau L, Laberge C, Fortin J (2013). Marbling and ageing – Part 2. Consumer perception of sensory quality. Food Research International 51: 985-991.

Olleta JL, Sañudo C, Monsón F, Campo MM, Panea B, Albertí P, Christensen M, Ertbjerg P, Failla S, Gigli S, Hocquette JF, Hughes SI, Williams JL, Nute GR (2008). Sensory evaluation of several European cattle breeds. En: Mediterranean livestock production: uncertainties and opportunities (Eds. Olaizola A, Boutonnet JP, Bernués A) pp. 297-300. CIHEAM / Universidad de Zaragoza / CITA, Zaragoza (España).

Panea B (2002). Influencia de la raza-sistema productivo sobre el tejido conjuntivo y la textura de la carne bovina. Tesis Doctoral. Universidad de Zaragoza. 226 pp.

Panea B, Monsón F, Olleta JL, Martínez-Cerezo S, Pardos JJ, Sañudo C (2003). Estudio textural de la carne de vacuno. II. Análisis sensorial. ITEA-Informacion Tecnica Economica Agraria Vol.Extra 24: 31-33.

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-Informacion Tecnica Economica Agraria 112(3): 286-300.

Revilla I, Vivar-Quintana AM, Lurueña-Martínez MA, Palacios C, Wilches D, Rovira J, Jaime I (2009). Analisis de compuestos volatiles de carne de lechazo de produccion ecologica y convencional. En: XIII Jornadas sobre Producción Animal, Tomo II (Ed. AIDA), pp. 523-525. INO Reproducciones, S.A. Zaragoza.

Ripoll G, Blanco M, Albertí P, Panea B, Joy M, Casasús I (2014). Effect of two Spanish breeds and diet on beef quality including consumer preferences. Journal of the Science of Food and Agriculture 94: 983-992.

Santolaria P, Sañudo C, Albertí P, Campo MM (1997). Estudio de la calidad organoléptica de la carne de añojo de siete razas españolas mediante una prueba de consumidores. ITEA-Informacion Tecnica Economica Agraria 93A: 89-97.

Sinclair KD, Cuthbertson A, Rutter A, Franklin MF (1998). The effects of age at slaughter, genotype and finishing system on the organoleptic properties and texture of bull beef from suckled calves. Animal Science 66: 329-340.

Song S, Zhang X, Hayat K, Liu P, Jia C, Xia S, Xiao Z, Tian H, Niu Y (2011). Formation of the beef flavour precursors and their correlation with chemical parameters during the controlled thermal oxidation of tallow. Food Chemistry 124: 203-209.

Van Ba H, Hwang I, Jeong D, Touseef A (2012). Principle of meat aroma flavors and future prospect. En: Latest Research into Quality Control (Ed. Akya I), pp. 145-176. IntechOpen Limited, London, UK.

Van Den Dool H, Kratz P (1963). A generalisation of the retention index system including linear temperature programmed gas-liquid partition chromatography. Journal of Chromatography A 11: 463-471.

Vieira C, García-Cachán MD, Recio MD, Domínguez M, Sanudo C (2006). Effect of ageing time on beef quality of rustic type and rustic x Charolais crossbreed cattle slaughtered at the same finishing grade. Spanish Journal of Agricultural Research 4: 225-234.

Wood JD, Richardson RI, Nute GR, Fisher AV, Campo MM, Kasapidou E, Sheard PR, Enser M (2004). Effects of fatty acids on meat quality: a review. Meat Science 66: 21-32.

Wood JD, Enser M, Fisher AV, Nute GR, Sheard PR, Richardson RI, Hughes SI, Whittington FM (2008). Fat deposition, fatty acid composition and meat quality: a review. Meat Science 78: 343-358.

Yancey EJ, Dikeman ME, Hachmeister KA, Chambers E, Milliken GA (2005). Flavor characterization of top-blade, top-sirloin, and tenderloin steaks as affected by pH, maturity, and marbling. Journal of Animal Science 83: 2618-2623.

(Aceptado para publicación el 4 de diciembre de 2018)

Solubilidad del colágeno y textura de la carne bovina cocinada al vacío: efecto del tiempo de maduración y de la temperatura de cocinado

B. Panea* y G. Ripoll

Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón-Instituto Agroalimentario de Aragón (CITA-IA2). Avenida de Montañana 930, 50059, Zaragoza, España

Resumen

La cocina al vacío se está utilizando de manera creciente en la restauración porque presenta varias ventajas sobre el cocinado tradicional pero tanto la presión de vacío como la temperatura de cocinado condicionan la textura de la carne. Este trabajo estudia, en dos razas bovinas de aptitudes diferentes, los cambios que ocurren en la textura de la carne y la solubilidad del colágeno en función de la temperatura de cocinado y el tiempo de maduración. Se utilizaron 13 animales de raza Pirenaica y 12 de raza Frisona. El músculo *Longissimus lumborum et thoracis* se fileteó siguiendo un diseño factorial con tres tiempos de maduración (7, 14 y 21 días) y 4 temperaturas de cocinado para la textura (crudo, 55°C, 65°C y 70°C), o 3 temperaturas para el colágeno insoluble y las pérdidas por cocinado (55°C, 65°C y 70°C). La maduración tuvo un menor efecto que la temperatura de cocinado sobre la textura de la carne. El porcentaje de pérdidas por cocinado aumentó con la temperatura. La solubilidad del colágeno se vio poco afectada por la temperatura en el rango 50°C-70°C. En general, la dureza del músculo fue mayor en crudo que cocinada a 55°C, y se fue incrementando con la temperatura. A la vista de los resultados, no recomendaríamos cocinar la carne por encima de 65°C, ya que por encima de esta temperatura se ve comprometida la textura.

Palabras clave: Dureza, maduración, solubilidad, temperatura, vacuno.

Collagen solubility and beef meat texture under vacuum-cooking: effect of cooking temperature and ageing time

Abstract

Sous-vide or under-vacuum cooking is being used increasingly in restoration because it has several advantages, but both vacuum pressure and cooking temperature affect meat texture. This paper investigates, in two cattle breeds of different aptitudes, meat texture and collagen solubility in function of the cooking temperature and ageing time. 13 animals from Pirenaica breed and 12 from Frisona breed were used. Muscle *Longissimus thoracis et lumborum* was chopped following a design of three ageing times (7, 14 and 21 days) and 3 or 4 cooking temperatures: raw, 55°C, 65°C and 70°C for texture; 55°C, 65°C and 70°C for insoluble collagen and cooking losses. Ageing had less effect than temperature on meat texture. The percentage of cooking losses increased as temperature did. The solubility of collagen was slightly affected by the temperature in the range 50°C-70°C. In the range 50°C-70°C muscles suffered great conformational changes. In general, toughness decreased until to 55°C and increased slightly since then. In view of the results, we would not recommend cooking the meat above 65°C since above it texture would be adversely affected.

Keywords: Toughness, ageing, solubility, temperature, beef.

* Autor para correspondencia: bpanea@aragon.es

Cita del artículo: Panea B, Ripoll G (2019). Solubilidad del colágeno y textura de la carne bovina cocinada al vacío: efecto del tiempo de maduración y de la temperatura de cocinado. ITEA-Información Técnica Económica Agraria 115(2): 163-174. https://doi.org/10.12706/itea.2018.034

Introducción

La cocina al vacío se está utilizando de manera creciente en la restauración porque presenta varias ventajas: facilita la logística de la cocina, mejora las condiciones higiénico-sanitarias al reducir el procesado y manipulación y aporta texturas nuevas, posibilitando la creación de nuevas recetas. La cocina al vacío tiene dos características fundamentales: 1. el alimento está sometido a una presión de vacío y 2. se controla escrupulosamente la temperatura de cocinado. Pero tanto la presión de vacío (Baldwin, 2012) como la temperatura de cocinado condicionan enormemente la textura de la carne (Combes *et al.,* 2003; Obuz *et al.,* 2003; Panea *et al.,* 2010). Normalmente, en la carne se utilizan temperaturas bajas, con tiempos largos en piezas grandes y cortos en piezas pequeñas, y un terminado final para la superficie (Kadam *et al.,* 2015; Rocá *et al.,* 2016). Así, por ejemplo, Rocá *et al.* (2016), teniendo en cuenta el gusto de los consumidores españoles, recomiendan 55°C para un solomillo al punto y 70°C para uno muy hecho. Pero en el rango 55°C-70°C ocurren en el músculo una gran cantidad de trasformaciones estructurales que afectan a la textura de la misma (Purslow, 1985; Palka y Daun, 1999; Christensen *et al.,* 2000; Palka, 2003; Christensen *et al.,* 2011b; Christensen *et al.,* 2013; Purslow *et al.,* 2016), ya que el calor solubiliza el colágeno y desnaturaliza las proteínas miofibrilares y sarcoplásmicas. Además, el grado en que la textura se ve afectada por el calentamiento varía en función del tiempo de maduración de la carne y de la raza (Palka, 2003; Kolczak *et al.,* 2007; Panea *et al.,* 2008b; Panea *et al.,* 2010).

Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo fue estudiar, en dos razas bovinas de aptitudes diferentes, los cambios que ocurren en la textura de la carne y la solubilidad del colágeno en función de la temperatura de cocinado y el tiempo de maduración.

Material y métodos

Se utilizaron 25 animales, 13 de raza Pirenaica y 12 de raza Frisona. La raza Pirenaica es una raza de aptitud cárnica, autóctona de la cordillera Pirenaica, integrada en el Catálogo oficial de razas de ganado (BOE, 2009) como raza autóctona de fomento (http://feagas.com/razas/bovino/pirenaica/). La raza Frisona es la raza lechera más extendida a nivel mundial y está reconocida en el Catálogo Oficial de Razas de España como una raza española integrada en España, ya que supone el 40% del censo total de dicha cabaña (http://feagas.com/razas/bovino/frisona/). Por lo tanto, se eligieron estas dos razas como representantes de los dos grandes grupos de aptitud productiva del ganado vacuno: carne o leche. Los animales procedían de granjas comerciales y se compraron en los mataderos de Fribin, S.L. (Huesca), La Protectora (Pamplona) y Profesionales de la Carne, S.L. (Zaragoza).

Todos los animales presentaron un grado de engrasamiento 2 en la escala SEUROP, lo que implica que los animales de la raza Pirenaica se sacrificaron con 400 días de edad y un peso de canal fría de 173 Kg y los animales de la raza Frisona se sacrificaron con 300 días de edad y 113 Kg de canal fría.

A las 24 horas *post-mortem* se extrajeron los chuleteros de las medias canales izquierdas desde la 5ª vértebra torácica hasta el final de la zona lumbar, que fueron transportados en refrigeración al laboratorio del CITA. Se extrajo el m. *Longissimus thoracis et lumborum*, se midió el pH en la parte craneal y se obtuvo un filete de 1 cm de espesor para la determinación de la cantidad total de colágeno en carne cruda. La muestra se envasó en una bolsa de vacío de polietileno de baja densidad y poliamida (LDPE/PA/LDPE, 75 m de espesor, permeabilidad al oxígeno de 52,2 cm^3/m^2 y día a 1 atm de presión, 75% de humedad relativa (RH) y 23°C y una permeabilidad al vapor de agua de 2,4 g/m^2 y día a

100% RH, 23°C). Esta muestra se congeló a -20°C con 1 día de maduración, manteniéndose así hasta el día del análisis.

El resto del lomo se fileteó siguiendo un diseño factorial con tres tiempos de maduración (7, 14 y 21 días) y 4 temperaturas de cocinado para la textura (crudo, 55°C, 65°C y 70°C), o 3 para el colágeno insoluble y las pérdidas por cocinado (55°C, 65°C y 70°C). Las muestras se pesaron previamente al cocinado y todas las muestras sometidas a calor se cocinaron siempre dentro de la bolsa de vacío (con las características descritas arriba) y registrando la temperatura del filete mediante un termómetro Testo Datlogger 177-T4 con termopares tipo T.

Para la determinación de la textura, se cortaron las muestras en forma de paralelepípedo con una sección de 1 cm^2 y configuración longitudinal (Honikel, 1998). Para el ensayo se utilizó un Instron 5543 equipado con una célula de Warner-Bratzler (WB) y otra de compresión (Lepetit y Culioli, 1994). Se registraron el esfuerzo de cizalla en WB (esfuerzo WB) y la fuerza de compresión a tasas del 20% (C_{20}), 80% (C_{80}) y 100% (C_{100}) de la máxima compresión posible (N/cm^2). La concentración de colágeno se determinó por el método de Bonnet y Kopp (1984). Se utilizó un coeficiente de conversión de 8 para la hidroxiprolina y los resultados se expresan como mg de colágeno/g de músculo.

Con los filetes de los ensayos de textura y colágeno se calcularon las pérdidas por cocinado, expresándose como (peso crudo-peso cocinado) x 100/peso crudo.

Un esquema del diseño puede verse en la Figura 1.

