itea

información técnica económica agraria

REVISTA DE LA ASOCIACIÓN INTERPROFESIONAL PARA EL DESARROLLO AGRARIO



Volumen 118

Número 2

Junio 2022

aida-itea.org

itea

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

2022- AÑO LIII Vol. 118 N.º 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

DIRECCIÓN: Albina Sanz, CITA de Aragón. España

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

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

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

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

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

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

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



Foto y Texto de portada: Jordi Bartolomé Filella

Cómo decíamos en el artículo "López-i-Gelats F, Tàbara JD, Bartolomé J (2009). The rural in dispute: Discourses of rurality in the Pyrenees. Geoforum 40: 602-612", existe un supuesto generalizado que asocia lo rural con lo inmutable. Sin embargo, lo que constituye 'lo rural' está en constante transformación. En la Europa rural se está produciendo un rápido proceso de recomposición social y reestructuración económica que provoca una creciente complejidad social y nuevas disputas sobre lo que es y debe ser lo rural.

Sumario

Producción Vegetal

Estimación de crecimiento vegetativo en viñedo: análisis de nubes de puntos 3D procedentes de imágenes-UAV.
Estimation of vineyard vegetative growth: analysis of 3D point cloud from unmanned aerial vehicle imagery.
Jorge Torres-Sánchez, Pilar Ramírez-Pérez, Juan Manuel León-Gutiérrez, Francisco Manuel Jiménez-Brenes y Francisca López-Granados 165

Subproductos agroindustriales utilizados para biosolarización reducen la incidencia de patógenos del suelo en invernaderos de pimiento.
Agroindustrial byproducts used in biosolarization reduce the soilborne pathogens incidence in greenhouse pepper crops.
Alfredo Lacasa, Carmen María Lacasa, Jerónimo Torres, Victoriano Martínez, Caridad Ros, María del Mar Guerrero, Pedro Fernández, Paula Serrano-Pérez y María Carmen Rodríguez-Molina 181

Biofertilizantes en el crecimiento de estragón (*Artemisia dracunculus* L.) en condiciones de invernadero.
*Biofertilizers in the growth of tarragon (*Artemisia dracunculus *L.) under greenhouse conditions.*
Yonger Tamayo-Aguilar, Porfirio Juarez-Lopez, José Antonio Chávez-García, Irán Alia-Tejacal, Dagoberto Guillén-Sánchez, Jesús Orlando Pérez-González, Víctor López-Martínez y María Claudia Rueda-Barrientos 198

Producción Animal

Impacto del modo de transporte al matadero (mezcla o no mezcla con animales extraños) de terneros de las razas Asturiana de los Valles y Retinta en los atributos físico-químicos y organolépticos de carne madurada. Aceptabilidad y preferencia de los consumidores.
Impact of the pre-slaughter transport (mixing or no mixing with unfamiliar animals) of calves of Asturiana de los Valles and Retinta breeds on physicochemical and organoleptic attributes of the ageing meat. Consumers' acceptability and preference.
Sol Zamuz, Susana García-Torres, María Cabeza de Vaca, David Tejerina, Alberto Ortiz, Mamen Oliván, Verónica Sierra, Yolanda Diñeiro, Miguel A. Sentandreu, María López-Pedrouso, Laura Purriños, José M. Lorenzo, Daniel Franco 213

Caracterización del bienestar animal en explotaciones de vacuno lechero de la raza Holstein del noreste de España.
Characterization of animal welfare in dairy cattle farms of the Holstein breed in north-eastern Spain.
Cesáreo García-Pérez, Daniel Villalba-Mata, Rita Casals-Maestre e Isabel Blanco-Penedo 239

Percepción del bienestar animal, procedimientos zootécnicos, y capacidad de aprendizaje en animales domésticos.
Perception of animal welfare, zootechnical procedures, and learning capacity in domestic animals.
Ivonne Ceballos-Olvera, Esteban Leal-Molina, Gabriela S. Luna-Castro, Miguel Ruiz-Albarrán y Luz Y. Peña-Avelino 262

Economía Agraria

Evaluación de medidas de seguridad en el suministro de agua de riego. El caso de la comunidad de regantes Genil-Cabra.
Assessment of irrigation water security measures: The case of the Genil-Cabra Irrigation Community.
Francisco Alcon, Víctor Martínez-García, Margarita García-Vila, Erasmo López-Becerra, José Miguel Martínez-Paz y Elías Fereres 277

Rioja *versus* Ribera del Duero. Recursos y estrategias.
Rioja vs. Ribera del Duero Resources and strategies.
Juan Ramón Ferrer 296

Implementación de la Directiva Marco del Agua en España: perspectivas futuras. Revisión bibliográfica.
Implementation of the Water Framework Directive in Spain: future perspectives. Review.
Sergio Navarro-Sousa y Vicente Estruch-Guitart 318

Estimación de crecimiento vegetativo en viñedo: análisis de nubes de puntos 3D procedentes de imágenes-UAV

Jorge Torres-Sánchez[1,*], Pilar Ramírez-Pérez[2], Juan Manuel León-Gutiérrez[2], Francisco Manuel Jiménez-Brenes[1] y Francisca López-Granados[1]

[1] Grupo Imaping, Instituto de Agricultura Sostenible-CSIC, Avda. Menéndez Pidal s/n, 14004 Córdoba, España

[2] Instituto Andaluz de Investigación y Formación Agraria y Pesquera (IFAPA), Ctra. Cabra-Doña Mencía Km 2,5, 14940 Cabra, Córdoba, España

Resumen

Uno de los elementos cruciales de la viticultura de precisión es conocer la variabilidad espacial del crecimiento vegetativo del viñedo para caracterizar su vigor y estimar su potencial productivo. Dos de los parámetros relacionados con este crecimiento son, la superficie foliar externa (SA) y el peso de la madera de poda, cuya estimación en campo requiere laboriosos trabajos que implican consumo de recursos humanos y tiempo. La utilización de técnicas de teledetección basadas en aplicación de técnicas fotogramétricas en imágenes adquiridas mediante vehículo aéreo no tripulado (UAV) ha demostrado su eficiencia en la cartografía de la arquitectura de cultivos leñosos como viñedo, almendro u olivo. Por ello, el objetivo del presente trabajo fue desarrollar una metodología capaz de determinar de forma precisa, por un lado, la SA y, por otro, estudiar la relación entre madera de poda y el volumen en viñedos de la variedad 'Pedro Ximénez' manejados mediante cultivo en sistema ecológico y conducido en espaldera. El procedimiento desarrollado está basado en la generación y procesamiento de nubes de puntos fotogramétricas en cada cepa que son posteriormente analizadas utilizando un algoritmo completamente automatizado de análisis de imagen basado en objetos (OBIA, *object-based-image-analysis*). Los resultados obtenidos por métodos directos no destructivos tomados en campo fueron comparados con los generados mediante imágenes-UAV. Se obtuvieron correlaciones significativas entre los datos observados y los estimados indicando la utilidad de la metodología descrita para avanzar en la caracterización foliar de cada cepa y la digitalización del viñedo a escala parcela reduciendo las mediciones de campo.

Palabras clave: Superficie foliar externa, madera de poda, volumen, transformación digital, teledetección, sensor RGB, viticultura de precisión.

Estimation of vineyard vegetative growth: analysis of 3D point cloud from unmanned aerial vehicle imagery

Abstract

One of the crucial elements for precision viticulture and site-specific management is to assess the spatial variability of vegetative growth for an accurate characterization of vigor and further estimation of yield forecast. Two of the main parameters related to vegetative growth are External Leaf Area (SA) and

* Autor para correspondencia: jtorres@ias.csic.es

Cita del artículo: Torres-Sánchez J, Ramírez-Pérez P, León-Gutiérrez JM, Jiménez-Brenes FM, López-Granados F (2022). Estimación de crecimiento vegetativo en viñedo: análisis de nubes de puntos 3D procedentes de imágenes-UAV. ITEA-Información Técnica Económica Agraria 118(2): 165-180. https://doi.org/10.12706/itea.2021.025

weight of pruning wood, and both have been traditionally estimated by using methods rely on manual sampling. These methods are time-consuming making it difficult to handle the intrinsic spatial variability of vineyards. The application of remote sensing based on photogrammetric techniques and OBIA (object-based-image-analysis) to images acquired with an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) has shown to be an efficient way to derive accurate three-dimensional (3D) canopy information in woody crops such as vineyard, olive or almond. In this context, a set of dense 3D point clouds of every vine was generated using photogrammetric techniques on images acquired by an RGB sensor onboard an UAV in two vineyards with 'Pedro Ximénez' variety drip-irrigated, trellis-trained and managed under organic system. Point clouds were then analyzed by using an OBIA automatic algorithm to accurately assess SA and to study the relationship between weight of pruning wood and vine volume. Results from a non-destructive field sampling and estimated by UAV-imagery were compared. Significant correlations between observed and estimated data were recorded indicating the utility of the procedure developed for an accurate characterization of every vine vegetative growth. This opens the door to progress in digitizing applications in vineyards.

Keywords: External leaf surface, pruning wood, volume, digitizing applications, remote sensing, RGB sensor, precision viticulture.

Introducción

El cultivo del viñedo se ha modernizado en las últimas décadas incorporando riego, cubiertas vegetales entre calles para reducir erosión, vendimia mecanizada y sistemas de empalizamiento, entre otros. Sin embargo, con frecuencia este cultivo se sigue manejando (*e.g.*, diseño y momento de poda, estimación de superficie foliar, tratamientos fitosanitarios foliares, poda en verde) como si el desarrollo vegetativo de cada cepa fuese homogéneo. Este manejo uniforme del cultivo no tiene en cuenta las diferencias en la estructura aérea entre los pies de cultivos leñosos que ya han quedado demostradas tanto en viñedos (de Castro *et al.*, 2018; López-Granados *et al.*, 2020) como en olivo, a través del análisis de diferentes tratamientos de poda (Jiménez-Brenes *et al.*, 2017), y en ensayos de fenotipado de almendro (Torres-Sánchez *et al.*, 2018; López-Granados *et al.*, 2019). El conocimiento de la variabilidad espacial en el crecimiento foliar puede aportar información georreferenciada y geométrica que redundará en la mejora de la toma de decisiones en el contexto de la viticultura de precisión (Caruso *et al.*, 2017; Annosi *et al.*, 2019). Esta tecnología agrícola tiene entre sus objetivos la optimización del manejo del viñedo mediante la reducción de inputs y la mejora de la estimación de su potencial de producción, y ambos están relacionados con el conocimiento de la variabilidad espacial de su estructura foliar (Nex y Remondino, 2013; López-Granados *et al.*, 2020).

La productividad global de las cepas viene determinada por la capacidad total de su follaje para fijar carbono y por la competencia entre el rendimiento en producción de cosecha y el desarrollo vegetativo (Champagnol, 1984). Uno de los índices más comúnmente utilizados para determinar el desarrollo vegetativo de las cepas es la superficie foliar externa (SA). La SA es una medida de la superficie de la vegetación, considerándose como SA la superficie de la envolvente de la arquitectura foliar, y representa el área foliar que recibe la radiación solar de forma directa. Por ello, la SA producida por un viñedo es un elemento determinante para la evaluación de su productividad potencial ya que su distribución y densidad determinan la interceptación y distribución de la radiación solar sobre la planta, viéndose afectadas tanto la

fotosíntesis como la evapotranspiración (Smart *et al*., 1990). La SA se expresa como m^2 de superficie foliar externa respecto a m^2 de superficie de suelo y su desarrollo se ve afectado por condiciones medioambientales, variedad de uva y sistema de conducción, y tipo y severidad de la poda (Martínez de Toda, 2008). Uno de los métodos no destructivos de cálculo de SA por planta en sistema de espaldera se realiza mediante mediciones que se generan llevando a cabo laboriosos muestreos de campo, asemejando la forma de las cepas a sólidos geométricos, *e.g*., un paralelepípedo y utilizando un modelo en el que se incorporan marco de plantación, altura y anchura de la cepa, y distancia entre cepas (Bonnisseau y Dufourcq, 2004; de la Fuente Lloreda, 2008). Martínez de Toda (2008) estudió la relación entre SA con estimación de cosecha y estableció que es necesario un promedio de SA superior a 1,5 m^2 kg^{-1} de uva por cepa en viñedos en espaldera, aunque varía dependiendo de la zona de cultivo del viñedo y de la variedad.

Por otra parte y también en relación con el crecimiento vegetativo, el estimador más fiable del vigor de la planta es el peso de madera de poda (Huglin y Schneider, 1999) cuya determinación se realiza al final del ciclo en pleno reposo vegetativo y, según Yuste (1995), es el que mejor ayuda a analizar la respuesta de la planta respecto a rendimiento producido, crecimiento, desarrollo y como consecuencia, potencial productivo del cultivo para unas condiciones concretas. En cuanto al peso de madera de poda, se han establecido como valores óptimos de madera de poda entre 0,36 kg $cepa^{-1}$ y 0,72 kg $cepa^{-1}$ para una producción satisfactoria (Smart *et al*., 1990). Asimismo, existen otros indicadores que pueden evaluar el equilibrio de la planta entre producción y desarrollo vegetativo como el propuesto por Ravaz en 1903 (Carmo Vasconcelos y Castangnoli, 2000) aunque una de sus limitaciones es que no genera información sobre la distribución de la vegetación en la cepa. Este índice se obtiene del cociente entre peso de cosecha por cepa y peso de madera de poda. Tanto este índice como el de SA mencionado, cuyo cálculo en viñedos conducidos en espaldera se realiza asumiendo que la hilera de cepas es un paralelepípedo, han sido de utilidad ya que ofrecen información foliar promediada por cepa, sin embargo no aclaran la variabilidad espacial del viñedo estudiado. Esta componente espacial de la variabilidad es un factor clave para determinar la eficacia fisiológica o una posterior predicción de cosecha debido a que varía el grado de exposición de la superficie foliar a la radiación solar (Yuste, 1995).

Para reducir el tiempo y los recursos necesarios para los muestreos de campo que requiere la monitorización foliar del viñedo, ha surgido como una de las alternativas más utilizadas la aplicación de técnicas de teledetección, concretamente el análisis de las imágenes adquiridas mediante vehículo aéreo no tripulado (UAV, por las siglas en inglés de *Unmanned Aerial Vehicle*) (Zhang y Kovacs, 2012; Ballesteros *et al.*, 2015; Santesteban *et al.*, 2017). Esta tecnología ha demostrado su capacidad para aportar información geo-espacial de detalle que permite monitorizar el comportamiento vegetativo de cada cepa (Comba *et al.*, 2018; Pádua *et al.*, 2018). Además, Andújar *et al.* (2019) en un estudio económico comparando imágenes-UAV y otros métodos de adquisición de información en campo mediante sensores tipo LiDAR (*Light Detection and Ranging*) o "cámaras de profundidad" instalados a bordo de tractores, concluyeron que la adquisición y el procesamiento de las imágenes-UAV es un método preciso y más eficiente que los demás analizados para la caracterización geométrica del viñedo a escala parcela. Si a este estudio se añade la disminución progresiva de costes de los UAV en los que se instalan sensores de precio reducido, se puede conside-

rar esta tecnología como de bajo coste, lo que la hace adecuada para obtener información georreferenciada rápida, precisa y rentable (Mathews, 2014).

Uno de los problemas intrínsecos cuando se procesan imágenes de muy elevada resolución espacial, como las generadas con UAV, es que el gran nivel de detalle de las imágenes provoca que dentro de clases homogéneas haya un gran rango de valores espectrales. Ello se conoce como elevada variabilidad intra-clases y, en consecuencia, hay mayores dificultades para alcanzar una separación estadística satisfactoria en el proceso de clasificación. Por tanto, para resolver el problema de la variabilidad intra-clases, se recurre a la segmentación de las imágenes, un proceso en el que se agrupan píxeles que son espacial y espectralmente homogéneos y que se denominan *objetos*. Al incorporar información espacial y de contexto, los objetos permiten una clasificación más coherente y precisa que los píxeles. Todo ello es la base en la que se sustentan las técnicas OBIA cuyos pasos principales son: i) segmentación automatizada de una imagen en objetos, ii) combinación de su información espectral, contextual, textural, morfológica y jerarquizada en diferentes capas, iii) clasificación de las imágenes utilizando estos objetos como unidad mínima de información (Blaschke, 2010; Blaschke *et al.*, 2014). Ello ha posibilitado un adecuado manejo del elevado volumen de información presente en las imágenes-UAV y una mayor precisión en las clasificaciones que la obtenida utilizando el análisis basado en píxeles como se ha demostrado en diversos objetivos agronómicos tanto en cultivos herbáceos como leñosos (López-Granados *et al.*, 2016; Mathews, 2014; Torres-Sánchez *et al.*, 2014, 2015 y 2018; Franklin y Ahmed, 2017).

Dentro de un proyecto global de viticultura de precisión y estimación de cosecha, hemos caracterizado en viñedos la arquitectura 3D (altura, área proyectada y volumen) así como su variabilidad espacial mediante imágenes-UAV y aplicando técnicas fotogramétricas y OBIA para objetivos agronómicos relacionados con cartografía geométrica de cultivos leñosos (Jiménez-Brenes *et al.*, 2017; de Castro *et al.*, 2018 y 2020; López-Granados *et al.*, 2020; Mesas-Carrascosa *et al.*, 2020). Como continuación de dicho proyecto, y debido a que según nuestra información no existe bibliografía sobre el uso de imágenes-UAV y nubes de puntos analizadas mediante OBIA para la cartografía de SA y de la madera de poda, así como su comportamiento espacial en viñedos a escala parcela, en esta investigación nos planteamos desarrollar una metodología automatizada que proporcione: i) estimación de la SA, ii) estimación de la madera de poda, iii) relación de la madera de poda con el volumen de las cepas. Nuestro objetivo es mostrar un protocolo tecnológico de bajo coste que incluya configuración de vuelos-UAV y un flujo de trabajo automatizado de análisis de imágenes sin intervención del usuario que permita avanzar en la transformación digital del viñedo y su optimización teniendo en cuenta su variabilidad espacial. En posteriores trabajos se relacionará SA y madera de poda con estimación de cosecha.

Material y métodos

Zona de estudio

El estudio fue realizado en dos viñedos en secano (*Vitis vinifera* L.) denominados A y B plantados en 2015 y 1983, respectivamente, situados en la finca experimental del IFAPA-Cabra (localizada en provincia de Córdoba, Andalucía, España) con una extensión de 0,5 ha cada una (Figura 1). La variedad era 'Pedro Ximénez' estando el material vegetal injertado sobre los portainjertos 140 Ru y 41-B en las parcelas A y B, respectivamente. El marco de plantación fue de 2,5 m entre ca-

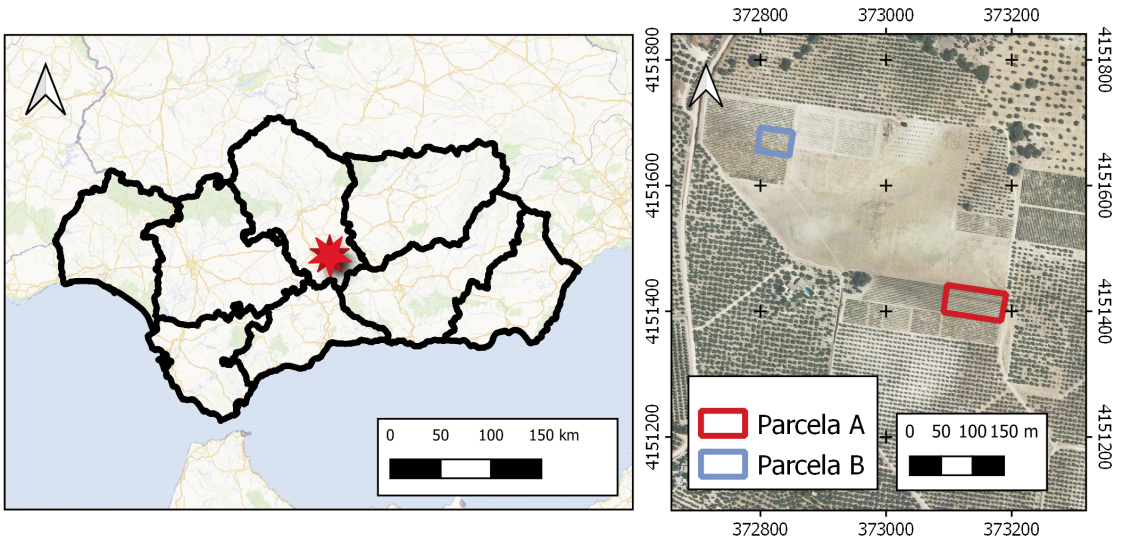


Figura 1. Zona de estudio (Andalucía, sur España) y localización de viñedos A y B.
Figure 1. Study area (Andalusia, South Spain) and location of vineyards A and B.

lles y 1,2 m entre plantas, conducidas en espaldera, con orientación este-oeste y un sistema de poda en cordón doble con una carga de 16 yemas por cepa. El suelo es de tierra albariza, tiene una textura franca, y es pobre en materia orgánica. El manejo del cultivo se ha realizado siguiendo el Reglamento (CE) Nº 834/2007 (DOCE, 1990) sobre producción y etiquetado de productos ecológicos. En el momento de los vuelos, los ápices de las viñas habían detenido su crecimiento. Las hojas más bajas de las viñas estaban a una altura aproximada de 0,5 m.

Vuelos-UAV y adquisición de imágenes

Las imágenes-UAV se tomaron en julio de 2019 siguiendo un plan de vuelo con pasadas paralelas a las hileras de viña. El UAV se programó para volar a 30 m de altura con 60 % y 89 % de solapes transversal y longitudinal entre imágenes, resultando en un tamaño de píxel de 0,6 cm. Esta programación de vuelo derivó en una adquisición de 325 y 203 imágenes en los campos A y B, respectivamente. Los vuelos se llevaron a cabo en torno al mediodía solar para minimizar la presencia de sombras en las imágenes. Se empleó un UAV multirrotor MD4-1000, con capacidad para transportar un sensor de hasta 1,25 kg y una autonomía de vuelo de hasta 45 min, con despegue y aterrizaje vertical, dotado de GPS que permite seguir automáticamente una ruta previamente programada por el piloto. El sistema de manejo del UAV incluye una emisora de radiocontrol, una estación base para recepción de datos de telemetría, así como un paquete de software para diseño de rutas, configuración del vehículo e interpretación de la telemetría. A bordo del UAV se instaló una cámara convencional (RGB) Sony ILCE-6000, con un sensor de 24 Mp (Figura 2). Estas configuraciones fueron similares a las realizadas en López-Granados *et al.* (2020).

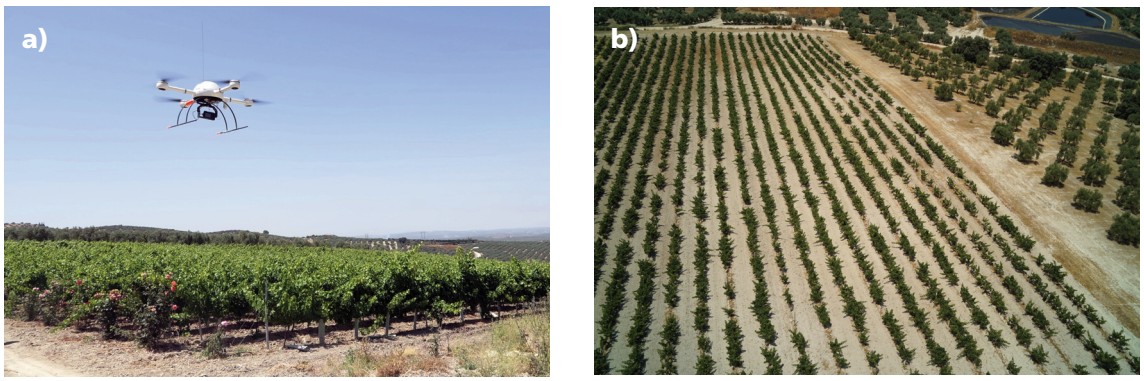


Figura 2. a) Vehículo aéreo no tripulado volando una de las parcelas de viñedo; b) imagen aérea de la parcela B en la que se aprecia la elevada variabilidad espacial de cada cepa y las marras.
Figure 2. a) Unmanned aerial vehicle flying over one of the vineyards; b) aerial image of parcel B showing the high spatial variability and gaps of vines.

Creación de Nubes de Puntos

Las nubes de puntos 3D son necesarias para la caracterización del crecimiento vegetativo de las cepas teniendo en cuenta el volumen y el desarrollo en altura de la viña. El software utilizado fue Agisoft PhotoScan Profesional Edition (Agisoft LLC, St. Petersburg, Russia) versión 1.5.3 build 8469. La configuración del procesado fotogramétrico fue similar a la utilizada en de Castro *et al.* (2018). El proceso de creación de nubes de puntos fue automático y únicamente requirió la intervención del usuario para la localización de 6 puntos de control situados en cada viñedo el día del vuelo; 4 de estos puntos estaban localizados en los bordes de cada parcela y 2 en el centro. Todos ellos fueron georreferenciados mediante un GPS en tiempo real (RTK) unido a la estación de referencia de la red GNSS del Instituto Geográfico Español. La precisión estimada del sistema GNSS-RTK es de 0,02 m en planimetría y 0,03 m en altimetría. Las nubes de puntos fueron almacenadas en formato "las" que es un formato público para el intercambio de nubes de puntos.