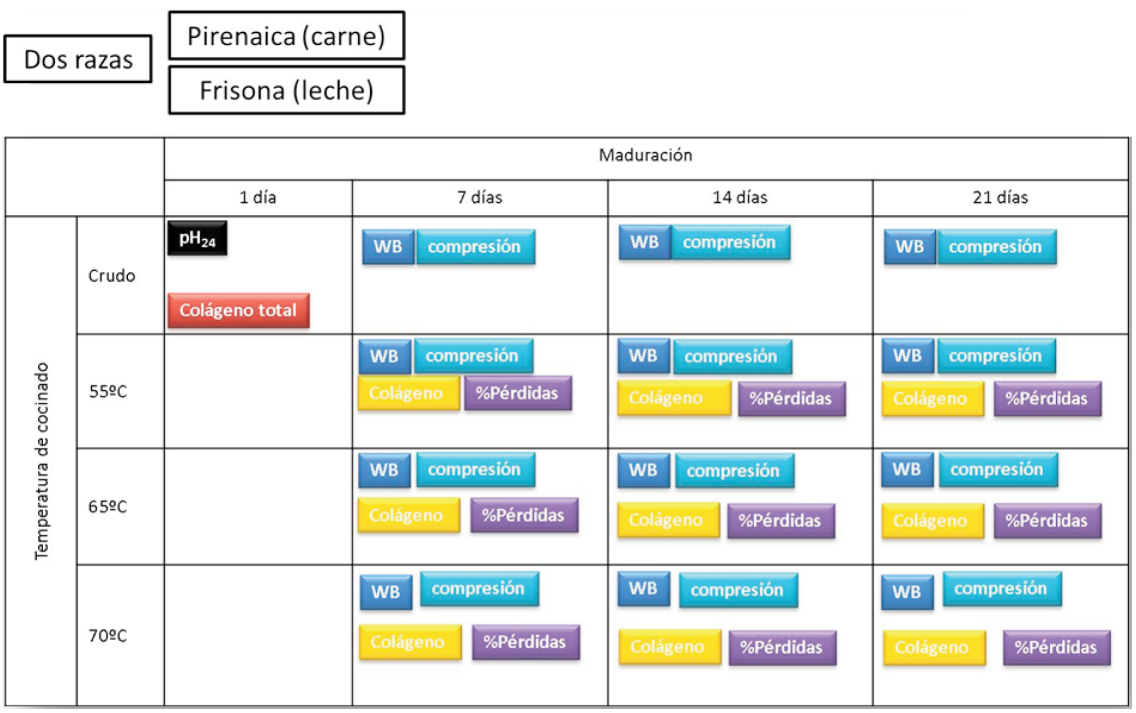


Figura 1. Esquema del diseño experimental.
Figure 1. Experimental design.

Análisis estadísticos

Los análisis se han realizado intra-raza, ya que la comparación racial no es el objetivo del presente trabajo. El efecto de la maduración y temperatura de cocinado sobre las variables de textura, la cantidad de colágeno insoluble y las pérdidas por cocinado se estudió por medio de un GML. Para todas las variables se calcularon las medias y error estándar. Las diferencias entre medias se establecieron con un test de Duncan ($p < 0,05$). Se utilizó el programa SPSS 13.0.

Resultados

El pH_{24} fue de 5,5 que se encuentra en el rango normal para la especie y permite descartar efectos sobre el resto de las variables estudiadas (Panea, 2002; Monsón *et al.,* 2004; Panea *et al.,* 2008a; Panea *et al.,* 2010).

En la Tabla 1 se presenta la significación de los efectos estudiados sobre las variables de textura, colágeno insoluble y pérdidas por cocinado. En general, la maduración tuvo un efecto mucho menor que la temperatura. Así, sólo afectó significativamente al C_{20} en la raza Pirenaica ($p = 0,013$) y se han encontrado interacciones entre efectos para el C_{20} en la raza Pirenaica ($p = 0,038$) y para la cantidad de colágeno insoluble en la raza Frisona ($p = 0,017$).

Tabla 1. Significación (valor de p) de los efectos estudiados (tiempo de maduración y temperatura de cocinado) sobre las variables de textura, la cantidad de colágeno insoluble y las pérdidas por cocinado en carne de dos razas bovinas.
Table 1. p values for studied effects (ageing time and cooking temperature) on texture variables, insoluble collagen amount and cooking losses in meat from two bovine breeds.

	Pirenaica			Frisona		
	M	T	MxT	M	T	MxT
Esfuerzo WB (N/cm^2)	0,070	0,102	0,748	0,108	0,017	0,774
C_{20} (N/cm^2)	0,013	0,000	0,038	0,789	0,103	0,860
C_{80} (N/cm^2)	0,230	0,004	0,400	0,513	0,004	0,234
C_{100} (N/cm^2)	0,284	0,020	0,341	0,346	0,005	0,469
Colágeno insoluble (mg/g músculo)	0,084	0,000	0,189	0,348	0,000	0,017
Pérdidas por cocinado (%)	0,421	0,000	0,631	0,907	0,000	0,057

M: tiempo de maduración; T: temperatura de cocinado; Esfuerzo WB: esfuerzo máximo de cizalla en WB; C_{20}: fuerza de compresión a tasas del 20% de la máxima compresión posible; C_{80}: fuerza de compresión a tasas del 80% de la máxima compresión posible; C_{100}: fuerza de compresión a tasas del 100% de la máxima compresión posible.

Sin embargo, la temperatura afectó a todas las variables excepto al esfuerzo WB en la raza Pirenaica ($p = 0,102$) y al C_{20} en la raza Frisona ($p = 0,103$).

En la Figura 2 se representa gráficamente la evolución de los parámetros estudiados con el aumento de la temperatura. Aunque en la raza Pirenaica no hay efecto de la temperatura sobre el esfuerzo WB y en la raza Frisona

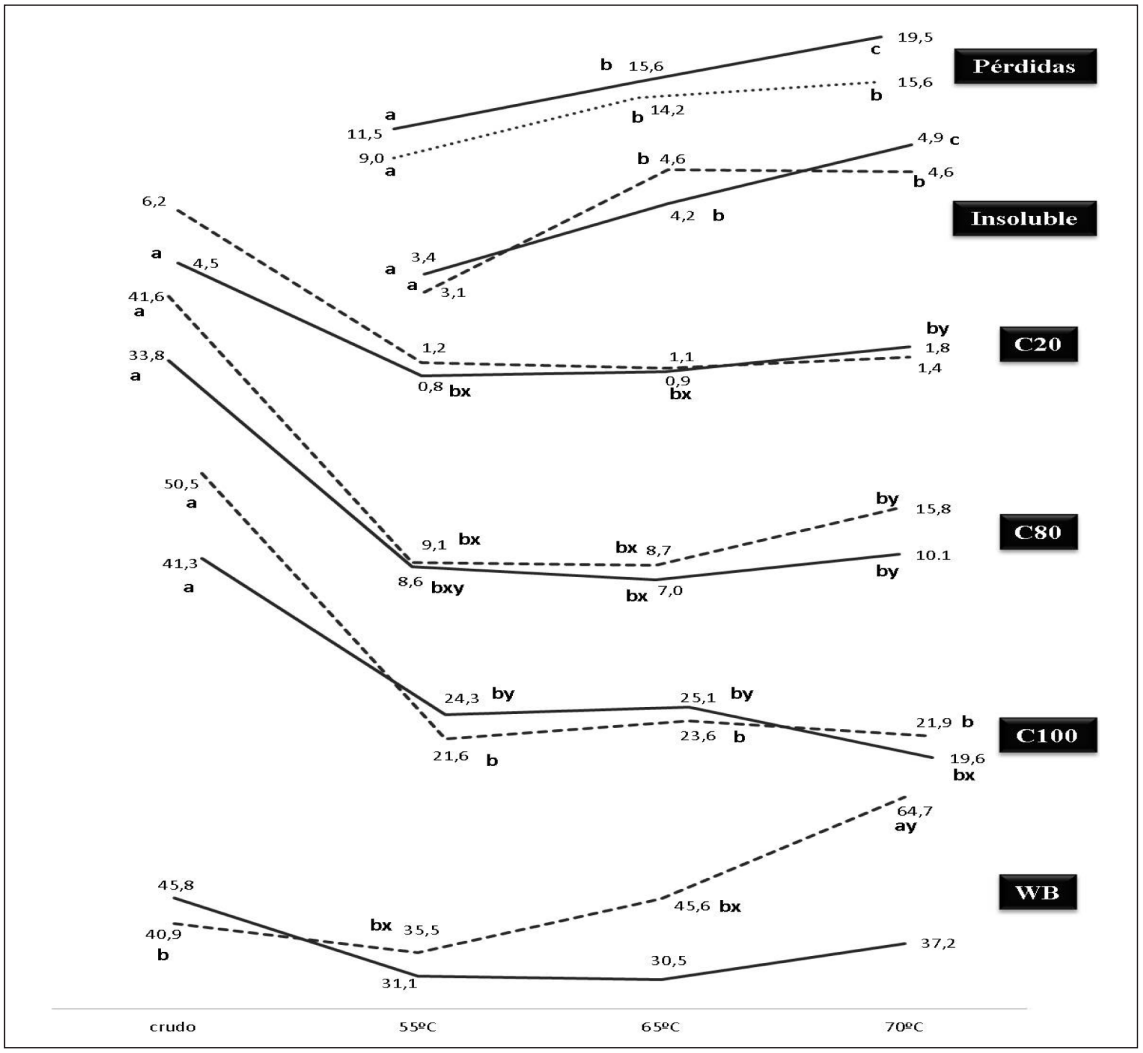


Figura 2. Influencia de la temperatura de cocinado sobre las variables de textura, la cantidad de colágeno insoluble y las pérdidas por cocinado en carne de dos razas bovinas.
Los valores de cada variable aparecen junto a la línea correspondiente.

Línea continua: Pirenaica; Línea discontinua: Frisona; Insoluble: cantidad de colágeno insoluble (mg/g); pérdidas: porcentaje de pérdidas de peso por cocinado; WB: esfuerzo máximo de cizalla en WB; C_{20}: fuerza de compresión a tasas del 20% de la máxima compresión posible; C_{80}: fuerza de compresión a tasas del 80% de la máxima compresión posible; C_{100}: fuerza de compresión a tasas del 100% de la máxima compresión posible.

Variables de textura expresadas en N/cm^2; a,b: diferencias entre temperaturas; x,y: diferencias entre temperaturas sin contar la carne cruda.

Figure 2. Influence of cooking temperature on texture variables, insoluble collagen amount and cooking losses in meat from two bovine breeds. Values for each variable appear next to the correspondent line.

no hay efecto de la temperatura sobre el C_{20}, en la Figura 2 se han representado también estas variables para ayudar a la compresión de la evolución de la textura con la temperatura. Para poder representar todas las curvas en una sola figura, se han eliminado los ejes de abscisas y los valores de cada variable se presentan junto a cada curva. Las líneas continuas corresponden a la raza Pirenaica y las discontinuas, a la Frisona.

Los valores para las pérdidas por cocinado oscilan entre el 12% y el 20% en la Pirenaica (error estándar (e.e.) = 0,9) y el 9% y 16% en la Frisona (e.e. = 0,7). En ambas razas, el porcentaje de pérdidas por cocinado va aumentando al hacerlo la temperatura pero mientras que en la raza Pirenaica lo hace de forma gradual, en la raza Frisona, hay un aumento entre 55°C y 65°C, para estabilizarse después.

En ambas razas, la cantidad de colágeno insoluble varía muy poco en función de la temperatura en el rango estudiado (Figura 2). En la raza Pirenaica, la cantidad de colágeno insoluble aumenta paulatinamente al hacerlo la temperatura, pero en la raza Frisona se encontró una interacción maduración-temperatura y así, en la Tabla 2 puede verse que en la raza Frisona hay un aumento paulatino con la temperatura en carne madurada 21 días, pero en la carne madurada 7 o 14 días, hay un pico máximo a los 65°C. La cantidad de colágeno total en carne cruda fue de 5,2 mg/g en la raza Pirenaica y de 5,3 mg/g en la Frisona (datos no tabulados), no existiendo diferencias entre razas (p = 0,446). Por lo tanto, el porcentaje de colágeno insoluble estaba siempre por encima del 60%. En nuestro laboratorio, la metodología estándar para la determinación de colágeno insoluble se hace con carne madurada 1 día y cocinada a 90°C. El dato es de 2,5 mg/g para la Pirenaica y de 2,4 mg/g para la Frisona, no existiendo diferencias entre razas (p = 0,496). Es decir, incluso a 90°C, sigue habiendo un 45% de colágeno insoluble en la carne.

Hay un descenso del C_{20} al pasar de carne cruda a carne cocinada a 55°C, y se mantiene a partir de entonces. El comportamiento del C_{80} es similar en ambas razas y muy parecido al del C_{20}. En cuanto al $C_{100,}$ existe en ambas razas un descenso acusado hasta 55°C y mantenimiento entre 55°C y 65°C, pero a partir de 65°C desciende en la Pirenaica y se mantiene constante en la Frisona. Por último, el

Tabla 2. Medias para la cantidad de colágeno insoluble (mg/g músculo) y valor de p para los efectos estudiados (tiempo de maduración y temperatura de cocinado) en la carne de dos razas bovinas.
Table 2. Means for insoluble collagen amount (mg/g muscle) and p values for studied effects (ageing time and cooking temperature) in meat from two bovine breeds.

		Temperatura de cocinado			Valor de p		
		M	T	MxT	M	T	MxT
Frisona	7 días	2,93[a]	4,63[b]	4,08[b]	0,384	0,000	0,017
	14 días	3,56	5,26	4,21			
	21 días	2,88[a]	3,97[b]	5,50[c]			
Pirenaica		3,35[a]	4,21[b]	4,93[c]	0,084	0,000	0,189

M: tiempo de maduración; T: temperatura de cocinado; [a,b,c]: letras diferentes en la misma fila indican diferencias significativas entre temperaturas (p < 0,05).

esfuerzo WB no se vio afectado por la temperatura de cocinado en la raza Pirenaica pero en la raza Frisona aumenta progresivamente a partir de los 55°C. Las diferencias entre carne cruda y cocinada son tan grandes que enmascaran las diferencias debidas a la temperatura de cocinado. Si se elimina la carne cruda del análisis, el paso de 65°C a 70°C produce un ligero incremento en los valores de C_{20}, C_{80} y esfuerzo WB y un ligero descenso en los valores de C_{100}.