Algoritmo OBIA

Las nubes de puntos generadas en cada viñedo fueron analizadas mediante el diseño de un algoritmo OBIA creado mediante *Cognition Network Language* dentro del entorno del programa eCognition Developer 9.1 (Trimble GeoSpatial, Múnich, Alemania). En el trabajo que se presenta, se partió de procedimientos previos para diferentes objetivos agronómicos abordados en viñedos en espaldera (López-Granados *et al.*, 2020). A continuación, se describe el proceso OBIA desarrollado que no necesita intervención del usuario y como entrada tiene únicamente la nube de puntos generada anteriormente. Este procedimiento permitió la caracterización de la SA y del volumen para estudiar su relación con el peso de la madera de poda:

– Generación del Modelo Digital del Terreno (MDT): la nube de puntos fue dividida usando una cuadrícula de 2 m de lado y generándose una nueva imagen de 2 m de resolución. A cada una de las divisiones de la cuadrícula se le asignó la altura media del 15 % de los puntos con menor altura por considerarse que son los puntos pertenecientes al suelo.

– Clasificación del Viñedo: una vez creado el MDT en el paso anterior, la nube de puntos se dividió en una nueva cuadrícula de 0,1 m de lado y todos los cuadrados que tenían una altura respecto al MDT superior a 0,7 m se clasificaron como viña. Dicho umbral de altura se eligió debido a que ninguna cepa tenía una altura menor y a que no había ningún otro objeto mayor de 0,7 m. A continuación, se creó una nueva nube de puntos que contenía los puntos de las áreas clasificadas como viña y que no incluía ningún punto perteneciente al suelo.

– División de la Nube de Puntos: la anterior nube de puntos se dividió en secciones verticales de 0,1 m altura y, teniendo en cuenta que la nube de puntos fue previamente dividida en cuadrados de 0,1 m, ello derivó en que la nube de puntos correspondiente a viña fue dividida en píxeles 3D (voxels) con 0,1 m de lado. Por tanto, se creó una nueva imagen con una resolución de 0,1 m, capaz de almacenar en cada píxel el número de voxels que contenían puntos pertenecientes a la viña que tenían las mismas coordenadas *x,y* que el píxel.

– Segmentación de la Hilera de Viña: las hileras del viñedo se dividieron en secciones o rebanadas con una longitud que es definida por el usuario y que en este caso fue 0,1 m (Figura 3a).

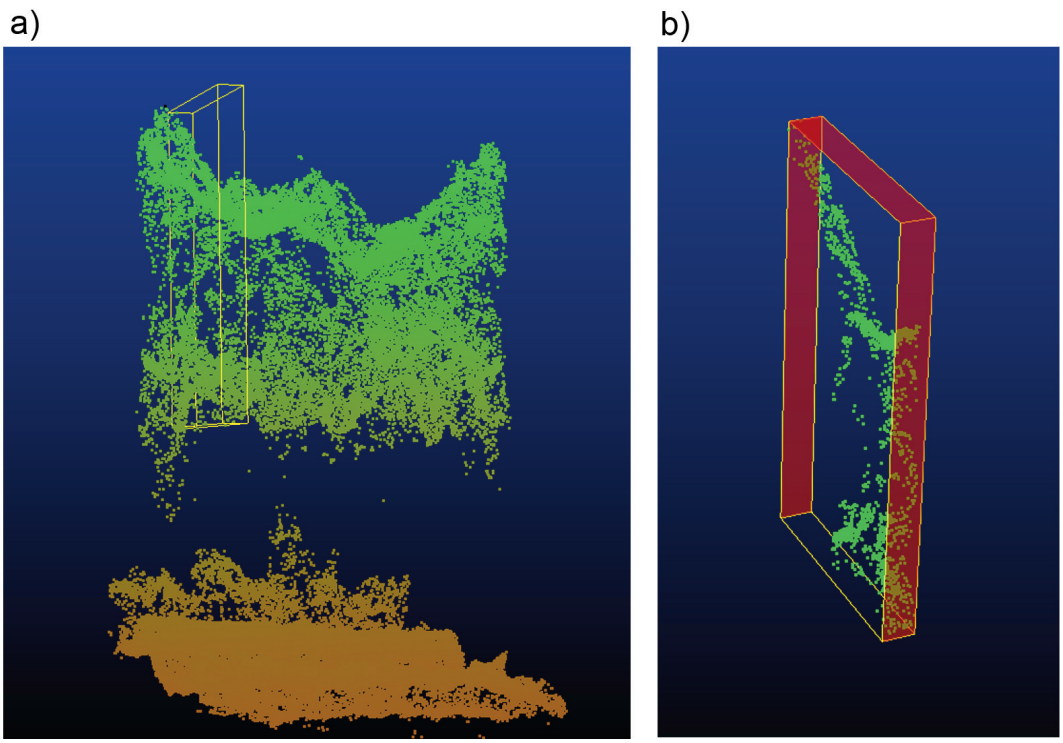


Figura 3. a) Vista parcial de la nube de puntos representando una cepa y mostrando una de las rebanadas en las que se dividen las viñas; b) vista de una de las rebanadas con el área proyectada y las áreas laterales marcadas en rojo.
Figure 3. a) Partial view of the point cloud representing a vine and showing one of the slices in which the vines are divided into; b) view of one of the slices with the projected area and the lateral areas highlighted in red.

– Caracterización 3D de los Segmentos de Viña: conociendo el volumen de cada voxel (0,1 m^3 × 0,1 m^3 × 0,1 m^3) y el número de voxels que comparten coordenadas *x,y* con cada píxel de los segmentos de viña, es posible determinar el volumen ocupado por cada sección vertical de viña. La altura máxima de cada segmento se calculó comparando la altura del punto más alto del segmento con la del MDT. El área proyectada del segmento se extrajo del paso del algoritmo llamado "Clasificación del viñedo". Para calcular el área externa del segmento, es decir la SA, se sumaron al área proyectada las áreas laterales del segmento. Dichas áreas se calcularon teniendo en cuenta el ancho de la rebanada y el alto del dosel de la viña (calculado como la altura de la rebanada menos 0,5 m, que es la altura del suelo a las hojas más bajas de las cepas). La figura 3b muestra, marcadas en rojo, las áreas laterales y el área proyectada empleadas en los cálculos.

$$SA_UAV = [(\text{Área proyectada} + 2 \times 0{,}1 \times (\text{Altura} - 0{,}5d)]/MP$$

Las rebanadas de viña fueron agrupadas para realizar el análisis por cepas y poder abordar la comparación con los datos de campo. Dichas agrupaciones se llevaron a cabo tomando 12 rebanadas consecutivas, lo que equivale a una longitud de hilera de 1,2 m, igual a la distancia entre cepas según el marco de plantación (MP). Para cada uno de estos grupos se calculó la suma del área externa y del volumen. Las agrupaciones se van realizando hilera por hilera desde uno de sus extremos. En el caso de que la hilera presente una marra, la agrupación se detiene y vuelve a comenzar por el siguiente tramo a continuación de la marra. Esto puede resultar en que alguna agrupación cuente con menos de 12 rebanadas.

Muestreos de campo para estimación de SA y del peso de la madera de poda

En marzo de 2019 y antes de la floración, se georreferenciaron 80 y 40 cepas en las parcelas A y B, respectivamente, mediante GPS-RTK (Figura 4). Para cada cepa se tomaron 3 puntos GPS, uno en el tronco y otro en cada uno de los extremos de la cepa. Para la estimación de SA expresada como m^2 de superficie foliar externa respecto a m^2 de superficie de suelo, en julio de 2019, cuando el

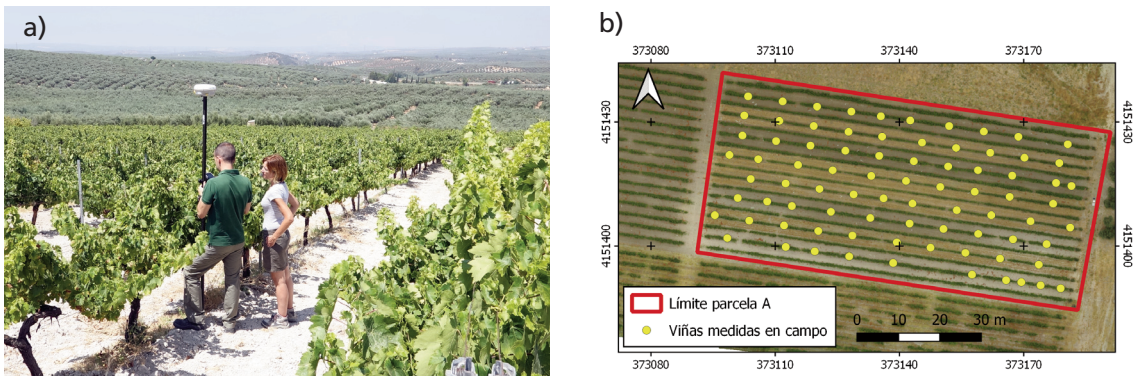


Figura 4. a) Miembros del equipo de investigación georreferenciando una de las cepas; b) imagen aérea de las cepas medidas en campo.
Figure 4. a) Members of research team georeferencing one of the vines; b) aerial image of vines measured in the field (parcel A).

crecimiento vegetativo era máximo y coincidiendo con los vuelos-UAV, en cada cepa georreferenciada se midió la altura (H) y el ancho (A) de cada cepa en tres puntos (uno por cada brazo y otro en el centro), incorporando la longitud de la cepa (D), y la distancia entre calles o marco de plantación (MP) y asociando la hilera a un paralelepípedo y aplicando la fórmula de Bonnisseau y Dufourcq (2004):

$$SA_campo = (2\ H \times D + a \times d)/MP$$

Posteriormente, en diciembre de 2019 y después de la caída completa de las hojas, se pesó la madera de poda en cada cepa georreferenciada. Las relaciones entre SA determinada en campo y la estimada según las imágenes-UAV, así como la de madera de poda en campo y volumen estimado en las imágenes-UAV se evaluaron calculando el coeficiente de correlación en cada viñedo y en el conjunto de ambas parcelas mediante software R 3.5.3 (R Core Team, 2019). La madera de poda fue estudiada utilizando el logaritmo natural del peso en kg de la madera de poda por cepa.

Resultados y discusión

La configuración de los vuelos y el procedimiento puesto a punto produjeron una elevada densidad de puntos en las nubes generadas en ambos viñedos, con 20.984 puntos m^{-2} y 12.763 puntos m^{-2} en las parcelas A y B, respectivamente. El menor número de puntos en la parcela B se debió a que es un viñedo con más marras que el A, lo que implica menos objetos que representar y, por consiguiente, menos puntos. Esta diferencia en las parcelas fue uno de los objetivos que se marcaron al realizar las prospecciones para llevar a cabo el estudio ya que se pretendía que los algoritmos diseñados fuesen robustos en viñedos con elevada variabilidad espacial dentro y entre las parcelas. Las densidades de puntos obtenidas son mucho más elevadas que los 2.200 puntos m^{-2}, 4.400 puntos m^{-2} y 5.600 puntos m^{-2} referidos por otros autores en olivar, almendro o escenarios forestales para caracterización 3D de árboles (Wallace *et al.*, 2016; Torres-Sánchez *et al.*, 2018; de Castro *et al.*, 2019). Esta gran densidad de puntos es un resultado relevante y fue muy útil para demostrar su posterior eficacia en las estimaciones de SA y de peso de madera de poda. En la figura 5 se muestra una vista en perspectiva de las nubes de puntos 3D de la parcela A indicando la representación en el espacio, es decir, la reconstrucción 3D de cada cepa y el alto nivel de detalle alcanzado, donde los troncos y la parte vegetativa son distinguibles.