Discusión

La carne tiene una estructura compleja y todos sus componentes contribuyen a la dureza de la misma. Sin embargo, cada uno de los componentes responde de distinta manera al calentamiento y a la maduración.

Pérdidas por cocinado

Los valores para las pérdidas por cocinado coinciden con los descritos por otros autores en las mismas razas (Sañudo *et al.,* 1998; Martínez-Cerezo *et al.,* 2001; Panea *et al.,* 2008a; Barahona *et al.,* 2016).

Aunque Palka (2003) describe que las pérdidas de agua son aproximadamente un 3% mayores en carne madurada 12 días que en carne madurada 5 días, la mayoría de los autores señalan una falta de efecto de la maduración sobre las pérdidas por cocinado (Aaslyng *et al.,* 2003; Straadt *et al.,* 2007; Hughes *et al.,* 2014).

El incremento de la pérdidas por cocinado con la temperatura ha sido ampliamente descrito en la bibliografía y puede encontrarse una buena revisión en Hughes *et al.* (2014). Según esta revisión, hacia los 65°C-66°C se detecta el cambio más importante en el flujo de agua dentro del filete, porque se aúnan la contracción del colágeno y la de las fibras musculares. Sin embargo, Purslow *et al.* (2016) concluyen que no hay evidencias de que el colágeno contribuya a aumentar el porcentaje de pérdidas cuando se contrae hacia los 65°C y por tanto, por encima de los 42°C las pérdidas se deben sobre todo a la contracción de las fibras musculares. La contracción longitudinal y transversal de la estructura muscular con el calentamiento provoca una reducción de volumen en el filete que puede llegar al 10% de su volumen y que origina la expulsión de agua libre, ya que aproximadamente el 80% del agua del músculo está ligada a las proteínas miofibrilares (Baldwin, 2012). En el presente trabajo el cambio fue gradual en la raza Pirenaica pero en la raza Frisona fue mucho más marcado entre 55°C y 65°C. Así, si en la raza Frisona calculamos el incremento en las pérdidas como porcentaje sobre la diferencia máxima, el 79% del incremento se produce en el rango 55°C-65°C.

Colágeno insoluble

Los valores de solubilidad del colágeno coinciden con los de otros autores en las mismas razas (Sañudo *et al.,* 1998; Panea *et al.,* 1999; Panea, 2002). En el presente trabajo no se encontró efecto de la maduración sobre la cantidad de colágeno insoluble, aunque algunos autores señalan que durante la maduración hay proteólisis del colágeno y esto incrementa la cantidad de colágeno que puede solubilizarse (Wu *et al.,* 1985; Purslow, 2005). En el presente estudio se encontró una interacción entre temperatura y tiempo de maduración para la raza Frisona, lo que estaría de acuerdo con los resultados encontrados por Palka (2003), quien señala que cuando la maduración es corta (5 días) hay un aumento de la solubilidad entre 70°C y 80°C, y un descenso entre 80°C y 90°C pero que cuando la maduración es larga (12 días) no hay cambios entre 80°C y 90°C.

Los cambios en la estructura del endomisio y perimisio con el aumento de la temperatura

están bien documentados en la bibliografía (Wu *et al*., 1985; Rowe, 1989; Palka y Daun, 1999). En la carne cruda no se observan grandes cambios en la estructura, pero a 60°C el endomisio pierde su aspecto fibroso y empieza a gelatinizarse. A 70°C se completa la contracción del endomisio y a 80°C el perimisio aparece coagulado. A 90°C, la estructura se vuelve amorfa. Algunos estudios de calorimetría han demostrado que hay un pico endotérmico a 68°C y otro a 77°C, es decir, que a esas temperaturas hay algún cambio conformacional en el músculo pero sigue sin estar claro cuánto colágeno sigue sin desnaturalizar por debajo de 68°C (Christensen *et al.,* 2013). Por lo tanto, debería esperarse un incremento de la solubilidad con el aumento de la temperatura, lo que no ocurre en nuestro experimento. Este desacuerdo podría explicarse en parte por las condiciones de solubilización empleadas. En la mayoría de los trabajos la cantidad de colágeno soluble se determina en carne picada y con una solución tamponada de pH neutro, pero en el presente trabajo el filete se cocinó entero y sin líquido de gobierno, excepto la propia agua expelida por el filete. En estas condiciones y a partir de nuestros resultados, cabe plantear la hipótesis de que la contracción de la estructura miofibrilar y la consiguiente pérdida de agua libre, así como la degradación de las proteínas sarcoplásmicas, que se completa hacia los 60°C, está afectando a la cantidad de colágeno que se puede extraer del músculo. En cierto modo es como si estos cambios conformacionales protegiesen al colágeno de la solubilización y por eso hay un aumento de la cantidad de colágeno insoluble entre 55°C y 75°C. Sin embargo, los datos obtenidos en carne cruda a 90°C, que se realizaron en carne picada siguiendo el procedimiento habitual del laboratorio (Bonnet y Kopp, 1984) dejan claro que a temperaturas altas el músculo está completamente degradado y el agua expulsada actúa como solución. Esta idea vendría reforzada por los estudios de Powell *et al.* (2000) que aportan dos conclusiones importantes: a) la fracción de colágeno soluble en una solución Ringer no aumenta con el incremento de temperatura en el rango 50°C-70°C y b) a 50°C, el 70% del colágeno no puede extraerse ni mediante una solución Ringer ni mediante métodos enzimáticos y a 70°C esta fracción representa todavía el 23% del colágeno del músculo.

Textura

Los valores encontrados para las variables de textura coinciden con los descritos por otros autores en las mimas razas (Campo *et al.,* 1998; Sañudo *et al.,* 1998; Lepetit *et al.,* 2000; Martínez-Cerezo *et al.,* 2001; Panea, 2002; Monsón *et al.,* 2004).

Como era esperable, el efecto de la maduración fue menos importante que el de la temperatura de cocinado ya que el efecto de la maduración sobre el C_{20} es más importante sobre todo en la primera semana de maduración, representando alrededor del 65% en la primera semana y del 11% en la segunda (Panea *et al.,* 2008b). Durante la maduración hay un debilitamiento progresivo del perimisio debido a la degradación de los proteoglicanos, lo cual puede hacer que la dureza se reduzca alrededor del 30% en 14 días en carne cruda (Wu *et al.,* 1985) pero este efecto de reducción desaparece cuando se cocina la carne a temperaturas de 60°C o más, ya que entonces la fuerza que ejerce el perimisio es independiente de la maduración (Purslow, 2005).

Palka (2003) demostró en un trabajo con el músculo semitendinoso que existe una interacción maduración-temperatura para el esfuerzo WB. Así, observó un aumento de la dureza con la temperatura, pero mientras que este aumento se producía en maduraciones cortas a partir de los 60°C, había que llegar a los 80°C en maduraciones largas. Esto explicaría que en nuestro experimento el incre-

mento en C_{100} se produzca antes en la carne madurada 7 o 14 días que en la carne madurada 21 días.

La temperatura de cocinado tuvo un efecto claro sobre la textura de la carne, con un descenso marcado del C_{20} y C_{80} y un aumento del esfuerzo WB. Se ha señalado que cuando la ratio de compresión es menor del 40%, los valores del esfuerzo muestran la influencia del componente miofibrilar sobre la textura y cuando la ratio es mayor del 80%, el esfuerzo se debe a la contribución del tejido conjuntivo, pero estas conclusiones se refieren a la carne cruda, que es como suelen realizarse los ensayos con células de compresión (Lepetit, 1991; Lepetit y Culioli, 1994; Lepetit, 2008). Sin embargo, el cocinado modifica toda la estructura muscular.

Las proteínas miofibrilares y el colágeno se contraen cuando la carne se cocina, pero las proteínas sarcoplásmicas se expanden. La agregación y gelatinización de las proteínas sarcoplásmicas comienza hacia los 40°C y termina alrededor de los 60°C, reduciendo la dureza de la carne (Baldwin, 2012). La contribución del colágeno a la dureza es mayor a temperaturas inferiores a la de solubilización, proceso que comienza hacia los 65°C. Justo antes de la solubilización se produce un fenómeno de contracción térmica del colágeno y una compactación de las fibras musculares. Esta contracción provoca que el ángulo que forman el perimisio y la fibra muscular, que es de unos 55°C en el músculo en reposo, pase a ser de unos 75°C y eso aumenta su dureza (Grajales *et al.,* 1999) Sin embargo, si calentamos las muestras por encima de la temperatura de contracción, el colágeno se solubiliza y se convierte en gelatina, lo que hace disminuir su resistencia mecánica (Grajales *et al.,* 1999). En consecuencia, a partir de los 60°C la resistencia se debe principalmente a la miofibrilla (Purslow, 2005). Cuando se calienta la carne, se solubilizan las proteínas miofibrilares y esta solubilización aumenta con la temperatura de cocinado, de modo que a 70°C es un 8% mayor que a 55°C y a 75°C, un 92% mayor que a 55°C (Kopp y Valin, 1979). Aún más, las proteínas de los filamentos gruesos y delgados responden de diferente manera al calentamiento en el rango 40°C-80°C. La alfa-actinina se desnaturaliza a 50°C; la miosina a 55°C; las proteínas del sarcoplasma hacia 65°C; la titina a los 73°C; la actina entre 70°C-80ºC, la tropomiosina y la troponina por encima de 80°C y la nebulina permanece intacta por encima de esta temperatura (Palka y Daun, 1999). Además, durante el calentamiento hay una contracción longitudinal que implica el progresivo acortamiento de los sarcómeros y un cambio en el ángulo formado entre el colágeno y la miofibrilla y todos estos cambios se resumen en un aumento de la dureza (Grajales *et al.,* 1999; Palka y Daun, 1999; Lepetit *et al.,* 2000; Panea *et al.,* 2010).

En el presente experimento, hemos encontrado un descenso para las variables de textura hasta los 60°C, lo que coincide con los resultados de otros autores (Combes *et al.,* 2003; Panea *et al.,* 2010; Christensen *et al.,* 2011a; Baldwin, 2012). Nuestros resultados parecen indicar que en el rango 55°C-65°C, el colágeno se está solubilizando y no ejerce un efecto notable sobre la textura de la carne, ya que no se detectan cambios en ninguno de los parámetros estudiados. La falta de correlación entre las características del colágeno y las de textura ya había sido descrita en la bibliografía (Liu *et al.,* 1996; Christensen *et al.,* 2011b). Por otro lado, en el rango 65°C-70°C se duplican los valores de C_{20} en la raza Pirenaica, los valores de C_{80} se incrementan en un 80% en la raza Frisona y en un 44% en la raza Pirenaica y el esfuerzo WB se incrementa en un 41% en la raza Frisona, lo que coincide con trabajos previos de nuestro laboratorio (Panea *et al.,* 1999; Panea, 2002; Panea *et al.,* 2008b; Panea *et al.,* 2010).

Conclusiones

La maduración tuvo un efecto menor que la temperatura de cocinado sobre la textura de la carne. El porcentaje de pérdidas por cocinado aumenta al hacerlo la temperatura. La solubilidad del colágeno se ve poco afectada por la temperatura en el rango 50°C-70°C. En general, la dureza del músculo desciende hasta los 55°C para incrementarse ligeramente a partir de entonces. A la vista de los resultados, no recomendaríamos cocinar la carne por encima de 65°C.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el proyecto INIA RTA2013-0046-C03. Los autores quieren agradecer el trabajo realizado por Carolina Albertí y Rocío Elías en el laboratorio.

Referencias bibliográficas

Aaslyng MD, Bejerholm C, Ertbjerg P, Bertram HC, Andersen HJ (2003). Cooking loss and juiciness of pork in relation to raw meat quality and cooking procedure. Food Quality and Preference 14: 277-288.

Baldwin DE (2012). Sous vide cooking: A review. International Journal of Gastronomy and Food Science 1: 15-30.

Barahona M, Olleta JL, Sañudo C, Albertí P, Panea B, Pérez-Juan M, Realini CE, Campo MM (2016). Effects of whole linseed and rumen-protected conjugated linoleic acid enriched diets on beef quality. Animal 10: 709-717.

BOE (2009). Real Decreto 2129/2008, de 26 de diciembre, por el que se establece el Programa nacional de conservación, mejora y fomento de las razas ganaderas. Boletín Oficial del Estado, núm. 23, de 27 de enero de 2009, pp. 9211-9242.

Bonnet M, Kopp J (1984). Dossage du collagene dans les tissues conjonctifs, la viande et les produits carnes. Cahier Techniques INRA 5: 19-30.

Campo MM, Sañudo C, Panea B, Albertí P, Santolaria P (1998). Breed and ageing time effects on textural sensory characteristics of beef strip loin steaks. Proceedings of 44th International Congress of Meat Science and Technology: Meat Consumption and Culture. August 30th - September 4th, Barcelona, Spain.

Combes S, Lepetit J, Darche B, Lebas F (2003). Effect of cooking temperature and cooking time on Warner-Bratzler tenderness measurement and collagen content in rabbit meat. Meat Science 66: 91-96.

Christensen L, Ertbjerg P, Aaslyng MD, Christensen M (2011a). Effect of prolonged heat treatment from 48 degrees C to 63 degrees C on toughness, cooking loss and color of pork. Meat Science 88: 280-285.

Christensen L, Ertbjerg P, Løje H, Risbo J, van den Berg FW, Christensen M (2013). Relationship between meat toughness and properties of connective tissue from cows and young bulls heat treated at low temperatures for prolonged times. Meat Science 93: 787-795.

Christensen M, Purslow PP, Larsen LM (2000). The effect of cooking temperature on mechanical properties of whole meat, single muscle fibres and perimysial connective tissue. Meat Science 55: 301-307.

Christensen M, Ertbjerg P, Failla S, Sanudo C, Richardson RI, Nute GR, Olleta JL, Panea B, Alberti P, Juarez M, Hocquette JF, Williams JL (2011b). Relationship between collagen characteristics, lipid content and raw and cooked texture of meat from young bulls of fifteen European breeds. Meat Science 87: 61-65.

Grajales A, Lepetit J, Favier R (1999). Geometrical modifications of perimysial connective tissue in meat during cooking. Proceedings of 45th International Congress of Meat Science and Technology: Meat joins countries around the world August 1-6. Yokohama, Japan. pp.522-523.

Honikel KO (1998). Reference methods for the assessment of physical characteristics of meat. Meat Science 49: 447-457.

Hughes JM, Oiseth SK, Purslow PP, Warner RD (2014). A structural approach to undestanding the inter-

actions between colour, water-holding capacity and tenderness. Meat Science 98: 520-532.

Kadam SU, Tiwari BK, O'Donnell CP (2015). 6 - Improved thermal processing for food texture modification A2. En: Modifying Food Texture (Ed. Chen J y Rosenthal A) pp. 115-131. Woodhead Publishing.

Kolczak T, Krzysztoforski K, Palka K (2007). The effect of *post-mortem* ageing and heating on water retention in bovine muscles. Meat Science 75: 655-660.

Kopp J, Valin C (1979). Evolution *post mortem* des propietés de contraction thermique du muscle de bovin. Annales de Technologie Agricole 28: 107-119.

Lepetit J (1991). Theoretical strain ranges in raw meat. Meat Science 29: 271-283.

Lepetit J, Culioli J (1994). Mechanical properties of meat. Meat Science 36: 203-237.

Lepetit J, Grajales A, Favier R (2000). Modelling the effect of sarcomere length on collagen thermal shortening in cooked meat: consequence on meat toughness. Meat Science 54: 239-250.

Lepetit J (2008). Collagen contribution to meat toughness: Theoretical aspects. Meat Science 80: 960-967.

Martínez-Cerezo S, Sañudo C, Olleta JL, Panea B, Serrano X, Castrillo C (2001). Efecto del peso al sacrificio, el sexo y el extrusionado de la dieta sobre la calidad sensorial de la carne en terneros de raza Frisona. ITEA-Informacion Tecnica Economica Agraria Vol. Extra 22: 571-573.

Monsón F, Sañudo C, Sierra I (2004). Influence of cattle breed and ageing time on textural meat quality. Meat Science 68: 595-602.

Obuz E, Dikeman ME,. Loughin TM (2003). Effects of cooking method, reheating, holding time, and holding temperature on beef *longissimus lumborum* and *biceps femoris* tenderness. Meat Science 65: 841-51.

Palka K, Daun H (1999). Changes in texture, cooking losses, and myofibrillar structure of bovine *M. semitendinosus* during heating. Meat Science 51: 237-243.

Palka K (2003). The influence of *post-mortem* ageing and roasting on the microstructure, texture and collagen solubility of bovine *semitendinosus* muscle. Meat Science 64: 191-198.

Panea B, Olleta JL, Beltrán JA, Sañudo C, Campo MM. (1999). Influence of breed in thermal stability of intramuscular bovine collagen. Proceedings of 45th International Congress of Meat Science and Technology: Meat joins countries around the world August 1-6. Yokohama, Japan.

Panea B (2002). Influencia de la raza-sistema productivo sobre el tejido conjuntivo y la textura de la carne bovina. Tesis Doctoral. Universidad de Zaragoza. 226 pp.

Panea B, Albertí P, Olleta JL, Campo MM, Ripoll G, Altarriba J, Sañudo C (2008a). Intrabreed variability and relationships for 41 carcass and meat traits in Pirenaica cattle. Spanish Journal of Agricultural Research 6: 546-558.

Panea B, Sañudo C, Olleta JL, Civit D (2008b). Effect of ageing method, ageing period, cooking method and sample thickness on beef textural characteristics. Spanish Journal of Agricultural Research 6: 25-32.

Panea B, Catalán A, Olleta JL (2010). Efecto de la raza y temperatura interna de cocinado sobre algunas carcaterísticas de la textura de la carne bovina. ITEA-Informacion Tecnica Economica Agraria 106: 77-88.

Powell TH, Hunt MC, Dikeman ME (2000). Enzymatic assay to determine collagen thermal denaturation and solubilization. Meat Science 54: 307-311.

Purslow PP (1985). The physical basis of meat texture: Observations on the fracture behavior of cooked bovine *M. Semitendinosus*. Meat Science 12: 39-60.

Purslow PP (2005). Intramuscular connective tissue and its role in meat quality. Meat Science 70: 435-447.

Purslow PP, Oiseth S, Hughes J, Warner RD (2016). The structural basis of cooking loss in beef: Variations with temperature and ageing. Food Research International 89: 739-748.

Rocá J, Universa, Girona Ud (2016). Introducción a la cocina al vacío de El Celler de Can Roca.

Rowe RWD (1989). Microscopy of bovine muscle: II. The effects of heat denaturation on post rigor sarcolema and endomisium. Meat Science 26: 281-294.

Sañudo C, Albertí P, Campo MM, Olleta JL, Panea B (1998). Calidad instrumental de la carne de bovino de siete razas españolas. Archivos de Zootecnia 48: 397-402.

Straadt IK, Rasmussen M, Andersen HJ, Bertram HC (2007). Aging-induced changes in microstructure and water distribution in fresh and cooked pork in relation to water-holding capacity and cooking loss – A combined confocal laser scanning microscopy (CLSM) and low-field nuclear magnetic resonance relaxation study. Meat Science 75: 687-95.

Wu FY, Dutson TR, Smith SB (1985). A scanning electron microscopic study of heat-induced alterations in bovine connective tissue. Journal of Food Science 50: 1041-1044.

(Aceptado para publicación el 20 de noviembre de 2018)

Estimación del impacto económico de *Xylella fastidiosa* en Aragón

Y. Martínez[1] y A. Palacio-Bielsa[2,*]

[1] Universidad de Zaragoza. Departamento de Análisis Económico. Instituto Agroalimentario de Aragón – IA2 (Universidad de Zaragoza-CITA), Gran Vía, 2-4, 50005, Zaragoza, España

[2] Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón. Unidad de Sanidad Vegetal. Instituto Agroalimentario de Aragón – IA2 (CITA-Universidad de Zaragoza), Avda. Montañana 930, 50059, Zaragoza, España

Resumen

La aparición de *Xylella fastidiosa* en 2017 en la península ibérica ha provocado una preocupación creciente en Comunidades Autónomas como Aragón, con una superficie importante de cultivos sensibles a la bacteria y de gran importancia económica. En este artículo se estima el impacto económico de una potencial infección de *X. fastidiosa* en Aragón bajo dos escenarios: presencia no confirmada (situación actual) y presencia confirmada. El trabajo recopila la información de costes públicos que se están asumiendo en la Comunidad Autónoma como consecuencia de la puesta en marcha de medidas cautelares para impedir la entrada y dispersión de la bacteria, y estima los costes privados y públicos que conllevaría la aparición de *X. fastidiosa* en plantaciones de cultivos leñosos y alfalfa, viveros y encinar trufero. Asimismo, presenta un mapa de riesgo de infección por comarcas agrarias. Los resultados muestran que los costes privados por provincia y cultivo oscilan entre 745 y 5.193 €/ha en regadío y entre 136 y 3.407 €/ha en secano. Los costes totales (públicos y privados) por brote de infección ascienden a 600.000 € en caso de afectar a una explotación comercial de leñosos, a lo que habría que añadir 31.958 €/ha en caso de que quedara afectado un vivero y entre 500 y 90.000 €/ha en caso del encinar trufero.

Palabras clave: Bacteria fitopatógena, valoración económica, costes públicos y privados, medidas cautelares, medidas de erradicación.

Estimation of the economic impact of *Xylella fastidiosa* in Aragón

Abstract

The appearance of *Xylella fastidiosa* in 2017 in the Iberian Peninsula has caused growing concern in regions such as Aragón, with a large area of crops sensitive to bacteria and of great economic importance. The aim of this paper is to estimate the economic impact of a potential infection of *X. fastidiosa* in Aragón under two scenarios: unconfirmed (current situation) and confirmed presence. The information on private and public costs is collected to evaluate the economic impact of the implementation of preventive measures to avoid the introduction and spread of *X. fastidiosa* in woody crops, alfalfa fields, nurseries and truffle-oaks plantations. Also, a map of potential infection risk by agricultural regions is shown. The results show that private costs per province and crop range between 745 and 5,193 €/ha

* Autor para correspondencia: apalaciob@aragon.es

Cita del artículo: Martínez Y, Palacio-Bielsa A (2019). Estimación del impacto económico de *Xylella fastidiosa* en Aragón. ITEA-Información Técnica Económica Agraria 115(2): 175-191. https://doi.org/10.12706/itea.2019.008

in irrigated land and between 136 and 3,407 €/ha in dry land. The costs per infection outbreak amount to 600,000 € in the case of affecting woody crops, to which 31,958 €/ha would have to be added if a nursery was affected and between 500 and 90,000 €/ha in case of a truffle-oaks plantation.

Keywords: Phytopathogenic bacteria, economic evaluation, public and private costs, preventive measures, eradication measures.

Introducción

Xylella fastidiosa (Wells *et al.*, 1997) es una bacteria fitopatógena considerada un organismo de cuarentena en la Unión Europea (Unión Europea, 2019a) Puede afectar al menos a 563 especies (EFSA, 2018a) y producir graves enfermedades en cultivos como la vid, el olivo, los cítricos y los frutales del género *Prunus* (almendro, melocotonero, nectarino, albaricoquero, cerezo, ciruelo, platerina y paraguayo). También puede afectar a la alfalfa, muchas especies forestales, así como a gran número de árboles y arbustos ornamentales. Se transmite a corta distancia por medio de insectos vectores (hemípteros) que se alimentan de la savia que circula por el xilema (Chatterjee *et al.*, 2008), y a largas distancias a través del movimiento de material vegetal infectado (EFSA, 2018b).

X. fastidiosa ha sido recientemente identificada en España. Por sus condiciones climáticas, ciertas zonas de la península ibérica presentan un alto riesgo potencial para la expansión de esta bacteria, puesto que su crecimiento óptimo se produce con temperaturas entre 26 y 28 °C y está adaptada a inviernos suaves o moderados, propios de muchas zonas del litoral e interior. No obstante, las temperaturas inferiores a 8 °C o superiores a 34 °C comprometen su supervivencia en la planta (Feil y Purcell, 2001). Navas-Cortés (2017a) ha definido el mapa de riesgo potencial de infección de *X. fastidiosa* para la península ibérica e Islas Baleares con base a la temperatura mínima invernal. De acuerdo con este mapa, Aragón presenta amplias zonas con riesgo moderado en zonas más próximas al Valle del Ebro.

La primera detección de *X. fastidiosa* en España tuvo lugar en octubre de 2016, en las Islas Baleares. La situación es desalentadora, habiendo detectado hasta la fecha más de 800 casos positivos en las islas de Mallorca, Menorca e Ibiza, que afectan a grandes superficies de almendros, olivo y vid, así como a diversas especies de árboles y plantas ornamentales y silvestres (entre ellas, el acebuche). Actualmente la bacteria está ampliamente distribuida y las autoridades exigen la erradicación como norma común con algunas excepciones en las que se permitiría adoptar medidas de contención y que deben autorizarse por parte de la UE (Unión Europea, 2019b). El primer positivo en la península se confirmó en junio de 2017 en la provincia de Alicante (Comunidad Valenciana) y se han confirmado casos positivos en almendro y en algunas especies de plantas silvestres, que delimitan una zona demarcada de más de 87.000 ha, con 22 términos municipales íntegramente afectados y 35 afectados parcialmente (DOGV, 2018a). En abril de 2018 *X. fastidiosa* se detectó en un olivo en Villarejo de Salvanés (Comunidad de Madrid). Asimismo, se detectaron 3 plantas ornamentales (*Polygala myrtifolia*) infectadas en un invernadero de El Ejido (Almería), si bien en este caso se considera que no se trata de un brote sino de un caso aislado.

La aparición de la enfermedad en la península ha provocado una preocupación creciente en la Comunidad Autónoma de Aragón, debido a que muchas de las especies hospedantes de *X. fastidiosa* son cultivos de gran importancia económica y muy extendidos en la región. En julio de 2017, el Gobierno de Aragón publicó un Plan de Contingencia para *X. fastidiosa*, en el que se señalan las

medidas concretas a adoptar por parte de las autoridades competentes en materia de Sanidad Vegetal [Centro de Sanidad y Certificación Vegetal (CSCV) y Unidad de Salud de los Bosques (USB)]. Los Planes de Contingencia, tanto a nivel nacional como de las distintas Comunidades Autónomas, se revisan periódicamente para adaptarlos a los posibles cambios de la situación de *X. fastidiosa* en Europa y España. En el Plan de Contingencia de Aragón se señalan una serie de acciones que tendrán una repercusión económica importante, tanto en la situación actual en la que el patógeno no está presente como en el caso hipotético de que se detectara la presencia de *X. fastidiosa*.