En la tabla 1 se muestran los valores promedio de la SA y del peso de la madera de poda en ambos viñedos estimados mediante imágenes-UAV y los medidos en campo. Tanto en el campo A como en el B, los valores medios y la desviación típica de la SA estimados por la metodología UAV fueron más altos que los medidos en campo. Los mayores valores de SA pueden deberse al hecho de que las medidas del ancho y el alto de la viña en campo se hacen en puntos fijos, que no tienen por qué ser los de mayores dimensiones, mientras que en el análisis de la nube de puntos se captura mejor la altura y la proyección vertical de la cepa, incluyendo las zonas de mayores dimensiones. El motivo de que desviaciones típicas de los valores de SA estimados por el UAV sean más elevadas que los medidos probablemente esté relacionado con el mayor nivel de detalle de las mediciones en que se basan. En la medición de campo, el cálculo de la SA se realiza con tres valores de altura y anchura por cepa, mientras que para la metodología desarrollada se utilizan 12 mediciones por planta (una por rebanada analizada por el algoritmo). Esto permite captar mejor la variabilidad dentro de cada cepa y en los estadísticos a nivel de parcela, lo que lleva a mayores valores de la desviación típica.

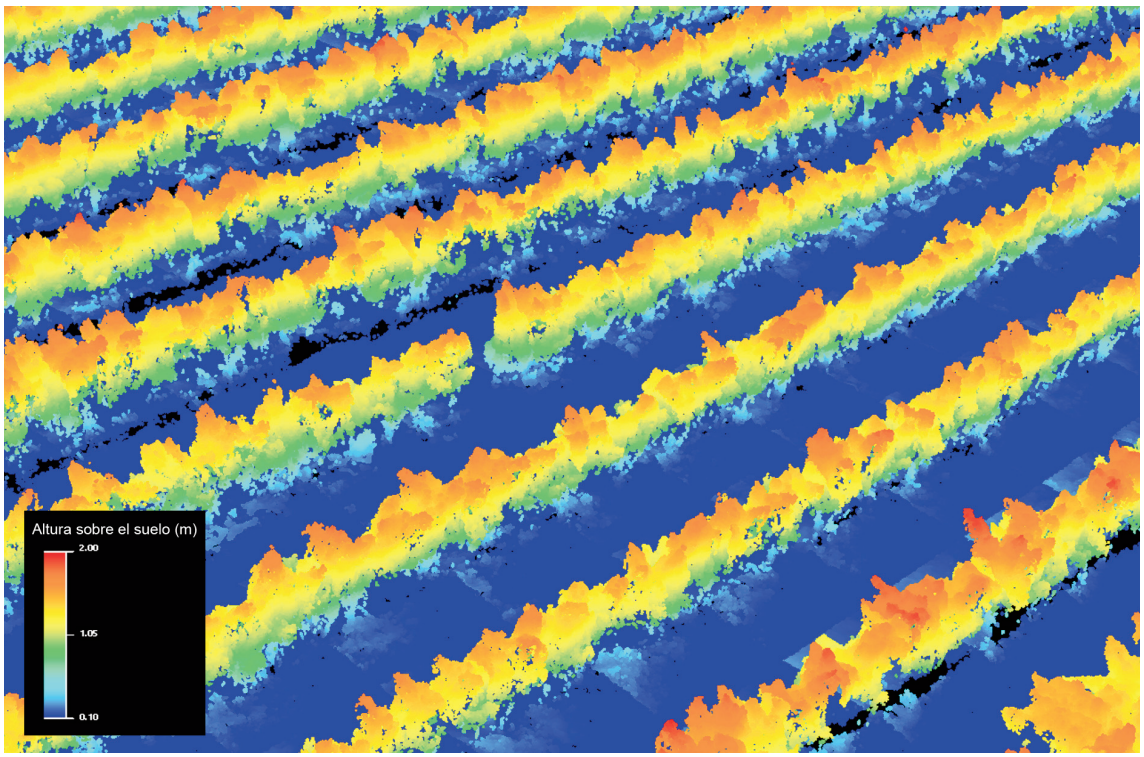


Figura 5. Vista en perspectiva de una zona de la nube de puntos 3D de la parcela A.
Figure 5. Perspective view of part of the 3D point clouds from parcel A.

Tabla 1. Estadística descriptiva de la Superficie Foliar Externa (SA, m^2 m^{-2}) y peso de madera de poda (kg $cepa^{-1}$) estimadas en cada viñedo mediante imágenes-UAV y medidas en campo.
Tabla1. Statistics of External Leaf Area (SA, m^2 m^{-2}) and weight of pruning wood (kg $vine^{-1}$) estimated by UAV-imagery and field measurements in parcels A and B.

		SA Campo			Madera de poda campo		
Datos de campo	Parcela	Rango	Media	SD	Rango	Media	SD
	A	0,57-1,17	0,89	0,13	0,16-1,23	0,59	0,23
	B	0,38-1,16	0,67	0,24	0,18-2,44	0,68	0,46
		SA UAV			Volumen UAV		
Datos UAV	Parcela	Rango	Media	SD	Rango	Media	SD
	A	0,76-1,46	1,12	0,16	0,41-1,09	0,74	0,14
	B	0,44-1,54	0,93	0,30	0,27-1,43	0,67	0,30

La figura 6 muestra la relación entre los valores de SA medidos en campo y los estimados mediante el análisis de las imágenes-UAV. Observando la distribución de los puntos con respecto a la línea 1:1, se puede apreciar que las estimaciones realizadas con la nueva metodología presentada arrojan mayores valores de SA que las mediciones en campo. Este hecho ya se apreció en el análisis de los valores promedio incluidos en la tabla 1. Es importante recalcar que esto no debe interpretarse como una tendencia de la metodología-UAV a la sobrestimación de la SA del viñedo. Los datos de campo tomados como referencia no son mediciones totalmente exactas de la superficie expuesta, sino que están basadas en una cantidad limitada de mediciones y en la asunción de que la cepa es un paralelepípedo perfecto, lo que no es real. Por tanto, aunque sirve como base para realizar una evaluación del flujo de trabajo propuesto, la relación observada en el gráfico no debe interpretarse como una sobreestimación constante por parte de la metodología-UAV.

En lo referente al análisis estadístico de la comparativa entre valores observados y estimados de SA mostrada en la figura 6, se obtuvieron coeficientes de correlación de Pearson de 0,78 ($p < 0,001$) y de 0,91 ($p < 0,001$) en los viñedos A y B, respectivamente. En ambos casos se observa una relación significativa, lineal y positiva entre las mediciones en campo y las estimaciones. El mayor rango de valores de SA observado en el campo B (Tabla 1), puede haber favorecido el ajuste de la correlación entre los valores medidos y generados,

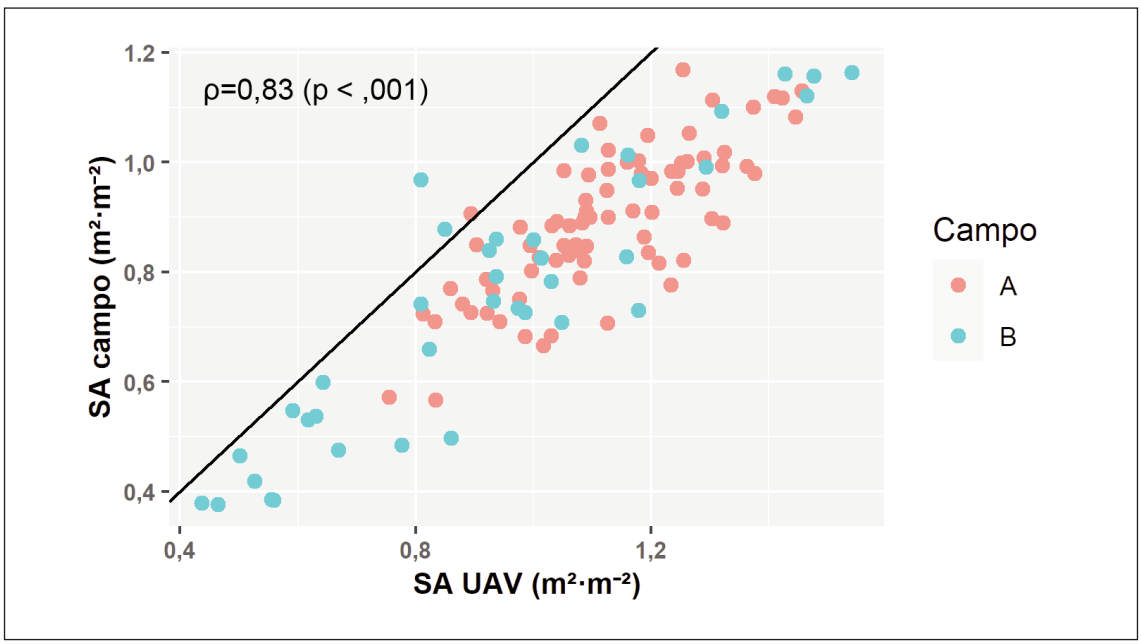


Figura 6. Relación entre la Superficie Foliar Externa (SA, $m^2\ m^{-2}$) medida en campo con la estimada mediante el análisis de las imágenes-UAV considerando el conjunto de ambas parcelas de viñedo. La línea negra representa la recta 1:1.

Figure 6. Relationship between External Leaf Area (SA, $m^2\ m^{-2}$) measured in the field and that estimated by the analysis of UAV images considering both vineyard parcels. The black line represents the 1:1 line.

llevando a que el coeficiente de correlación sea más elevado en este campo que en el A. Cuando se estudiaron los datos considerando los dos viñedos conjuntamente las variables no cumplieron el principio de normalidad, por lo que en este caso se calculó el coeficiente de correlación de Spearman, cuyo valor fue de 0,83 (p < 0,001) (Figura 6). Lo anterior demuestra una relación positiva y altamente significativa entre la SA observada y estimada mediante el protocolo tecnológico y metodológico que se ha diseñado. Ello permite la posibilidad de cuantificar la SA en cada cepa incorporando su distribución espacial a escala parcela (Figura 7), mejorando la información registrada y el manejo global de la misma.

En el análisis de la relación entre el logaritmo del peso de la madera de poda obtenida en campo y el volumen estimado con el análisis de las imágenes-UAV, se obtuvieron coeficientes de correlación de Pearson de 0,50 (p < 0,001) y de 0,85 (p < 0,001) en los viñedos A y B, respectivamente. Al igual que en el caso de la estimación de SA, el valor de la correlación es más elevado en la parcela B. La distribución de los puntos en las figuras 7 y 8 indica que la parcela B presenta una mayor variabilidad, tal y como se constata por la desviación típica de los datos en la tabla 1. Esto puede ser debido a su mayor antigüedad, ya que esta parcela se plantó en 1983 mientras que la parcela A en 2015 y hasta el momento

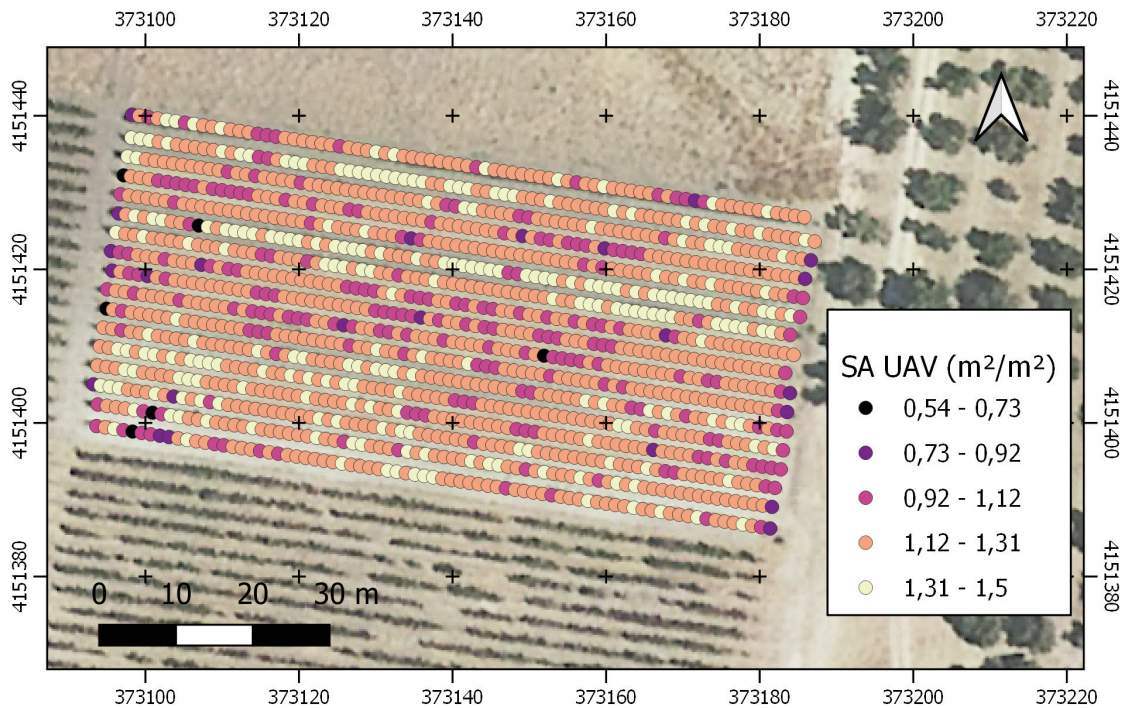


Figura 7. Cartografía de la Superficie Foliar Externa (SA, $m^2\ m^{-2}$) estimada mediante el análisis de las nubes de puntos UAV en la parcela A.
Figure 7. Map of External Leaf Area (SA, $m^2\ m^{-2}$) estimated through the analysis of UAV point clouds generated in parcel A.