El objetivo de este trabajo es hacer una estimación de los costes económicos de las medidas establecidas en dicho Plan de Contingencia contra una posible introducción de *X. fastidiosa* en el territorio de Aragón. Para ello, se considerarán dos escenarios relacionados con las acciones concretas previstas: escenario 1, de prevención o infección no confirmada y escenario 2, de erradicación o infección confirmada. El trabajo se centra en el impacto sobre los cultivos más extendidos en Aragón que podrían verse afectados por la presencia de *X. fastidiosa*: almendro (63.089 ha), olivar para producción de aceite (43.719 ha), viñedo vinificación (33.994 ha), melocotonero (11.187 ha), cerezo (7.135 ha), nectarino (6.524 ha), paraguayo (3.278 ha), albaricoquero (1.951 ha), ciruelo (980 ha) y platerina (340 ha) (DDRS, 2017). También se ha considerado la alfalfa por su importancia económica en la región (101.387 ha), pues está incluido en la lista de vegetales especificados[1]. En el medio forestal, las especies del género *Quercus* son susceptibles de infección, por lo que también se han considerado en el estudio debido a su estrecha relación con la producción de trufa, de creciente expansión en Aragón. El área ocupada por las especies de *Quercus* asciende a 400.913 ha según el Inventario Forestal Nacional, de las cuales 5.271 ha corresponden a plantaciones de encinar trufero (ESYRCE, 2017). Además, se ha evaluado el impacto potencial sobre los viveros comercializadores de cultivos leñosos, que ocupan actualmente 250 ha (DDRS, 2017).

Material y métodos

La metodología consiste en estimar los costes anuales públicos y privados causados por la bacteria, desglosando cada concepto según el tipo de cultivo y sistema (regadío o secano) cuando las diferencias sean relevantes. Además, se ha calculado la superficie máxima a la que podrían afectar tales costes en los escenarios de presencia confirmada y no confirmada, respectivamente. Por último, se ha realizado una estimación del coste total por brote de infección en el caso de que se confirmase la presencia de *X. fastidiosa* en Aragón.

La mayor dificultad que presenta la estimación adecuada de los costes producidos por *X. fastidiosa* es la imposibilidad de predecir la pauta de infección y expansión asociada a la bacteria. La hipótesis con la que están actuando los responsables del CSCV es la posible presencia de *X. fastidiosa* en parcelas jóvenes, debido a una entrada en el pasado de material procedente de zonas con infecciones confirmadas (Comunidad Valenciana y países con presencia conocida de la bacteria) o una posible entrada futura de material procedente de estas mismas zonas. En principio se considera más improbable que la bacteria pueda llegar a través de insectos vectores, puesto que su capacidad de vuelo está alrededor de los 100 m. Por este motivo los esfuerzos se están concentrando en dos

1. De acuerdo con la Decisión de Ejecución de la Comisión Europea (2015/789/UE), un "vegetal especificado" es una planta sensible a las cepas europeas y no europeas de *X. fastidiosa*, mientras que una "planta hospedadora" es sensible a las cepas europeas de la bacteria.

frentes: a) el control y análisis exhaustivo del material de los viveros mediante la revisión de la documentación de entradas y salidas de material; y b) la prospección visual y análisis de muestras (tanto con síntomas sospechosos de infección como asintomáticas) en las explotaciones de cultivos leñosos más jóvenes (entre 2 y 4 años).

Dado que actualmente no existe ninguna medida de control efectivo sobre la bacteria y que tampoco es posible establecer una pauta de su expansión espacial, resulta imposible hacer una estimación sobre los costes y beneficios de las medidas cautelares contra *X. fastidiosa*, así como establecer una jerarquía de dichas medidas respecto a su coste-eficacia o coste-eficiencia. Esta dificultad impide establecer posibles escenarios de mayor o menor gravedad en el nivel de infección o afectación espacial, puesto que una vez confirmada la infección, la única medida posible contra su expansión es la destrucción de todo el material vegetal infectado y de los vectores que transmiten la bacteria (Navas-Cortés *et al.*, 2017b).

El cálculo de los costes asociados a *X. fastidiosa* se ha realizado, por tanto, bajo la consideración de estos dos escenarios diferenciados: escenario 1, de presencia no confirmada y escenario 2, de presencia confirmada.

En cada uno de estos escenarios se hará una estimación de los costes privados y públicos anuales derivados del Plan de Acción incluido en el Plan de Contingencia, que prevé unas medidas cautelares orientadas a confirmar o desmentir la presencia de la bacteria y evitar su propagación, y unas medidas de erradicación a adoptar en caso de confirmarse la infección. Los costes privados se definen como los costes asumidos por los agricultores o agentes privados en sus parcelas o viveros a consecuencia de la pérdida de producciones y otras medidas de obligada adopción, mientras que los costes públicos incluyen los asumidos por las instituciones públicas como consecuencia de la aplicación del Plan de Acción.

Las acciones concretas incluidas en cada escenario y las fuentes de datos empleadas para la estimación del coste asociado a cada una son las siguientes:

Escenario 1: presencia no confirmada

En caso de sospecha de existencia de una muestra positiva de *X. fastidiosa*, las medidas cautelares incluyen las siguientes acciones:

- Inspecciones en zonas sospechosas para obtener información (historial de vegetales, detalles de movimiento de material vegetal, localización de parcelas de plantas hospedantes).
- Realización de muestreo de vegetales hospedantes en un radio de 100 m del lugar sospechoso y análisis de las muestras para confirmar o descartar la presencia de la bacteria.
- Monitorización de la presencia de insectos vectores en parcela/vivero y en las proximidades (100 m alrededor).
- Eliminación de restos de poda o de material de plantas sospechosas mediante quemado o triturado *in situ*.
- Eliminación de malas hierbas que puedan actuar como refugio de vectores, en particular *Sorghum halepense*, *Malva* spp. y *Portulaca oleracea*.

Todas estas medidas implican un coste económico que debe asumir la administración encargada del Plan de Acción. En concreto, las inspecciones y muestreos de vegetales, así como la eliminación de malas hierbas y restos de material vegetal se realizan de forma coordinada por el personal técnico del CSCV y de la USB, mientras que los análisis de las muestras (EPPO, 2018) y monitorización de insectos vectores se llevan a cabo en la Unidad de Diagnóstico Fitosanitario del CSCV.

Por tanto, en este escenario solo se incluyen costes públicos y se asume que no se ha con-

firmado la presencia de la bacteria, si bien es preciso mantener un cierto nivel de prospección y vigilancia que estipula el Plan de Acción con unos parámetros concretos que incluyen la inspección visual, la toma y análisis de muestras y la monitorización de vectores.

La Tabla 1 recoge los cálculos del coste total desglosado por conceptos para cada tipo de actividad, así como la superficie muestreada desde julio a diciembre de 2017. Los costes asociados a las distintas acciones incluyen los siguientes conceptos:

Tabla 1. Coste público anual en el escenario 1.
Table 1. Annual public cost in scenario 1.

Medida	Coste anual (€)
Viveros (250 ha)	
Inspección y muestreo	
Coste análisis muestras (380 muestras)	3.515
Coste personal (3 técnicos)	87.276
Subtotal viveros	*90.791*
Plantaciones de leñosas (2.800 ha)	
Inspección y muestreo	
Coste análisis muestras (156 muestras)	1.443
Coste personal (3 técnicos y 3 agentes de campo)	157.568
Monitorización vectores	
Coste del material	
78 trampas	173
1 aspirador	2.600
6 mangas	127
Coste personal (1 agente de campo)	23.431
Subtotal leñosas	*185.342*
Encinar trufero (5.271 ha)	
Inspección y muestreo	
Coste análisis muestras (10 muestras)	92,5
Coste personal (4 técnicos y 4 ayudantes de campo)	210.088
Subtotal encinar trufero	*210.181*
Coste personal de laboratorio (2 técnicos de laboratorio)	58.184
Coste de divulgación	5.500
Coste total	549.998

Fuente: Elaboración propia.

Costes de inspección y muestreo

Engloban los costes de inspección, documentación del material vegetal, toma de muestras y análisis de las mismas, así como el coste del personal del CSCV y de la USB asignado a tal fin. Estos costes se han recopilado separadamente para viveros, plantaciones de leñosas y encinar trufero.

El cálculo del coste por muestra analizada en el laboratorio para confirmar o descartar la presencia de *X. fastidiosa* incluye dos conceptos: 1) paso previo de preparación de la muestra vegetal (extracción de ADN); 2) amplificación mediante PCR (*Polymerase Chain Reaction*) en tiempo real. El coste total por ambos conceptos es de 11,75 € por muestra si se incluyen dos protocolos distintos, o bien 9,25 € si se incluye un único protocolo (datos facilitados por el CSCV).

Los costes de personal asignado a cada tarea se calculan considerando la tabla de retribuciones anuales para el personal laboral de 2018 del Gobierno de Aragón (2018) incrementadas en un 30% en concepto de cotizaciones a la Seguridad Social. Los niveles retributivos considerados son nivel 18 para el personal técnico y 13 para los inspectores de campo.

Costes de monitorización de insectos vectores

Incluyen los costes del material empleado (trampas cromáticas, aspiradores para succión de insectos y mangas entomológicas), y del personal implicado en las tareas. En tanto la presencia de *X. fastidiosa* no sea confirmada no se aplicarán insecticidas, por lo que en este escenario no se considera el coste de los tratamientos contra vectores. Tampoco se contempla la eliminación de restos vegetales, ya que hasta el momento no se ha verificado la presencia de la bacteria. El control de malas hierbas se considera únicamente en el caso de infección confirmada (escenario 2).

Por último, se consideran los costes de divulgación que ha asumido el CSCV, y que incluyen la edición de folletos y hojas informativas, reuniones y foros informativos con profesionales del sector. Todos los datos incluidos en este escenario han sido facilitados por el CSCV y la USB y recopilan la totalidad de los costes asumidos desde julio de 2017, fecha de la puesta en marcha del Plan de Contingencia, hasta diciembre de 2017. Para la estimación del coste anual se duplicará el número de tareas y se considerará el coste de personal anual.

Escenario 2: Presencia confirmada

En caso de confirmación de la presencia de *X. fastidiosa*, el Plan de Acción prevé la inmediata delimitación de una "zona demarcada" que incluye una "zona infectada" y una "zona tampón". La "zona infectada" abarca, además de las parcelas con material infectado, un radio de 100 m alrededor de los vegetales que han dado positivo en los análisis de laboratorio. La "zona tampón" incluye una superficie de un radio de 5 km alrededor de la "zona infectada". Dentro de la "zona infectada" se establecen unas medidas de erradicación de la bacteria, mientras que en la "zona tampón" se mantienen las medidas de inspección descritas como medidas cautelares (escenario 1).

Las medidas de erradicación en la "zona infectada" exigen las siguientes actuaciones:

- Eliminación inmediata e *in situ* (o lugar cercano designado) de todos los vegetales infectados, de los vegetales sospechosos de estar infectados y de las plantas hospedadoras (estén o no infectadas).
- Aplicación –previa a la eliminación de vegetales– de tratamientos fitosanitarios contra los insectos vectores y contra las plantas que puedan hospedar dichos vectores.
- Muestreo y análisis de los vegetales hospedantes en un radio de 100 m alrededor de cada vegetal infectado.

La Tabla 2 muestra el coste público de las medidas a tomar en caso de confirmación de la presencia de *X. fastidiosa*, distinguiendo entre la "zona infectada" y la "zona tampón". Se incluyen los siguientes conceptos:

Coste de tratamientos fitosanitarios contra los insectos vectores

Los tratamientos considerados son los recomendados para el control de *Philaenus spumarius*, único vector confirmado en Europa

Tabla 2. Medidas a adoptar en el escenario 2 y costes públicos asociados.
Table 2. Measures under scenario 2 and associated public costs.

	Medida	Coste anual (€)
En zona infectada	Eliminación de vegetales infectados (arranque y quema)	
	Plantación comercial	
	Plantación joven (máximo)	466
	Plantación normal (máximo)	1.747
	Viveros (destrucción)	2.500
	Aplicación tratamiento fitosanitarios contra vectores	
	Productos aplicados	
	Deltametrina	
	Olivo (dosis 0,125 l/ha)	15,5
	Encinar (dosis 0,025 l/ha)	3,1
	Lambda cihalotrina	
	Frutales hueso, vid, almendro (dosis 0,8 kg/ha)	19,49
	Coste de aplicación[a] (Atomizador arrastrado + Tractor)[b]	
	En vid	35,7
	En resto	38,7
	Eliminación de malas hierbas	
	Si tratamiento con glifosato (36%)	132,1
	Si laboreo convencional	252,6
En zona tampón	Inspección y muestreo	
	Viveros	526
	Plantación comercial	73,7
	Encinar trufero	40,3

[a]1,2 horas/ha en vid; 1,3 horas/ha resto; [b]2 ruedas motrices y 60 cv.

Fuente: Elaboración propia.

hasta el momento y que está ampliamente distribuido en España y en Aragón. El coste total incluye los productos y su aplicación (maquinaria, combustible y mano de obra), seleccionándose los productos más efectivos y más baratos para cada cultivo, así como las dosis recomendadas en el Registro de Productos Fitosanitarios del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAGRAMA, 2018). Para calcular el coste de aplicación se ha empleado la hoja de cálculo para la previsión de costes horarios y anuales de maquinaria agrícola de Barrio (2018). El coste de mano de obra se obtiene asumiendo el número de horas necesarias para la aplicación de fitosanitarios definidas en Fernández-Alcázar (2011) y Mendoza (2015), que son 1,2 horas/ha para la vid y 1,3 horas/ha para el resto de cultivos. El salario diario para el personal encargado de la aplicación es de 52 € (MAGRAMA, 2017).