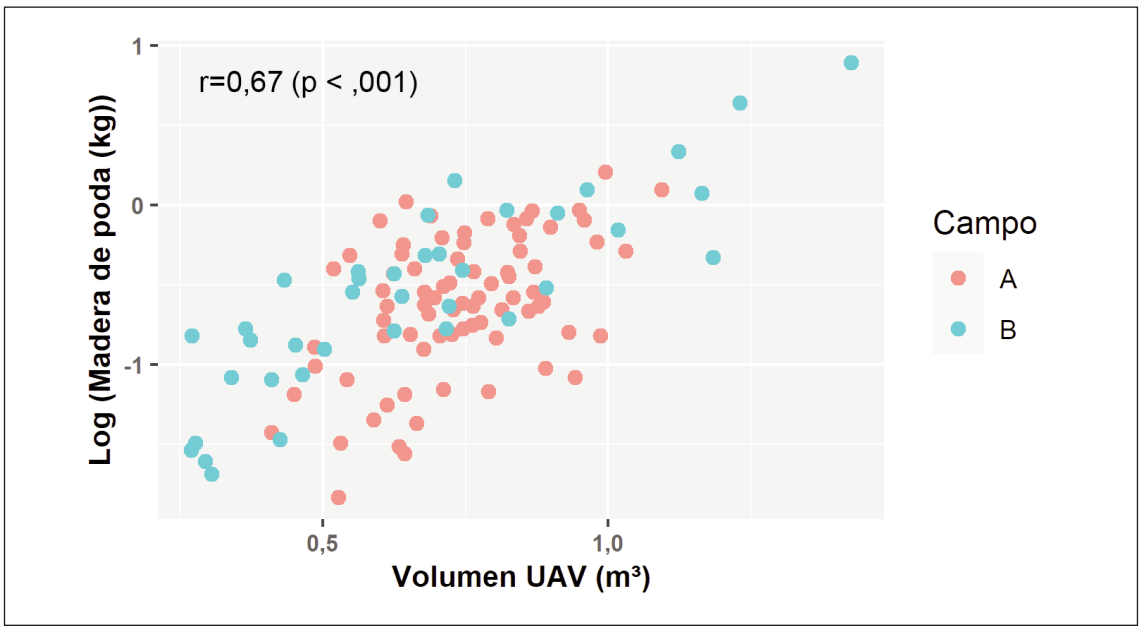


Figura 8. Relación entre logaritmo del peso de la madera de poda (kg cepa^{-1}) medida en campo con el volumen estimado mediante el análisis de las nubes de puntos UAV considerando el conjunto de ambas parcelas de viñedo.
Figure 8. Relationship between the logarithm of the weight of pruning wood (kg vine^{-1}) measured in the field with the volume estimated by the analysis of UAV point clouds considering both vineyard parcels.

ha mostrado un desarrollo vegetativo más homogéneo. Al considerar ambos viñedos de manera conjunta el coeficiente de correlación fue de 0,67 ($p < 0,001$) (Figura 8). Teniendo en cuenta que la madera de poda es una medida de vigor de las cepas y la significativa relación positiva obtenida con el volumen estimado por las imágenes-UAV, se puede concluir que la cartografía 3D del volumen de las cepas es una medida indirecta del vigor y que puede ser utilizada como fuente de información en la gestión del viñedo. En este trabajo no se ha evaluado la precisión del volumen estimado en viñedo utilizando nubes de puntos fotogramétricas debido a que estudios previos han demostrado la fiabilidad de los modelos 3D derivados de las imágenes-UAV para otro tipo de objetivos agronómicos (López-Granados *et al.*, 2020).

Según la configuración de la misión aérea empleada, así como el UAV y los sensores utilizados, el tiempo para realizar el vuelo en cada viñedo y el análisis correspondiente de cada imagen fue de 5-6 min y unas 4 h por parcela, respectivamente. Teniendo en cuenta que el UAV utilizado tiene autonomía para cubrir en un único vuelo hasta 10 ha en aproximadamente 30 min, los resultados obtenidos muestran que se podría cartografiar de forma eficiente y precisa la SA, así como la madera de poda, de cada cepa de un viñedo sin utilizar laboriosos muestreos de campo.

La cartografía de SA y la estimación del vigor en función del volumen son de gran utilidad para el diseño de estrategias basadas en viticultura de precisión ya que la información georreferenciada del dosel vegetal que se genera se puede presentar tabulada o en forma de

mapa. Por ejemplo, pueden ser la base sobre la que se monitoricen las potenciales incidencias que puedan ocurrir en cada cepa (enfermedades, carencias nutricionales o defecto/exceso de riego), se analicen las podas realizadas para estudiar la opción de diseñar otras diferentes y así modular la carga de yemas por cepa, o se programen tratamientos fitosanitarios foliares en función del follaje de cada cepa. De acuerdo con Campos *et al.* (2019), la combinación de información extraída de vuelos-UAV y un sistema de apoyo a la decisión permitió un ahorro del 45 % en la aplicación de pesticidas foliares en viñedo.

Conclusiones

El uso de una metodología que combina técnicas de fotogrametría y análisis OBIA sobre nubes de punto 3D generadas a partir de imágenes-RGB tomadas con un UAV se ha demostrado preciso y eficiente en la estimación a nivel de cepa de la superficie foliar externa y la madera de poda en viñedos cultivados en espaldera. Los resultados procedentes de esta metodología han demostrado elevados niveles de correlación con parámetros de crecimiento vegetativo medidos en campo. Este hecho, unido a la eficiencia del procedimiento desarrollado, hace que sea una alternativa óptima para la monitorización del desarrollo de los viñedos teniendo en cuenta su variabilidad espacial frente a las laboriosas mediciones en campo. Ello contribuye a abrir la puerta a la generalización de las técnicas de viticultura de precisión que necesitan una gran cantidad de datos con componente espacial para llevar a cabo un manejo localizado de la viña y avanzar en su transformación digital. Futuros trabajos abordarán el análisis de otros parámetros del crecimiento vegetativo, como el índice de área foliar, para evaluar su relación con la estimación de cosecha.

Agradecimientos

Esta investigación fue financiada por los proyectos PID2020-113229RB-C44 (Mº de Ciencia e Innovación y Fondos FEDER), INTRAMURAL-CSIC 202040E230 y TRANSVITI (Proyecto de Transferencia y Cooperación en Vitivinicultura Andaluza, ref.: PP.TRA.TRA2019.007, IFAPA, cofinanciado Fondos FEDER, Programa Operativo FEDER-Andalucía 2014-2020).

Referencias bibliográficas

Andújar D, Moreno H, Bengochea-Guevara JM, de Castro AI, Ribeiro A (2019). Aerial imagery or on-ground detection? An economic analysis for vineyard crops. Computers and Electronics in Agriculture 157: 351-358. https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.01.007.

Annosi MC, Brunetta F, Montic A, Nati F (2019). Is the trend your friend? An analysis of technology 4.0 investment decisions in agricultural SMEs. Computers in Industry 109: 59-71. https://doi.org/10.1016/j.compind.2019.04.003.

Ballesteros R, Ortega JF, Hernández D, Moreno MÁ (2015). Characterization of *Vitis vinifera* L. canopy using Unmanned Aerial Vehicle-based remote sensing and photogrammetry techniques. American Journal of Enology and Viticulture 66: 120-129. https://doi.org/10.5344/ajev.2014.14070.

Blaschke T (2010). Object based image analysis for remote sensing. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 65: 2-16. https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2009.06.004.

Blaschke T, Hay GJ, Kelly M, Lang S, Hofmann P, Addink E, Queiroz-Feitosa R, van der Meer F, van der Werff H, van Coillie, F, Tiede D (2014). Geographic object-based image analysis. Towards a new paradigm. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 87: 180-191. https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2013.09.014.

Bonnisseau M, Dufourcq T (2004). Adaptation de la conduite du vignoble: la gestion du rapport feuilles/fruits. MONDIAVITI-Bordeaux, 1 y 2 diciembre, pp. 139-149.

Campos J, Llop J, Gallart M, García-Ruiz F, Gras A, Salcedo R, Gil E (2019). Development of canopy vigour maps using UAV for site-specific management during vineyard spraying process. Precision Agriculture 20: 1136-1156. https://doi.org/10.1007/s11119-019-09643-z.

Carmo Vasconcelos M, Castagnoli S (2000). Leaf canopy structure and vine performance. American Journal of Enology and Viticulture 51: 390-396.

Caruso G, Tozzini L, Rallo G, Primicerio J, Moriondo M, Palai G, Gucci RJV (2017). Estimating biophysical and geometrical parameters of grapevine canopies ('Sangiovese') by an unmanned aerial vehicle (UAV) and VIS-NIR cameras. Vitis 56: 63-70. https://doi.org/10.5073/vitis.2017.56.63-70.

Comba L, Biglia A, Ricauda-Aimonino D, Gay P (2018). Unsupervised detection of vineyards by 3D point-cloud UAV photogrammetry for precision agriculture. Computers and Electronics in Agriculture 155: 84-95. https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.10.005.

de Castro AI, Jiménez-Brenes FM, Torres-Sánchez J, Peña JM, Borra-Serrano I, López-Granados F (2018). 3-D characterization of vineyards using a novel UAV imagery-based OBIA procedure for precision viticulture applications. Remote Sensing 10: 584. https://doi.org/10.3390/rs10040584.

de Castro AI, Rallo P, Suárez MP, Torres-Sánchez J, Casanova L, Jiménez-Brenes FM, Morales-Sillero A, Jiménez MR, López-Granados F (2019). High-throughput system for the early quantification of major architectural traits in olive breeding trials using UAV images and OBIA techniques. Frontiers in Plant Science 10: 1472 https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01472.

de Castro AI, Peña JM, Torres-Sánchez J, Jiménez-Brenes FM, Valencia-Gredilla F, Recasens J, López-Granados F (2020). Mapping *Cynodon dactylon* infesting cover crops with an automatic decision tree-OBIA Procedure and UAV imagery for precision viticulture. Remote Sensing 12: 56. https://doi.org/10.3390/rs12010056.

De la Fuente LLoreda (2008). Caracterización geométrica, ecofisiológica y evaluación agronómica de sistemas continuos de vegetación libre (sprawl) *vs*. espaldera para atenuar la sobreexposición de hojas y racimos en cv. `Syrah (*Vitis vinifera* L.) en viñedos de zonas cálidas. Tesis doctoral, E.T.S.I. Agrónomos (UPM). 302 pp.

DOCE (1990). Reglamento (CEE) 2676/90 de la Comisión, de 17 de septiembre, por el que se determinan los métodos de análisis comunitarios aplicables en el sector del vino. Diario Oficial de la Comunidad Económica Europea, núm. 272, de 3 de octubre de 1990. 192 pp.

Champagnol F (1984). Eléments de Physiologie de la Vigne et de Viticulture Générale. Prades-le-Lez, Francia. 351 pp.

Franklin SE, Ahmed OS (2017). Deciduous tree species classification using object-based analysis and machine learning with unmanned aerial vehicle multispectral data. International Journal of Remote Sensing 39: 5236-5245. https://doi.org/10.1080/01431161.2017.1363442.

Huglin P, Schneider S (1999). Biologie et écologie de la vigne. Ed. Technique & Documentation, Paris, France. 370 pp.

Jiménez-Brenes FM, López-Granados F, de Castro AI, Torres-Sánchez J, Serrano N, Peña JM (2017). Quantifying pruning impacts on olive tree architecture and annual canopy growth by using UAV-based 3D modelling. Plant Methods 13: 55. https://doi.org/10.1186/s13007-017-0205-3.

López-Granados F, Torres-Sánchez J, de Castro AI, Serrano-Pérez A, Mesas-Carrascosa FJ, Peña JM (2016). Object-based early monitoring of a grass weed in a grass crop using high resolution UAV-imagery. Agronomy for Sustainable Development, 36 (4): paper 67. https//doi.org/10.1007/s13593-016-0405-7.