Coste de eliminación de malas hierbas hospedantes

En este caso se han considerado dos alternativas diferentes en función del tipo de manejo que en el momento de la infección se esté llevando a cabo en la explotación. Si se confirma la infección en una parcela, debe procederse al arranque y destrucción de los árboles, por lo que para eliminar las malas hierbas podría aplicarse un tratamiento herbicida con glifosato como principal producto (sistema de no laboreo), o como alternativa, un sistema de laboreo convencional con cultivador, si se prefiere o sospecha de la existencia de especies de difícil control químico. Los costes considerados aquí son los calculados en el trabajo de Martínez y Pardo (2016) para ambos tipos de gestión de una explotación de frutales e incluyen el coste de aplicación (mano de obra, maquinaria y combustible) y el coste de los herbicidas utilizados en su caso. Dichos costes ascienden a 132,1 €/ha si se hace el tratamiento químico habitual de no laboreo y a 252,6 €/ha en manejo convencional.

Eliminación de los vegetales infectados

Implica tanto costes públicos como privados. Los costes públicos por este concepto engloban los trabajos de arranque y destrucción de los frutales de la "zona infectada". Para ese caso, el Gobierno de Aragón (2012) tiene establecido un baremo que fija los importes para compensar el coste que asumiría el agricultor por corte, quemado, destoconado y transporte. El baremo distingue unos importes máximos en función de la edad y estado de producción de la plantación. En este trabajo se distinguen dos posibles situaciones: la de una plantación intensiva normal (más de 20 años, en riego localizado y en estado óptimo), cuyo importe máximo asciende a 1.747 €/ha, y la de una plantación intensiva joven (hasta 3 ciclos vegetativos, riego localizado y en estado óptimo), con un importe máximo de 466 €/ha. La elección de estos costes supone, por tanto, una estimación al alza, dado que para plantaciones con características distintas este importe se corrige a la baja. En el caso de los viveros no existe ningún baremo establecido para la compensación por este concepto, por lo que se ha aplicado el fijado en el caso de la Comunidad Valenciana, que asciende a un máximo de 2.500 €/ha (DOGV, 2018b).

Los costes privados de la eliminación de vegetales infectados engloban los costes debidos a la pérdida de producciones en las plantaciones de leñosas, en viveros y en explotaciones truferas.

Para el cálculo de estos costes en plantaciones se ha calculado la pérdida de margen bruto por ha para cada cultivo, que afectaría exclusivamente a la superficie en producción. La variable "margen bruto" se define como la diferencia entre los ingresos y los costes directos de producción, maquinaria y mano de obra asalariada. Dicho margen se ha estimado como porcentaje medio sobre los ingresos, calculado a partir de los Estudios de Costes y Rentas de las Explotaciones Agrarias (ECREA,

2013, 2014 y 2015) que publica anualmente el Ministerio de Agricultura[2].

En el caso de algunos productos para los que ECREA no calcula márgenes para Aragón, se han tomado los porcentajes calculados para España (ciruelo y olivo en secano). Para todos los productos se emplea el mismo porcentaje en regadío y en secano, excepto en el olivar, para el que existen datos diferenciados.

Estos porcentajes se aplicarán a los ingresos medios estimados, que se calculan a su vez, multiplicando las producciones provinciales medias por los precios provinciales medios. Las producciones provinciales medias se han obtenido a partir de la base datos del Departamento de Desarrollo Rural y Sostenibilidad (DDRS) del Gobierno de Aragón (DDRS, 2017). Dado que, por razones climáticas, las producciones son muy variables de una campaña a otra se ha calculado la media de las producciones obtenidas en las campañas de 2012 a 2016.

En el caso de los precios de los cultivos, se han calculado también medias para cada provincia. Para ello existe la dificultad de que los últimos datos oficiales publicados son los correspondientes a la Encuesta de Rendimientos Provinciales de 2014 (Gobierno de Aragón, 2015). Para poder incluir precios de los años 2015 y 2016, se ha calculado la variación interanual en los precios medios percibidos por los agricultores en España de 2014 a 2015 y 2016 publicados por el MAGRAMA (2017) y posteriormente se ha aplicado dicha variación a los precios de las provincias de Aragón de 2014, obteniendo así los precios provinciales de 2015 y 2016. En el caso particular de la alfalfa, se utiliza el margen bruto estimado por Pardo *et al.* (2016), que es una media de los años 2010 a 2014.

Para los viveros, los costes privados deben incluir las pérdidas de ingresos provocadas por las medidas asociadas a la detección de *X. fastidiosa*. Si el vivero está localizado en una "zona infectada", deberá destruirse el material producido y se verá obligado a paralizar las ventas de sus plantas, incluso en el caso de no tener material infectado. Para estimar las pérdidas por este concepto se han utilizado los datos de producción total de viveros en Aragón en la campaña 2015-2016 proporcionados por el CSCV. La Tabla 3 incluye el cálculo de los valores de producción estimados de plantones de especies leñosas y forestales. El valor económico de esta producción se estima utilizando el precio por plantón considerado en las últimas estadísticas oficiales publicadas en Aragón (Gobierno de Aragón, 2015). No se recoge el valor de las plantas ornamentales, la pérdida del valor de la inversión inicial, ni considera los costes por destrucción de plantas e imposibilidad de replantación[3].

Con respecto al caso particular de las explotaciones de encinar trufero, los costes se evalúan considerando la pérdida de valor de producción. La información disponible sobre superficies, producción y valor de la producción es muy escasa y con una gran variabilidad en función de la fuente consultada. Según el MAGRAMA, la superficie es de 5.271 ha para Aragón (ESYRCE, 2017), aunque este dato contrasta con la estimada por Albisu *et al.* (2016), que indican una superficie entre los 7.500-8.000 ha. Para el cálculo del valor de la producción se utilizan las estimadas por Al-

2. Los estudios ECREA se han utilizado para el cálculo de las indemnizaciones que percibirán los agricultores afectados por *X. fastidiosa* en la Comunidad Valenciana (DOGV, 2018b), que se calculan como el valor presente de los flujos de margen dejados de obtener en toda la vida útil de la plantación.

3. Aunque no se incluyen en los cálculos, la producción en Aragón de plantas ornamentales en maceta asciende a 236.572 unidades.

Tabla 3. Valor de producción en viveros y coste privado máximo en caso de infección.
Table 3. Production value in nurseries and maximum private costs under infection.

Cultivos	Unidades producidas	Valor (€/plantón)	Valor producción (€)
Albaricoquero	139.725	2,40	335.340
Almendro	846.134	2,80	2.369.175
Cerezo	155.771	2,55	397.216
Ciruelo	147.637	2,40	354.329
Melocotonero[1]	585.849	3,00	1.757.547
Olivo	1.367.398	1,50	2.051.097
Vid (injertos)	1.035.430	0,53	548.778
Total frutales	*4.277.944*	–	*7.813.482*
Coníferas[2]	131.000	0,24	31.440
Frondosas[2]	301.000	0,48	144.480
Total forestales	*432.000*	–	*175.920*
Total	*4.709.944*		*7.989.402*

[1] Incluye nectarino, paraguayo y platerina.

[2] Las especies de coníferas más utilizadas en parques y jardines incluyen abeto, pino, ciprés, cedro, sabina y tejo; Las frondosas más utilizadas son plátano, castaño, nogal, haya, laurel, roble, sauce y fresno.

Fuente: Elaboración propia.

bisu *et al.* (2016). Tampoco en este caso se incluye una estimación de la pérdida del valor de la inversión inicial ni por imposibilidad de replantación.

El cálculo del coste de las medidas en la "zona tampón" se hace utilizando los mismos conceptos descritos en el escenario 1 de medidas cautelares (inspección y muestreo de vegetales, control de movimientos de material en viveros y monitorización de vectores).

Resultados y discusión

Escenario 1: presencia no confirmada

El coste total final estimado en el escenario 1 asciende a 549.998 € (Tabla 1). Para calcular el coste correspondiente a cada tipo de actividad se ha asignado el coste de personal de laboratorio en proporción al número de muestras analizadas en 2017, por lo que dos tercios corresponden a viveros y un tercio a plantaciones comerciales. El coste de divulgación se ha asignado a partes iguales entre las tres actividades. Por tanto, 131.414 € (526 €/ha) corresponden a las medidas adoptadas en viveros, 206.571 € (73,7 €/ha) en plantaciones comerciales y a 212.644 € (40,3 €/ha) en explotaciones truferas.

Escenario 2: presencia confirmada

Los costes privados de este escenario se presentan diferenciando viveros, plantaciones de leñosas, alfalfa y explotaciones de encinar trufero.

Viveros

El valor total generado por los viveros asciende a 7.989.402 € (Tabla 3), por lo que la pérdida máxima anual estimada en caso de aparición de *X. fastidiosa* ascendería a 31.958 €/ha si se divide por la superficie actual de viveros (250 ha). Este cálculo recoge únicamente la pérdida anual de ingresos por imposibilidad de venta del material producido.

Plantaciones de leñosas, alfalfa y encinar trufero

Respecto a las plantaciones de leñosas, la Tabla 4 muestra el cálculo de los ingresos y márgenes medios en Aragón por producto y tipo de riego. Las producciones obtenidas en secano son entre 18 y 83% inferiores a las de regadío, lo que redunda en una mayor pérdida de márgenes asociada al regadío. En el cultivo de alfalfa las pérdidas asociadas serían de 547 €/ha en regadío y 274 €/ha en secano (Pardo *et al.,* 2016).

Con relación al encinar trufero, las producciones son muy variables de unas zonas a otras y según la época del año. Albisu *et al.* (2016) estiman unas producciones mínimas en Aragón de entre 5 y 10 kg/ha y un máximo de 100 a 150 kg/ha. Los precios obtenidos a principio de temporada varían entre 100 y 200 €/kg y al final de temporada entre 400 y 600 €/kg. Por consiguiente, las pérdidas de valor de la producción estarían en un rango muy amplio: entre 500 y 90.000 €/ha según la época y la producción de la zona concreta que se viera afectada por *X. fastidiosa*.

Estimación del coste por brote

La estimación del coste total en caso de infección, se presenta en las Tablas 5 y 6. La Tabla 5 muestra el coste público desglosado por tipo de actividad en caso de confirmación de infección de *X. fastidiosa*, diferenciando entre la "zona infectada" y la "zona tampón". El coste público en la zona infectada en plantación de leñosas oscila entre 660,8 y 2.066 €/ha, dependiendo del cultivo y tipo de manejo, siendo 648,4 €/ha en encinar y 2.500 €/ha en viveros.

A partir de esta información puede hacerse una estimación del coste total de la aparición de un brote, bajo la hipótesis de que tanto la "zona infectada" como la "zona tampón" se localizan sobre una explotación de leñosas en producción. En la Tabla 6 se presenta el coste total estimado por brote en los cultivos de regadío. En la "zona infectada" se calcula el coste público considerando una plantación normal, con laboreo convencional y una superficie de 3,14 ha (100 m de radio a partir del brote) a la que afectarían estos costes. El coste privado se ha obtenido asumiendo el margen medio (Tabla 4) para los cultivos en regadío, multiplicado por la superficie de 3,14 ha. Por otro lado, en la "zona tampón" se considera el coste unitario estimado de la Tabla 5, multiplicado por la superficie total de 7.851 ha (5 km de radio a partir del brote).

Los resultados de la Tabla 6 sirven para ilustrar la magnitud relativa de los costes calculados en el trabajo, pues resulta evidente que el coste de las medidas en la "zona tampón" es mucho mayor que el relacionado con la "zona infectada". En todos los casos el coste total por brote está próximo a los 600.000 € anuales, tanto en regadío como en secano[4]. En caso de que dentro de la "zona infectada" hubiera viveros, a la cantidad anterior habría que añadirle un coste privado de 31.938 €/ha y un coste público de 2.500 €/ha. Si el vivero se localiza en la "zona tampón", el coste público sería de 526 €/ha.

4. Aunque no se muestran aquí, los cálculos para los cultivos de secano están entre 585.000 y 595.000 €.

Tabla 4. Estimación de ingresos y márgenes brutos medios por cultivo.
Table 4. Estimate of average income and gross margin by crop.

Cultivos	Regadío				Secano			
	Producción media (kg/ha)	Precio medio (€/kg)	Ingreso (€/ha)	Margen bruto (€/ha)	Producción media (kg/ha)	Precio medio (€/kg)	Ingreso (€/ha)	Margen bruto (€/ha)
Albaricoquero	8.034	0,8194	6.583,06	3.396,86	4.183	0,6734	2.816,83	1.453,48
Almendro	1.739	1,8139	3.154,37	2.233,29	453	1,7123	775,67	549,17
Cerezo	5.899	1,5110	8.913,39	5.192,94	2.323	1,3987	3.249,18	1.892,97
Ciruelo	8.993	0,6652	5.982,14	2.994,66	2.541	0,4933	1.253,47	627,49
Melocotonero	21.559	0,4271	9.207,85	4.751,25	15.274	0,4323	6.602,95	3.407,12
Nectarino	25.077	0,2786	6.986,45	4.561,45	16.671	0,3008	5.014,63	3.274,05
Olivar	3.977	0,5368	2.134,85	744,85	745	0,5433	404,76	135,59
Paraguayo	19.181	0.4032	7.733,78	5.049,38	–	–	–	–
Platerina	21.024	0,3091	6.498,52	4.242,88	–	–	–	–
Viñedo vinificación	6.989	0,3285	2.295,89	1.401,87	4.383	0,3644	1.597,16	975,23

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5. Costes públicos por tipo de explotación y cultivo.
Table 5. Public costs by type of farm and crop.