López-Granados F, Torres-Sánchez J, Jiménez-Brenes FM, Arquero O, Lovera M, de Castro AI (2019). An efficient RGB-UAV-based platform for field almond tree phenotyping: 3-D architecture and flowering traits. Plant Methods 15:160 https://doi.org/10.1186/s13007-019-0547-0.

López-Granados F, Torres-Sánchez J, Jiménez-Brenes FM, Oneka O, Marín M, Loidi M, de Castro AI, Santesteban LG (2020). Monitoring vineyard canopy management operations using

UAV-Acquired photogrammetric point clouds. Remote Sensing 12: 2331. https://doi.org/10.3390/rs12142331.

Martínez de Toda F (2008). Claves de la Viticultura de Calidad. Ed. Mundi-Prensa, Madrid, España. 214 pp.

Mathews AJ (2014). Object-based spatiotemporal analysis of vine canopy vigor using an inexpensive unmanned aerial vehicle remote sensing system. Journal of Applied Remote Sensing 8: 085199. https://doi.org/10.1117/1.JRS.8.085199.

Mesas-Carrascosa FJ, de Castro AI, Torres-Sánchez J, Triviño-Tarradas P, Jiménez-Brenes, FM, García-Ferrer A, López-Granados F (2020). Classification of 3D point clouds using color vegetation indices for precision viticulture and digitizing applications. Remote Sensing 12: 317. https://doi.org/10.3390/rs12020317.

Nex F, Remondino F (2013). UAV for 3D mapping applications: A review. Applied Geomatics 6: 1-15. https://doi.org/10.1007/s12518-013-0120-x.

Pádua L, Marques P, Hruška J, Adão T, Peres E, Morais R, Sousa JJ (2018). Multi-temporal vineyard monitoring through UAV-based RGB imagery. Remote Sensing 10: 1907. https://doi.org/10.3390/rs10121907.

Santesteban LG, Di Gennaro SF, Herrero-Langreo A, Miranda C, Royo JB, Matese A (2017). High-resolution UAV-based thermal imaging to estimate the instantaneous and seasonal variability of plant water status within a vineyard. Agricultural and Water Management 183: 49-59. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.08.026.

Smart R, Dick J, Gravett I, Fisher B (1990). Canopy management to improve grape yield and wine quality. Principles and practices. South African Journal for Enology and Viticulture 11: 3-25. https://doi.org/10.21548/11-1-2232.

Torres-Sánchez J, Peña JM, de Castro AI, López-Granados F (2014). Multi-temporal mapping of the vegetation fraction in early-season wheat fields using images from UAV. Computers and Electronics in Agriculture 103: 104-113. https://doi.org/10.1016/j.compag.2014.02.009.

Torres-Sánchez J, López-Granados F, Peña JM (2015). An automatic object-based method for optimal thresholding in UAV images: Application for vegetation detection in herbaceous crops. Computers and Electronics in Agriculture 114: 43-52. https://doi.org/10.1016/j.compag.2015.03.019.

Torres-Sánchez J, de Castro AI, Peña JM, Jiménez-Brenes FM, Arquero O, Lovera M, López-Granados F (2018). Mapping the 3D structure of almond trees using UAV acquired photogrammetric point clouds and object-based image analysis. Biosystems Engineering 176: 172-184. https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2018.10.018.

Wallace L, Lucieer A, Malenovský Z, Turner D, Vop nka P (2016). Assessment of forest structure using two UAV techniques: A comparison of airborne laser scanning and structure from motion (SfM) point clouds. Forests 7: 62. https://doi.org/10.3390/f7030062.

Yuste J (1995). Comportamiento fisiológico y agronómico de la vid (*Vitis vinífera* L.) en diferentes sistemas de conducción en secano y regadío. Tesis Doctoral. E.T.S.I. Agrónomos (UPM). 280 pp.

Zhang C, Kovacs JM (2012). The application of small unmanned aerial systems for precision agriculture: A review. Precision Agriculture 13: 693-712. https://doi.org/10.1007/s11119-012-9274-5.

(Aceptado para publicación el 8 de julio de 2021)

Subproductos agroindustriales utilizados para biosolarización reducen la incidencia de patógenos del suelo en invernaderos de pimiento

Alfredo Lacasa[1,*], Carmen María Lacasa[2], Jerónimo Torres[2], Victoriano Martínez[2], Caridad Ros[2], María del Mar Guerrero[2], Pedro Fernández[3], Paula Serrano-Pérez[4] y María Carmen Rodríguez-Molina[4]

[1] C/ Almirante Malaspina, 3, 3ºC, 30007 Murcia, España
[2] Biotecnología y Protección de Cultivos, IMIDA, C/ Mayor s/n, 30150 La Alberca, Murcia, España
[3] OCA Vega Alta, C/ Polígono S, 8, 30530 Cieza, Murcia, España
[4] Centro de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de Extremadura (CICYTEX), Centro de Agricultura Ecológica y de Montaña, Avda. de España, 43. 10600 Plasencia, Cáceres, España

Resumen

Phytophthora capsici Leonnian*, P. nicotianae* Breda de Haan y *Meloidogyne incognita* (Kofoid and White) Chitwood son los principales patógenos del suelo en los invernaderos del Campo de Cartagena (Murcia) donde el pimiento es un monocultivo de 8-9 meses de duración, reiterado desde hace más de 25 años en más del 90 % de la superficie. En tres invernaderos se ha evaluado la torta de colza (TC) y la mezcla de bagazo de cerveza + estiércol fresco de ovino (BC+EFO) como enmiendas para la biosolarización, en comparación con suelo desinfectado con fumigantes químicos o no desinfectado. La biosolarización con las dos enmiendas redujo significativamente la viabilidad de las oosporas de *P. capsici* enterradas a 15 cm y 30 cm, el inóculo natural de *P. nicotianae*, la incidencia de *P. nicotianae* (% plantas muertas) y de *M. incognita* (índice de agallas y % plantas infestadas) en el cultivo de pimiento, tanto si se inició el tratamiento en agosto como en septiembre y en menor proporción si se inició en octubre, al mismo nivel que los desinfectantes químicos (1,3-dicloropropeno +cloropicrina o dazomet). La biosolarización con TC o BC+EFO mejoró la cosecha comercial entre el 120 % (invernaderos con baja población de *M. incognita* o *P. nicotianae*) y el 170 % (invernadero con altas poblaciones del nematodo y del oomiceto). La biosolarización con subproductos agroindustriales se presenta como una forma eficaz de desinfección del suelo para el cultivo del pimiento, pudiéndose realizar en fechas compatibles con el ciclo habitual del cultivo en el Campo de Cartagena (Murcia).

Palabras clave: Torta de colza, bagazo de cerveza, estiércol, *Phytophthora nicotianae*, *Phytophthora capsici*, *Meloidogyne incognita*, biodesinfección.

---

* Autor para correspondencia: alacasaplasencia@gmail.com

Cita del artículo: Lacasa A, Lacasa CM, Torres J, Martínez V, Ros C, Guerrero MM, Fernández P, Serrano-Pérez P, Rodríguez-Molina MC (2022). Subproductos agroindustriales utilizados para biosolarización reducen la incidencia de patógenos del suelo en invernaderos de pimiento. ITEA-Información Técnica Económica Agraria 118(2): 181-197. https://doi.org/10.12706/itea.2021.026

Agroindustrial byproducts used in biosolarization reduce the soilborne pathogens incidence in greenhouse pepper crops

Abstract

Phytophtora capsici Leonnian*, P. nicotianae* Breda de Haan and *Meloidogyne incognita* (Kofoid and White) Chitwood are the major soilborne pathogens in greenhouses of Murcia Region (southeastern Spain), where pepper crop is a repeated monoculture lasting between eight to nine months for the last 25 years in more than 90 % of the surface. The effect of biosolarization with rapeseed cake (TC), and a mix of beer bagasse and fresh sheep manure (BC+EFO) on *P. capsici*, *P. nicotianae* and *M. incognita* has been evaluated in three greenhouses in comparison with the application of chemical disinfectants and with no soil disinfection. Biosolarization with both amendments significantly reduced the viability of oospores of *P. capsici* for two soil depth (15 cm and 30 cm), the natural inoculum of *P. nicotianae* and the incidence of *P. nicotianae* (% of dead plants) and *M. incognita* (galls index and % infested plants) whether the treatment was started in August or in September, and in a lower proportion if it was started in October, at the same level as the chemical disinfectans (1,3-dichloropropene + chloropicrin or dazomet). Biosolarization with TC or BC+EFO improved commercial yield between 120 % (greenhouses with low population of *M. incognita* or *P. nicotianae*) and 170 % (greenhouses with high populations of nematode and the oomycete). Biosolarization with both byproducts is an effective way for soil disinfection for peppers crops, on dates compatible with the usual crop cycle in the Murcia Region.

Keywords: Rapeseed cake, beer bagasse, manure, *Phytophthora nicotianae*, *Phytophthora capsici*, *Meloidogyne incognita*, biodisinfestation.

Introducción

Phytophthora capsici Leonnian, *P. nicotianae* Breda de Haan y *Meloidogyne incognita* (Kofoid and White) Chitwood son los principales patógenos del suelo en los invernaderos del Campo de Cartagena (Murcia) (Guerrero *et al*., 2013; Lacasa *et al*., 2013; Blaya *et al*., 2014), donde el pimiento es un monocultivo, de 8-9 meses de duración, desde hace más de 30 años en más del 90 % de la superficie (Lacasa *et al*., 2010).

Hasta 2005, la desinfección del suelo con bromuro de metilo fue la forma de paliar los efectos de las enfermedades telúricas (Lacasa *et al*., 2010). La mezcla de 1,3-dicloropropeno y cloropicrina sustituyó al bromuro de metilo por su amplio espectro de acción. Sin embargo, su uso en la actualidad está limitado (Reglamento (CE) 1107/2009 y Directiva 91/414/CEE, relativa a la comercialización de productos).

La "biodesinfección" es un término poco específico, referido a la acción que sobre los patógenos de las plantas tienen las sustancias que se originan durante la descomposición de la materia orgánica en el suelo. Las denominaciones "*biosolarización*" (Ros *et al*., 2008), "*biological soil disinfestation*" (Blok *et al*., 2000), "*soil reductive sterilization*" (Yossen *et al*., 2008), "*reductive soil disinfestation*" (Katase *et al*., 2009) o "*anaerobic soil disinfestation*" (Butler *et al*., 2012; Rosskopf *et al*., 2014; Serrano-Pérez *et al*., 2017a) hacen referencia a las condiciones originadas o forzadas durante el proceso de descomposición de la materia orgánica. La eficacia de la biodesinfección se puede incrementar aumentando la temperatura durante el proceso, (biosolarización o solarización con enmiendas orgánicas), así como por los fenómenos de anaerobiosis que se pueden generar. El término "*biofumigación*" se utiliza cuando la materia orgánica incorporada procede del cultivo de

plantas de la familia de las cruciferas. Los glucosinolatos naturales que se generan en la descomposición de las brasicas dan lugar a sustancias con acción fungicida y nematicida, destacando los alil y metil isotiocianatos (Gamliel y Stapleton, 1997; Kirkegaard, 2014).

En sistemas donde no se inducen condiciones de anaerobiosis, la elección del material biodesinfectante parece un elemento crítico para el control de los patógenos (Butler *et al*., 2012). Sin embargo, Bonanomi *et al*. (2007) indican que este factor no es tan determinante para obtener eficacias agronómicamente admisibles, ya que la eficacia resulta ser el compendio de todos los mecanismos (toxicidad de sustancias liberadas, anaerobiosis, supresividad, efecto sobre las características químicas y físicas del suelo, etc.) que tienen lugar durante el proceso de descomposición de la materia orgánica.