Cultivos	Costes públicos (€/ha)					
	Zona infectada					Zona tampón
	Destrucción vegetales		Insectos vectores	Malas hierbas		Inspección y muestreo
	J	N		NL	LC	
Albaricoquero	466	1.747	66,6	132,1	252,3	73,7
Almendro	466	1.747	66,6	132,1	252,3	73,7
Cerezo	466	1.747	66,6	132,1	252,3	73,7
Ciruelo	466	1.747	66,6	132,1	252,3	73,7
Melocotonero	466	1.747	66,6	132,1	252,3	73,7
Nectarino	466	1.747	66,6	132,1	252,3	73,7
Olivar	466	1.747	62,7	132,1	252,3	73,7
Paraguayo	466	1.747	66,6	132,1	252,3	73,7
Platerina	466	1.747	66,6	132,1	252,3	73,7
Viñedo (vinificación)	466	1.747	63,0	132,1	252,3	73,7
Explotación trufera	466	1.747	50,3	132,1	252,3	40,3
Viveros	2.500		–	–	–	526

J: plantación joven; N: plantación normal; NL: no laboreo; LC: laboreo convencional.
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6. Coste estimado por brote de infección para los cultivos en regadío (en €).
Table 6. Estimated costs per infected point for irrigated crops (in €).

Cultivos	Zona infectada		Zona tampón	Coste total por brote
	Coste público	Coste privado		
Albaricoquero	6.474,6	10.666,1	578.619	595.760
Almendro	6.486,8	7.012,5	578.619	592.118
Cerezo	6.486,8	16.305,8	578.619	601.412
Ciruelo	6.486,8	9.403,2	578.619	594.509
Melocotonero	6.486,8	14.918,9	578.619	600.025
Nectarino	6.486,8	14.322,9	578.619	599.429
Paraguayo	6.486,8	15.855,1	578.619	600.961
Platerina	6.486,8	13.322,6	578.619	598.428
Olivar	6.474,6	2.338,8	578.619	587.432
Viñedo (vinificación)	6.475,5	4.401,9	578.619	589.496

Fuente: Elaboración propia.

Igualmente, si en la "zona infectada" se localizan explotaciones truferas, el coste público máximo sería de 2.050 €/ha y el privado entre 500 y 90.000 €/ha, mientras que si la explotación se localiza en la "zona tampón" el coste público sería de 40,3 €/ha.

Estos resultados se han obtenido bajo la hipótesis de que se mantenga el nivel de muestreo actual (268 muestras en 1.650 ha). Sin embargo, la experiencia de la Comunidad Valenciana muestra que este ritmo de muestreo se incrementa notablemente en la zona delimitada (953 muestras en 653 ha) (Dalmau, 2017). Esto sugiere que la intensidad de muestreo tendría que multiplicarse casi por 9, por lo que la estimación de costes públicos asociados a la aparición de un brote debe considerarse con cautela, sobre todo en lo referente a los costes de personal asociados a la recogida y análisis de muestras. Además, en el caso de que existieran varios brotes de infección y se solaparan las zonas delimitadas, los costes por brote serían inferiores al calculado, por lo que el coste estimado aquí puede considerarse un máximo.

Riesgo potencial asociado al clima en Aragón

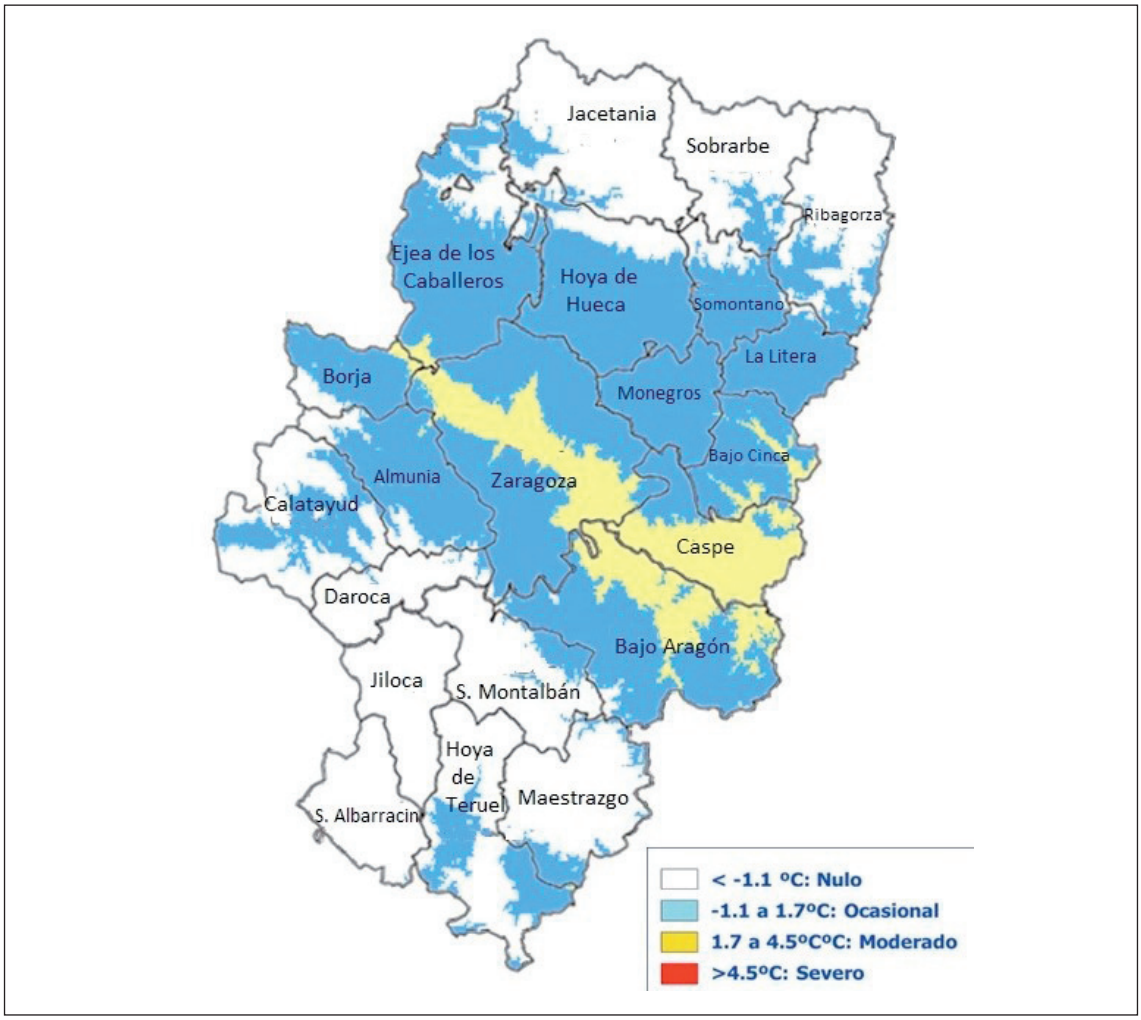
Una cuestión relevante con relación al impacto de *X. fastidiosa* en Aragón es el riesgo de infección asociado a las condiciones climáticas. La Figura 1 presenta las comarcas aragonesas con el riesgo potencial asociado. Las comarcas de Caspe, las zonas de ribera de las comarcas del Bajo Aragón, Zaragoza, Ejea de los Caballeros y Borja, y algunas áreas del Bajo Cinca serían las de mayor riesgo de infección (riesgo moderado). Estas comarcas suponen una superficie total de cultivos leñosos de 97.670 ha, especialmente almendro y olivo en secano (31.616 ha y 25.439 ha, respectivamente). También hay superficies considerables de viñedo en Borja (6.305 ha) y de frutales de hueso en Caspe (4.543 ha) y Bajo Cinca (9.583 ha). Las comarcas con riesgo ocasional serían la Hoya de Huesca, Monegros, Somontano, La Litera, Bajo Cinca y La Almunia, con una superficie total de 57.376 ha de cultivos leñosos. En estas zonas son relevantes los cultivos de viñedo (18.983 ha), frutales de hueso (16.691 ha) y olivar (8.850 ha). Por último, las comarcas de Jacetania, Ribagorza y Sobrarbe, Daroca y gran parte de Calatayud, y Sierra de Albarracín, Jiloca, Serranía de Montalbán, Maestrazgo y amplias áreas de la Hoya de Teruel tendrían un riesgo nulo.

Esta distribución de riesgo potencial y también el daño asociado a cada cultivo podrían considerarse criterios para intensificar los muestreos en las comarcas del valle del Ebro (Caspe, Bajo Cinca, Bajo Aragón, Zaragoza, Borja y Ejea de los Caballeros.).

Conclusiones

La posible aparición de *X. fastidiosa* plantea importantes retos debido a la dificultad para aislar la infección y evitar su propagación. Dado que hasta el momento no existe un método de control eficaz, la rápida detección de la bacteria se considera básica para evitar los graves efectos de su expansión. La recopilación de los costes derivados de las medidas cautelares incluidas en el Plan de Contingencia de Aragón de 2017 permite estimar los costes anuales públicos que actualmente están asumiendo las instituciones competentes en materia de Sanidad Vegetal y confirman la importancia de una rápida detección de la bacteria para evitar los costes económicos derivados de su expansión. Este cálculo permite además hacer una previsión de los costes que deberían asumirse en la "zona tampón" en caso de infección.

La estimación de costes privados en la "zona infectada" por tipo de actividad es importante para el cálculo de las posibles indemnizaciones que compensarían las pérdidas pro-



Fuente: Elaboración propia de JA Navas-Cortés, Instituto de Agricultura Sostenible (IAS), CSIC (2018).

Figura 1. Mapa de riesgo potencial para la Comunidad Autónoma de Aragón.
Figure 1. Map of potential risk for Aragón.

vocadas por *X. fastidiosa*. Además, la identificación de las zonas de riesgo potencial puede servir como criterio para intensificar la inspección y los muestreos en las áreas y cultivos con mayores pérdidas potenciales y peligro de infección.

Los resultados de este trabajo pueden ser útiles en la toma de decisiones por parte de las autoridades competentes en materia de Sanidad Vegetal, no solo a nivel local sino también a nivel global, porque permiten hacer una previsión de los costes públicos y privados por tipo de actividad que deberían asumirse en caso de infección y anticipar el tipo y costes de las medidas necesarias para la prevención y erradicación de la infección.

Agradecimientos

Este trabajo se ha llevado a cabo en el marco del proyecto E-RTA2017-00004-C06-00 de la Agencia Estatal de Investigación y el Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias, y del Proyecto 2018/0344 financiado por el Gobierno de Aragón a través del Centro de Sanidad y Certificación Vegetal de Aragón (CSCV). Agradecemos a Juan Antonio Navas-Cortés la elaboración del mapa de riesgo climático potencial para el establecimiento de *Xylella fastidiosa* en la C. A. de Aragón. Asímismo, agradecemos la información facilitada por Luis Mariano Roldán (Gobierno de Aragón) y por Pedro Mingote, María Teresa Sanz, Ana María Aguado y Emilio Betrán del CSCV.

Referencias bibliográficas

Albisu LM, Herrando E, Meza L, Barriuso J (2016). La trufa negra en España: organización de sus mercados. Documento de trabajo. Repositorio CITAREA. Disponible en: http://hdl.handle.net/10532/3567 (Consultado: 30 octubre 2018).

Barrio JJ (2018). Hoja de cálculo para la previsión de costes horarios y anuales de máquinas agrícolas. Departamento de Agricultura y Alimentación, Gobierno de La Rioja. Disponible en https://www.unirioja.es/dptos/daa/docencia/1011013costes.xls (Consultado: 20 agosto 2018).

Chatterjee S, Almeida RPP, Lindow S (2008). Living in two worlds: The plant and insect lifestyles of *Xylella fastidiosa*. Annual Review of Phytopathology 46: 243-271. https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.45.062806.094342

Dalmau V (2017). Situación de *Xylella fastidiosa* en la Comunidad Valenciana. Presentación en el III Foro de Sanidad Vegetal, 21 de noviembre, Zaragoza, España.

DDRS (2017). Encuestas de cultivos leñosos, 2013 a 2016. Unidad de Estadísticas, Departamento de Desarrollo Rural y Sostenibilidad, Gobierno de Aragón.

DOGV (2018a). RESOLUCIÓN de 16 de julio de 2018 del director general de Agricultura, Ganadería y Pesca, por la cual se declara la octava actualización de la situación de la plaga *Xylella fastidiosa* (Wells *et al.*) en el territorio de la Comunitat Valenciana y se adoptan medidas fitosanitarias urgentes de erradicación y control para evitar su propagación. Diari Oficial de la Generalitat Valenciana, núm. 8342, pp. 30691-30696.

DOGV (2018b). ORDEN 6/018, de 5 de febrero, de la Conselleria de Agricultura, Medio Ambiente, Cambio Climático y Desarrollo Rural, por la que se aprueban las bases reguladoras de las ayudas indemnizatorias para la erradicación y el control de *Xylella fastidiosa*. Diari Oficial de la Generalitat Valenciana, núm. 8236, pp. 7243-7255.

ECREA (2013, 2014, 2015). Estudios de costes de explotaciones agrícolas. Resultados Técnico-económicos. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Gobierno de España.

EFSA (2018a). Update of the *Xylella* spp. host plant database. EFSA Journal 16(9):5408. https://doi.org/10.2903/j.efsa.2018.5408.

EFSA (2018b). Updated pest categorisation of *Xylella fastidiosa*. EFSA Journal 16(7): 5357. https://doi.org/10.2903/j.efsa.2018.5357.

EPPO (2018). PM 7/24 (3) *Xylella fastidiosa*. EPPO Bulletin 48: 175-218. https://doi.org/10.1111/epp.12469

ESYRCE (2017). Encuesta sobre Superficie y Rendimientos de cultivos. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Gobierno de España.

Feil H, Purcell AH (2001). Temperature-dependent growth and survival of *Xylella fastidiosa in vitro* and in potted grapevines. Plant Disease 85: 1230-1234. https://doi.org/10.1094/PDIS.2001.85.12.1230

Fernández-Alcázar JI (2011). Costes de cultivo en viñedo. Cuaderno de campo 46: 4-13.

Gobierno de Aragón (2012). Valoración de los trabajos de arranque y destrucción de plantaciones de frutales. Departamento de Agricultura, Ganadería y Medio Ambiente, Gobierno de Aragón.

Gobierno de Aragón (2015). Anuario estadístico agrario de Aragón 2013-2014. Servicio de Estudios, Análisis e Información del Departamento de Desarrollo Rural y Sostenibilidad, Gobierno de Aragón.

Gobierno de Aragón (2018). Tabla de retribuciones anuales de funcionarios 2018. Dirección General de Presupuestos, Financiación y Tesorería, Gobierno de Aragón.

MAGRAMA (2017). Índices de precios y precios percibidos por los agricultores. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Gobierno de España.

MAGRAMA (2018). Registro de Productos Fitosanitarios. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Gobierno de España.

Martínez Y, Pardo G (2016). Cultivos leñosos en Aragón: evaluación económica de una eventual prohibición del glifosato. Economía Agraria y Recursos Naturales 16: 143-150. https://doi.org/10.7201/earn.2016.02.06

Mendoza S (2015). Costes de cultivo en pera de Conferencia. Cuaderno de Campo 55: 40-45.

Navas-Cortés JA, Montes Borrego M, Landa BB (2017a). Epidemiología. En: Enfermedades causadas por la bacteria *Xylella fastidiosa* (Eds. Landa BB, Marco-Noales E, López MM), pp. 61-72. Cajamar Caja Rural.

Navas-Cortés JA, Montes Borrego M, Landa BB (2017b). Métodos de control. En: Enfermedades causadas por la bacteria *Xylella fastidiosa* (Eds. Landa BB, Marco-Noales E, López MM), pp. 135-148. Cajamar Caja Rural.

Pardo G, Cirujeda A, Martínez Y (2016). Evaluación del impacto económico de una especie invasora en el regadío de Aragón: el teosinte. Revista Española de Estudios Agrosociales y Pesqueros 245: 67-96.

Unión Europea (2019a). Directiva 2000/29/CE del Consejo, de 8 de mayo de 2000, relativa a las medidas de protección contra la introducción en la Comunidad de organismos nocivos para los vegetales o productos vegetales y contra su propagación en el interior de la Comunidad, y modificaciones. Disponible en: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/ALL/?uri=CELEX%3A32000L0029 (Consultado: 02 abril 2019).

Unión Europea (2019b). Decisión de Ejecución (UE) 2015/789 de la Comisión, de 18 de mayo de 2015, sobre medidas para evitar la introducción y propagación dentro de la Unión de *Xylella fastidiosa* (Wells *et al*.), y modificaciones. Disponible en: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX%3A32015D0789 (Consultado: 02 abril 2019).

Wells JM, Raju BC, Hung HY, Weisburg WG, Mandelco-Paul L, Brenner DJ (1987). *Xylella fastidiosa* gen. nov., sp. nov.: Gram-negative, xylem-limited, fastidious plant bacteria related to *Xanthomonas* spp. International Journal of Systematic Bacteriology 37: 136-143. https://doi.org/10.1099/00207713-37-2-136

(Aceptado para publicación el 3 de abril de 2019)

PREMIOS DE PRENSA AGRARIA 2019 DE LA ASOCIACIÓN INTERPROFESIONAL PARA EL DESARROLLO AGRARIO

La Asociación Interprofesional para el Desarrollo Agrario (AIDA) acordó en Asamblea General celebrada en mayo de 1983, instaurar un premio anual de Prensa Agraria, con el objetivo de hacer destacar aquel artículo de los publicados en ITEA que reúna las mejores características técnicas, científicas y de valor divulgativo, y que refleje a juicio del jurado, el espíritu fundacional de AIDA de hacer de transmisor de conocimientos hacia el profesional, técnico o empresario agrario. Se concederá un premio, pudiendo quedar desierto.

Los premios se regirán de acuerdo a las siguientes

BASES

1. Podran concursar todos los artículos que versen sobre cualquier tema técnico-económico-agrario.
2. Los artículos que podrán acceder al premio serán todos aquellos que se publiquen en ITEA en el año 2019. 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) Presidente de AIDA, que presidirá el jurado.
   b) Director de la revista ITEA, que actuará de Secretario.
   c) Director Gerente del CITA (Gobierno de Aragón).
   d) Director del Instituto Agronómico Mediterráneo de Zaragoza.
   e) Director de la Estación Experimental de Aula Dei.
   f) Directora 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 (Ibercaja, Ag. 156, Fernando el Católico 59, 50006 Zaragoza, nº ES65-2085-5202-7903-3053-6630) por el importe de la couta anual. En ese caso, adjunte un comprobante de la transferencia.

Apellidos:		Nombre:
NIF:		
Dirección Postal:		
Teléfono:	Fax:	e-mail:
Empresa:		
Área en que desarrolla su actividad profesional:		

En _____ , a ___ de _____ de 20__

Firma:

FORMA DE PAGO (COUTA ANUAL: 50 EUROS)

	Cargo a cuenta corriente (rellenar la domiciliación bancaria)
	Transferencia a la cuenta de AIDA ES65-2085-5202-7903-3053-6630 (adjuntar comprobante)

DOMICILIACION BANCARIA

Sr. Director del Banco/Caja

Muy Sr. mío,

Ruego a Vd. se sirva adeudar en la siguiente cuenta corriente (IBAN: 24 caracteres)

que mantengo en esa oficina, el recibo anual que será presentado por la **Asociación Interprofesional para el Desarrollo Agrario (AIDA).**

Atentamente,

En _____ , a ___ de _____ de 20__ Firmado:	Sello de la Entidad:

PROTECCIÓN DE DATOS

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

AUTORIZACIONES

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

* Debe responder a estar cuestiones obligatoriamente.

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

SE INFORMA

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

Nombre y apellidos del Socio:

DNI:

Representante legal (si lo hubiere):

DNI:

En _____ , a ___ de _____de 20___

FIRMA DEL SOCIO:

NORMAS PARA LOS AUTORES (actualizado febrero de 2019)

La revista ITEA es una publicación internacional indexada en las bases de datos de revistas científicas. La revista se publica en español en 4 números (marzo, junio, septiembre y diciembre) por año. 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.

A partir del 1 de 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, en español, se enviarán a través de la página web de AIDA (http://www.aida-itea.org/index.php/revista/revista-envio). Para ello, los autores deberán registrarse en la aplicación, 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.

– **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.

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).

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.

Apellido de los autores, precedido de las iniciales del nombre, e indicando con un asterisco el autor para correspondencia. 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. Si un autor desea aparecer con dos apellidos, éstos deberán unirse con un guión.

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

Correo electrónico del autor a quien se va a dirigir la correspondencia.

Ejemplo:

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

G. Pardo[1*], A. Marí[1], S. Fernández-Cavada[2], C. García-Floria[3], S. Hernández[4], C. Zaragoza[1] y A. Cirujeda[1]

*autor para correspondencia: gpardos@aragon.es

El manuscrito incluirá a continuación:

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

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

En inglés: Título del artículo, Resumen, Palabras clave

4. Apartados del manuscrito

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

- **Introducción**: deberá explicar la finalidad del artículo. El tema se expondrá de la manera más concisa posible, indicando al final los objetivos del trabajo.
- **Material y métodos**: deberá aportar la información necesaria que permita la réplica del trabajo, incluyendo el nombre del fabricante de productos o infraestructuras utilizadas. Los manuscritos deberán incluir una descripción clara y concisa del diseño experimental y de los análisis estadísticos realizados. Se indicará el número de individuos/muestras, valores medios y medidas de variabilidad iniciales.
- **Resultados**: los resultados se presentarán en Tablas y Figuras siempre que sea posible. No se repetirá en el texto la información recogida en las Figuras y Tablas. Se recomienda presentar el valor de significación para que el lector pueda disponer de información más detallada. Puede redactarse de forma conjunta con el apartado de discusión.
- **Discusión**: deberá interpretar los resultados obtenidos, teniendo en cuenta además otros trabajos publicados. Se recomienda utilizar un máximo de 4 referencias para apoyar una afirmación en la discusión, exceptuando en las revisiones.
- **Conclusiones**: a las que se han llegado, así como las posibles implicaciones prácticas que de ellas puedan derivarse (aproximadamente 200 palabras).
- **Agradecimientos**: deberá mencionarse el apoyo prestado por personas, asociaciones, instituciones y/o fuentes de financiación del trabajo realizado.
- **Referencias bibliográficas**: sólo se citarán aquellas referencias relacionadas con el trabajo o que contribuyan a la comprensión del texto. Como máximo se podrán utilizar 40 citas en los artículos de investigación, y 60 en las revisiones bibliográficas. En el manuscrito, se mantendrá el orden cronológico en caso de citar varios autores. Las **citas en el texto** deben hacerse siguiendo los siguientes ejemplos:

  *un autor (Padilla, 1974)

  *dos autores (Vallace y Raleigh, 1967)

  *más de 3 autores: (Vergara *et al.*, 1994)

  *mismos autores con varios trabajos (Martín *et al*., 1971 y 1979)

  *autores con trabajos del mismo año: Prache *et al*. (2009a,b)

  *Si la cita forma parte del texto: "como indicaban Gómez *et al*. (1969)"

  *Leyes y reglamentos: (BOE, 2005) o BOE(2005) si forma parte del texto

Los nombres de entidades u organismos que figuren como autores, por ejemplo Dirección General de la Producción Agraria (DGPA), deberán citarse completos en el texto la primera vez.

Al final del trabajo se referenciarán en orden alfabético, por autor, todas las citas utilizadas en el texto. En caso de más de una referencia de un mismo autor principal, se mantendrá el orden cronológico entre ellas. Se podrán citar trabajos "en prensa", siempre que hayan sido aceptados para su publicación. En casos excepcionales, se aceptarán menciones como "Comunicación personal" o "Resultados no publicados", aunque no constarán entre las referencias bibliográficas. Se indican a continuación ejemplos de **referencias bibliográficas**:

Artículo

Blanc F, Bocquier F, Agabriel J, D'Hour P, Chilliard Y(2006). Adaptative abilities of the females and sustainabilityof ruminant livestock systems. A review. AnimalResearch 55: 489-510. https://doi.org/10.1051/animres:2006040.

Capítulo de libro

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

Libro

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

Acta de congreso

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

Fuente electrónica

FAOSTAT (2011). Food and Agriculture Organization statistical database. Disponible en:
http://faostat.fao.org/default.aspx
(Consultado: 30 enero 2012).

Documento oficial

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

Leyes / Reglamentos

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

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

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

Para el diseño de las tablas sólo se usarán filas y columnas, no se usarán tabulaciones ni saltos de línea. No se utilizarán líneas verticales entre columnas ni horizontales entre filas. Sólo se separarán con líneas horizontales los títulos.

Ejemplo de tabla:

Tabla 3. Tarjetas de productos hipotéticos expuestos a los encuestados

Table 3. Hypothetical products cards shown to those surveyed

Nº Tarjeta	Precio €/kg	Tipo de carne	Origen	Sistema
1	22	Lechal	Nacional	Convencional
2	22	Cebo	Extranjero	Ecológico
3	18	Lechal	CLM	Ecológico
4	18	Ternasco	Extranjero	Convencional

Fuente: Diaz *et al.* (2013)

Las figuras se presentarán con la mayor calidad posible. Se podrán presentar en blanco y negro o en color. Los dibujos, gráficos, mapas y fotografías se incluirán como figuras. Para mayor claridad se recomienda el uso, en primer lugar, de líneas continuas; en segundo lugar, de puntos; y en último lugar, de rayas. Se recomienda el uso de símbolos □, ■, ○, ●, Δ, ▲, , ♦, +, y ×. No utilizar líneas de división horizontales en el gráfico. Incluir barras de error cuando no entorpezcan la interpretación de la figura. En los ejes figurarán las unidades de las medidas referidas (entre paréntesis o separadas por coma). El número de la figura y su leyenda se indicarán en la parte inferior de la misma. Si las figuras se confeccionan con un programa distinto de los del paquete Office deberán ser de una calidad de 300 píxeles por pulgada o superior o escalable. Se enviarán las fotografías por separado como archivos de imagen (jpg, tiff o similar) con una resolución final de al menos 300 píxeles por pulgada.5.

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).
- Las fórmulas químicas se nombrarán según las normas IUPAC (p. ej. H_2SO_4 en vez de SO_4H_2) y los nombres comerciales comenzarán con mayúscula (p.ej. Foligón). En el caso de iones, debe indicarse el signo (p. ej. NO_3^-, SO_4^{2-})
- Los nombres científicos de organismos vivos (botánicos, microbiológicos o zoológicos) deberán incluir en su primera cita la denominación completa de género, especie y del autor. En siguientes apariciones se abreviará el género con la inicial del mismo y se mantendrá el nombre de la especie. Ejemplo: *Papaver rhoeas* L. y posteriormente, *P. rhoeas*.
- Los nombres latinos de géneros, especies y variedades se indicarán en cursiva y los nombres de cultivares entre comillas simples (p. ej. 'Sugar Baby').
- Las llamadas en nota a pie de página o cuadro deberán ser las menos posibles y, en todo caso, se indicarán mediante números correlativos entre paréntesis (p. ej. (1), (2), evitando el uso de asteriscos, letras o cualquier otro signo).
- Los niveles de significación estadística no necesitan explicación (* = P<0,05; ** = P<0,01; ***= P<0,001; NS = no significativo).

Volumen 115
Número 2
Junio 2019

itea

información técnica económica agraria

www.aida-itea.org

REVISTA DE LA ASOCIACIÓN INTERPROFESIONAL PARA EL DESARROLLO AGRARIO

Calidad de Revistas Científicas Españolas
FECYT | FUNDACIÓN ESPAÑOLA PARA LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA | 2014