Algunos subproductos agroindustriales han mostrado ser enmiendas adecuadas para la biodesinfección, además de buenos abonos orgánicos. La vinaza de remolacha tiene un gran potencial biodesinfectante (Santos *et al*., 2008; Lacasa *et al*., 2010; Núñez-Zofío *et al*., 2013) al mismo tiempo que puede ser un buen restaurador del suelo, cuando se utiliza como abono orgánico (Tejada *et al*., 2008), ya que mejora la fertilidad del suelo y las producciones (Núñez-Zofío *et al*., 2013). El salvado de arroz, el bagazo de cerveza, el orujo de vid y la torta de colza son subproductos que han resultado eficaces en la reducción de la infectividad de *P. nicotianae* en biodesinfecciones realizadas en primavera en Extremadura (Serrano-Pérez *et al.,* 2017a). Los productos derivados de la extracción de aceite de las semillas de brasicas con elevado contenido en glucosinolatos se muestran también efectivos para el control de patógenos fúngicos y de nematodos (Guerrero *et al*., 2010 y 2013; Núñez-Zofío *et al*., 2012; Serrano-Pérez *et al*., 2017b), así como el enterrado de cultivos de brasicas en verde, incluso en épocas de baja radiación y temperatura (Gandariasbeitia *et al*., 2019). A la acción directa sobre los patógenos de los compuestos derivados de las brasicas se añade la acción sobre la microbiota fúngica no patógena, que en el caso del pimiento está implicada en los fenómenos de una fatiga del suelo específica para el cultivo (Guerrero *et al*., 2014), constituyendo las especies de *Fusarium* la componente fúngica principal de los suelos fatigados de pimiento (Martínez *et al*., 2011).

En la actualidad, la biosolarización se aplica en el 20-30 % de los invernaderos de pimiento de la Región de Murcia, utilizando estiércol fresco o semicompostado de ovino. La reiteración, en el mismo suelo, se muestra eficaz para el control de *Phytophthora* spp. y de *Meloidogyne*, si se inicia en agosto (Guerrero *et al*., 2005), pero en algunos invernaderos y años presenta deficiencias en el control del nematodo (Guerrero *et al*., 2013, Ros *et al*., 2016 y 2018). Cuando la biosolarización se inicia después de la primera semana de septiembre la eficacia se reduce, presentando deficiencias en el control de los dos patógenos (Guerrero *et al*., 2010 y 2013; Lacasa *et al*., 2010). A pesar de estas limitaciones, hay interés en la utilización de métodos no químicos como la biodesinfección en la producción de hortalizas, en particular en el cultivo del pimiento ecológico por ser una práctica sostenible y respetuosa con el medio ambiente, siempre que se utilicen las enmiendas adecuadas. La aplicación de la biosolarización en fechas adecuadas para que resulte eficaz supone el adelantar el final del cultivo del pimiento un par de meses y la pérdida de una parte de la cosecha potencial (Guerrero *et al*., 2013; Shennan *et al*., 2014). En la Región de Murcia los primeros ensayos de biosolarización con subproductos agroindustriales, indican que el déficit térmico de las desinfecciones iniciadas en fechas posteriores a la primera semana de septiembre se puede paliar, en parte, con el efecto suplementario de

la enmienda (vinaza de remolacha (Lacasa *et al*., 2010; Núñez-Zofío *et al*., 2013) o pellets de *Brassica carinata* (Guerrero *et al*., 2013). Similares efectos se han obtenido realizando la biosolarización en épocas de baja radiación y temperatura en el oeste o en el norte de España, con restos o subproductos de brasicas (Serrano-Pérez *et al*., 2017a; Gandariasbeitia *et al*., 2019).

Las restricciones en el uso de estiércoles en la comarca del Campo de Cartagena (Murcia) por riesgos medioambientales, han llevado a la sustitución de las enmiendas habituales por otras. En invernaderos con cultivos comerciales convencionales y ecológicos nos planteamos evaluar dos subproductos agroindustriales como enmiendas para la biosolarización, iniciada en varias fechas, algunas compatibles con el ciclo del pimiento en el Campo de Cartagena (Murcia). El objetivo de este estudio es la evaluación del efecto de dos enmiendas orgánicas en biosolarización sobre el inóculo de *Phytohthora capsici* enterrado en el suelo antes de la desinfección, sobre el inóculo de *P. nicotianae* presente de forma natural en los suelos de los invernaderos, sobre la incidencia del oomiceto y de *M. incognita* en el posterior cultivo y sobre su producción.

Material y métodos

Enmiendas orgánicas

Se evaluaron dos enmiendas orgánicas: torta de colza (TC), bagazo de cerveza (BC) con estiércol fresco de ovino (1:1 p:p), y estiércol fresco de ovino solo (EFO) como referencia. La torta de colza fue proporcionada por NEIKER Tecnalia de Arkaute (Álava) y fue el subproducto de la extracción del aceite de las semillas de *Brassica napus* L., con la siguiente composición: N total 4,16 %, proteína bruta 26,0 %, grasa bruta 26,0 % y cenizas 5,8 %. La mezcla de bagazo de cerveza (subproducto de la fabricación de cerveza) y estiércol fresco de ovino fueron suministrados por Orgánicos Pedrín S.L. (Abarán, Murcia) y sus características eran: pH 7,17; MO total 27,19 %; C/N 16,67; N orgánico 0,89 %; N total 0,89 %; P_2O_5 0,71 % y K_2O 1,32 %. El estiércol fresco de ovino fue suministrado por Orgánicos Pedrín, con pH 8,31; MO total 54,8 %; C/N 18,64; N orgánico 1,71 %; N total 1,71 %; P_2O_5 0,90 % y K_2O 4,28 %.

Establecimiento de los ensayos

Los ensayos se realizaron en tres invernaderos comerciales del Campo de Cartagena (Murcia), dos de ellos con cultivos convencionales (IK, IAT) y uno calificado como agricultura ecológica (IMSP). Los suelos de la zona son franco arcillosos (calcisoles háplicos *Haplocalcids*), pH entre 7,8 y 8,2 y MO entre 2,2 % y 2,6 %. En los tres invernaderos se había cultivado ininterrumpidamente pimiento durante los últimos 26 años (IK), 15 años (IAT) y 10 años (IMSP) y sus suelos estaban contaminados naturalmente con *P. nicotianae* y *M. incognita*. Los niveles de daño por *P. nicotianae* (% de plantas muertas (pPn)) y de infestación por *M. incognita* (índice medio de agallas (iaMi)) en el cultivo precedente fueron altos en los invernaderos con cultivos convencionales (pPn >35 %, iaMi >5 en IK y pPn >80 %, iaMi >6 en IAT) y niveles bajos (pPn <5 %, iaMi <3) en el invernadero ecológico IMSP. En los invernaderos con cultivos convencionales se desinfectaba todos los años con 1,3-dicloropropeno (1,3-D) + cloropicrina (Pic) (67:33) a 50 g/m^2. En el IMSP se realizaba anualmente una biosolarización con EFO a 4 Kg/m^2. En IAT se venía desinfectando todos los años con 1,3-D+Pic (67:33) a 50 g/m^2 y el año precedente al ensayo mediante biosolarización (4 Kg/m^2), iniciada en octubre.

El diseño experimental fue de bloques al azar, con tres repeticiones por tratamiento. Los tratamientos fueron: i) TC a 1 Kg/m^2; ii)

BC+EFO a 4 Kg/m^2 en los tres invernaderos y iii) EFO a 4 Kg/m^2 en IAT y IMSP. En IK se tuvo como referencia el suelo desinfectado con 1,3-dicloropropeno + cloropicrina (Agrocelhone NE, Agroquímicos de Levante, Valencia) a 50 g/m^2 aplicado "*in line*" bajo plástico de PE (polietileno) de 0,05 mm y dazomet a 60 g/m^2 (Basamid G 98 % de Certis B.V.) aplicado a todo terreno, bajo plástico VIF (virtual impermeable film) de 0,04 mm (Sotrafa S.A., Almería), y también se incluyó un testigo sin plástico ni enmienda. En IMSP se añadió un tratamiento de solarización (sin enmienda orgánica) como referencia. Las parcelas elementales fueron de 44 m^2 en IK, 40 m^2 en IMSP y 48 m^2 en IAT. Las enmiendas se enterraron con una labor de rotovator, luego se instaló el sistema de riego por goteo (emisores de 2,5 L/h a 0,40 m y líneas a 0,50 m), se cubrió el suelo con una lámina de plástico de polietileno (PE) de 0,05 mm (Sotrafa S.A. Almería) y se regó durante 4 h un día y 3 h al día siguiente. Los tratamientos se iniciaron en agosto de 2012 en IMSP, en septiembre de 2013 en IAT y septiembre de 2012 y octubre de 2013 en IK. El plástico se mantuvo durante 6 semanas. Finalizados los tratamientos, se plantó el pimiento en diciembre y los cultivos se prolongaron hasta el verano del año siguiente (Tabla 1).

Tabla 1. Variedad de pimiento cultivada, fecha de inicio de la biosolarización, fecha del trasplante y del final del cultivo en cada invernadero.
Table 1. Pepper cultivar used, biosolarization start date, transplant date and end of crop in each greenhouse.

Invernadero	Biosolarización	Trasplante	Final cultivo	Variedad
IAT	13/09/2013	19/12/2013	06/08/2014	Gacela (Syngenta Seeds)
IMSP	17/08/2012	18/12/2012	05/08/2013	Sinfony (Rijk Zwaan Seeds)
IK (2012)	19/09/2012	20/12/2012	24/09/2013	Traviata (Rijk Zwaan Seeds)
IK (2013)	09/10/2013	17/12/2013	01/09/2014	Traviata (Rijk Zwaan Seeds)

Medida de la temperatura y efecto sobre el inóculo de P. capsici *enterrado*

Antes de colocar el plástico se instalaron sondas de temperatura conectadas a un datalogger Hobo H8-4 32K (Onset Computer Corporation, Pocasset, MA), con registro continuo de datos y lectura cada 30 min, a 15 cm y 30 cm de profundidad en las parcelas biosolarizadas. No se dispuso de registros en las solarizadas del invernadero IMSP.

Para determinar el efecto en la supervivencia de las oosporas de *P. capsici*, antes de poner el plástico, en tres puntos de cada parcela elemental se enterró, a 15 cm y 30 cm una bolsita hecha con malla de 15 µm (CISA, Barcelona) en cuyo interior se pusieron 3 mallas de 25 µm en las que se fijaron unas 1.000 oosporas, por filtrado en vacío (Núñez-Zofío *et al*., 2012). La viabilidad de las oosporas después de la biosolarización se determinó por el método de la plasmólisis (Jiang y Erwin, 1990). De cada bolsita (punto, profundidad) se observaron 100 oosporas en el microscopio para estimar el porcentaje de las viables (plasmolizadas). Para la producción de las oosporas de *P. capsici* se utilizó el método descrito por Núñez-Zofío *et al*. (2011).

Efecto sobre el inóculo natural de P. nicotianae

Antes y después de la desinfección, en 3 puntos de cada parcela elemental, se tomaron muestras de suelo entre 10 cm y 25 cm de profundidad. Las muestras se emplearon para realizar bioensayos. Plantas de pimiento *cv.* Jaranda con 3-4 hojas verdaderas se trasplantaron a macetas que contenía 1 L de tierra de cada muestra (1 planta por cada muestra de tierra). Las macetas se mantuvieron en un invernadero climatizado durante 2 meses, realizándose observaciones semanales de los síntomas y analizando las plantas sintomáticas en medio PARPH selectivo para *Phytophthora* spp. (Jeffers y Martin, 1986). Los resultados se expresan como porcentaje de muestras de suelo en las que se detectó *P. nicotianae* en la planta indicadora de cada maceta.

Incidencia de P. nicotianae *y de* M. incognita *en el cultivo de pimiento posterior a la desinfección*

Todas las semanas se contabilizó el número de plantas con síntomas de marchitez, arrancando aquellas en las que la marchitez era irreversible, para analizar las lesiones del cuello y de las raíces por los métodos habituales, utilizando medio general PDA y específico PARPH, y el suelo rizosférico por el método descrito por Tello *et al.* (1991), empleando pétalos inmaduros de clavel como trampas vegetales. La incidencia se expresó como porcentaje de plantas muertas.

La incidencia de *M. incognita* se evaluó al final del cultivo. Se arrancaron 10 plantas de cada parcela elemental, se lavaron las raíces y se anotó el número de plantas con agallas y el índice de agallas, según la escala 0 a 10 de Bridge y Page (1980).

Producción comercial

En cada recolección se clasificaron los frutos en categorías comerciales y se pesaron los de cada categoría. La producción comercial es la suma de las categorías extra, primera, segunda y tercera, expresadas en Kg/m^2.

Análisis estadístico

Los datos de temperatura se procesaron con el programa HOBBO. Se calculó el número de horas con temperaturas por encima de las consideradas críticas (se tomaron como referencia 35 °C y 40 °C), por limitar el desarrollo y la multiplicación de los oomicetos y del nematodo.

Se hicieron análisis de varianza (ANOVA) del porcentaje de viabilidad de las oosporas de *P. capsici,* del porcentaje de plantas afectadas por *P. nicotianae* en los bioensayos, el de las plantas muertas en los invernaderos, y del porcentaje de plantas infestadas con agallas en las raíces, transformando los datos previamente mediante la función arcosen $\sqrt{(x)}$. Los datos de producción e índice de agallas en las raíces [transformados mediante $\log_{10}(x+1)$], también fueron analizados con ANOVA, utilizando el software Statgraphics Centurion 16. La comparación entre medias de los tratamientos se realizó utilizando el test LSD (*Least Significant Difference*) al 95 % ($p < 0,05$). En los bioensayos se comparó la incidencia de la enfermedad (número de plantas afectadas por el oomiceto) antes y después de la aplicación de cada tratamiento mediante el test no paramétrico de Wilcoxon ($p < 0,05$).

Resultados

Temperaturas del suelo

En ningún invernadero se registraron temperaturas del suelo superiores a 45 °C. Durante la biosolarización, el número de horas acumuladas en las que la temperatura del suelo fue superior a 40 °C disminuyó al aumentar la profundidad (Tabla 2). En todos los invernaderos, la temperatura en el suelo no biosolarizado fue inferior a 30 °C en los ensayos de septiembre y octubre (IK). En el invernadero IK no se superaron los 40 °C en ninguno de los tratamientos en los dos años, siendo la temperatura máxima de 37,8 °C en 2012 y de 36,1 °C en 2013.

Tabla 2. Tiempo acumulado con temperaturas superiores a 35 °C y a 40 °C a 15 cm y 30 cm en los invernaderos IMSP, IAT, IK.
Table 2. Number of cumulative hours with temperature over 35 °C and 40 °C at 15 cm and 30 cm soil depth in greenhouse IMSP, IAT and IK.

Tratamiento/Profundidad	IMSP (2012)* Agosto		IAT (2013) Septiembre		IK (2012) Septiembre	IK (2013) Octubre
	>35ºC	>40ºC	>35ºC	>40ºC	>35ºC	>35ºC
TC/15 cm	713,5	213,0	932,0	0,0	41,0	70,0
TC/30 cm	889,5	19,5	sd	sd	0,0	0,0
BC+EFO/15 cm	sd	sd	872,0	73,5	32,5	71,5
BC+EFO/30 cm	843,5	64,0	777,5	64,0	36,5	0,0
EFO/15cm	699,0	234,0	733,0	79,0	–	–
EFO/30 cm	867,5	50,0	804,5	0,0	–	–
Testigo/15 cm	–	–	–	–	0,0	0,0
Testigo/30 cm	–	–	–	–	0,0	0,0

* No se dispone de datos del tratamiento de Solarización; sd = sin datos.

TC = Torta de colza; BC = Bagazo de cerveza; EFO = Estiércol fresco de ovino.

Efecto sobre el inóculo de P. capsici *enterrado*

En el invernadero IMSP no se encontraron diferencias ($p < 0,05$) entre tratamientos a ninguna de las profundidades en la viabilidad de las oosporas (Tabla 3).

En los invernaderos con cultivos convencionales, cuando la biosolarización se inició en septiembre sí se apreciaron diferencias ($p < 0,05$) entre tratamientos: en el invernadero IAT la viabilidad fue significativamente menor en los tratamientos BC+EFO y TC que en EFO; en el invernadero IK (2012) los tratamientos BC+EFO y TC redujeron la viabilidad de forma significativa en relación al testigo y al mismo nivel que los desinfectantes químicos a las dos profundidades, salvo con el Dazomet a 15 cm (Tabla 3).

El tratamiento BC+EFO en octubre del invernadero IK (2013) redujo la viabilidad de las oosporas en relación al testigo ($p < 0,05$)

Tabla 3. Viabilidad (% de supervivencia) de las oosporas de *Phytophthora capsici* a 15 cm y 30 cm de profundidad.
Table 3. Viability (% survival) of Phytophthora capsici *oospores at 15 cm and 30 cm depth.*

Tratamiento	IK 2012 septiembre		IK 2013 octubre		IMSP agosto		IAT septiembre	
	15 cm	30 cm	15 cm	30 cm	15 cm	30 cm	15 cm	30 cm
TC	6,0 b	7,0 bc	10,0 a	8,0 b	4,0 ns	4,0 ns	5,0 b	2,0 b
BC+EFO	7,0 b	8,0 bc	2,0 bc	5,0 bc	3,0	4,0	6,0 b	3,0 b
1,3-D+Pic	10,0 b	17,0 b	0,0 c	2,0 c	–	–	–	–
Dazomet	3,0 c	4,0 c	5,0 b	4,0 bc	–	–	–	–
EFO	–	–	–	–	5,0	6,0	15,0 a	44,0 a
Solarización	–	–	–	–	4,0	5,0	–	–
Testigo	22,0 a	31,0 a	14,0 a	24,0 a	–	–	–	–

Los valores seguidos de distinta letra en cada columna son significativamente diferentes ($p < 0,05$), ANOVA seguido de test LSD.

TC = Torta de colza; BC = Bagazo de cerveza; EFO = Estiércol fresco de ovino; 1,3-D = 1,3- dicloropropeno; Pic = cloropicrina.

y al mismo nivel ($p < 0,05$) que los desinfectantes químicos, tanto a 15 cm como a 30 cm. El tratamiento TC redujo la viabilidad en relación al testigo a 30 cm ($p < 0,05$), pero no a 15 cm (Tabla 3).

Efecto sobre el inóculo natural de P. nicotianae *e incidencia de la enfermedad en el cultivo*

En IK, los tratamientos TC, BC+EFO y los desinfectantes químicos en 2012 redujeron el porcentaje de plantas enfermas en los bioensayos desde el 100 % antes de los tratamientos hasta el 0 % después. En el testigo el porcentaje después fue 88,8 % (Tabla 4). Los tratamientos TC, BC+EFO y los desinfectantes redujeron la incidencia de la enfermedad al final del cultivo en el invernadero, en comparación al testigo (Tabla 4).

En IK (2013), los bioensayos con las muestras previas a la realización de los tratamientos indicaron, para la biosolarización, diferencias significativas en el porcentaje de muestras en las que se infectaron plantas, lo que dificulta la interpretación de los resultados de los bioensayos con las muestras tomadas posteriormente, en los que tan solo con tratamientos químicos se obtuvieron porcentajes significativamente menores que en el testigo (Tabla 4). La reducción del porcentaje de muestras en las que se infectaron plantas solo fue significativa ($p < 0,05$, Test de Wilcoxon) en los tratamientos BC+EFO, Dazomet y el testigo. El porcentaje de plantas muertas al final del cultivo en el invernadero refleja el efecto de los tratamientos, mostrando que, tanto la biosolarización como la desinfección química, redujeron la incidencia respecto al testigo, siendo BC+EFO y 1.3 D+Pic similares y significativamente más efectivos que TC y Dazomet, los cuales tampoco difirieron entre sí, y mostraron niveles de mortalidad no aceptables agronómicamente.

Tabla 4. Porcentaje de plantas infectadas por *Phytophthora nicotianae* en los bioensayos con tierra del invernadero IK antes (Pre-BS) y después (Post-BS) de los tratamientos y porcentaje de plantas muertas por *P. nicotianae* en el cultivo de pimiento en invernadero (Cultivo) realizado después de los tratamientos en los ensayos 2012-2013 y 2013-2014.
Table 4. Number of pepper plants affected by Phytophthora nicotianae *in trial using soil from IK greenhouse before (Pre-BS) and after (Post-Bs). Number of pepper plants affected during crops in greenhouses at 2012-2013 and 2013-2014 after treatments.*

Tratamientos	Invernadero IK 2012 septiembre			Invernadero IK 2013 octubre		
	Bioensayos		Cultivo	Bioensayos		Cultivo
	Pre-BS	Post-BS		Pre-BS	Post-BS	
TC	100,0 ns	0,0 b	3,3 c	33,3 b	11,1 a	24,7 b
BC+EFO	100,0	0,0 b	5,3 c	66,6 a	11,0 a	13,3 c
1,3-D+Pic	100,0	0,0 b	18,5 b	11,1 c	0,0 b	8,7 c
Dazomet	100,0	0,0 b	8,0 c	66,6 a	0,0 b	22,7 b
Testigo	100,0	88,8 a	82,2 a	55,5 a	22,0 a	66,4 a

Los valores seguidos de distinta letra en cada columna son significativamente diferentes ($p < 0,05$), ANOVA seguido de test LSD (cultivo) y test de Wilcoxon (bioensayos).

TC = Torta de colza; BC = Bagazo de cerveza; EFO = Estiércol fresco de ovino; 1,3-D = 1,3- dicloropropeno; Pic = cloropicrina.

En IMSP los tratamientos TC, BC+EFO y EFO fueron efectivos, reduciendo el porcentaje de plantas enfermas en los bioensayos desde el 100 % antes de los tratamientos (33 % en el caso de EFO) hasta el 0 % después, mientras que en el tratamiento de Solarización el porcentaje se redujo significativamente menos, solo al 33 % (Tabla 5). La incidencia de la enfermedad al final del cultivo en el invernadero fue nula en los suelos biosolarizados y no difirió significativamente de la solarización.

En IAT, los bioensayos previos a la realización de los tratamientos indicaron diferencias significativas, lo que dificulta la interpretación de los resultados del ensayo. Los tratamientos BC+EFO y EFO no redujeron significativamente el porcentaje de plantas infectadas en los bioensayos y las diferencias entre los tratamientos después de la desinfección fueron similares a las encontradas en las muestras tomadas antes de la desinfección. Sin embargo, no se encontraron diferencias entre tratamientos en el porcentaje de plantas muertas al final del cultivo en el invernadero (Tabla 5).

Incidencia de Meloidogyne incognita *en el cultivo*

En IK (2012), los tratamientos TC y BC+EFO redujeron el índice de agallas y el porcentaje de plantas infestadas con respecto al testigo, con una efectividad similar al Dazomet y mayor que 1,3-D+Pic (Tabla 6). En el ensayo iniciado en octubre de 2013, tanto los índices de agallas como el porcentaje de plantas infestadas fueron, en general, más elevados que en los del ensayo de 2012. Los índices de agallas en TC, en BC+EFO y en 1,3-D+Pic fueron menores que en el testigo, pero solo en BC+EFO el porcentaje de plantas infestadas fue menor que en el testigo no desinfectado (Tabla 6).

Tabla 5. Porcentaje de plantas infectadas por *Phytophthora nicotianae* en los bioensayos con tierra de los invernaderos IMSP (agosto 2012) e IAT (septiembre 2013) antes (Pre-BS) y después (Post-BS) de los tratamientos y porcentaje de plantas muertas por *P. nicotianae* en el cultivo de pimiento en invernadero (Cultivo) realizado después de los tratamientos.
Table 5. Number of pepper plants affected by Phytophthora nicotianae *in trial using soil from greenhouses IMSP (August 2012) and IAT (September 2013) before (Pre-BS) and after (Post-Bs) treatments. Number of pepper plants affected in greenhouses during crops.*

Tratamientos	Invernadero IMSP agosto			Invernadero IAT septiembre		
	Bioensayos		Cultivo	Bioensayos		Cultivo
	Pre-BS	Post-BS		Pre-BS	Post-BS	
TC	100,0 a	0,0 b	0,0 ns	0,0 a	0,0 a	2,5 ns
BC+EFO	100,0 a	0,0 b	0,0	22,2 b	22,2 b	0,9
EFO	33,0 b	0,0 b	0,0	55,4 c	44,4 c	4,4
Solarización	100,0 a	33,0 a	2,2	–	–	–

Los valores seguidos de distinta letra en cada columna son significativamente diferentes ($p < 0,05$), ANOVA seguido de test LSD (cultivo) y test de Wilcoxon (bioensayos).

TC = Torta de colza; BC = Bagazo de cerveza; EFO = Estiércol fresco de ovino.

En IMSP, los índices de agallas y los porcentajes de plantas infestadas fueron 0 en los tres tratamientos de biosolarización y muy bajos en el tratamiento solarizado (Tabla 6). En IAT, TC y BC+EFO redujeron significativamente el índice de agallas en relación EFO, pero solo TC redujo el porcentaje de plantas infestadas (Tabla 6).

Producciones comerciales

En IK (2012), la producción comercial en TC y BC+EFO fue similar a la de los desinfectantes químicos (Tabla 7). Al año siguiente, las producciones en TC y BC+EFO fueron similares a las del Dazomet e inferiores ($p < 0,05$) a las del tratamiento con 1,3-D+Pic. La biosolarización en agosto mejoró significativamente la producción en el invernadero ecológico IMSP en relación a la solarización sin enmienda orgánica. En IAT, la producción en TC y BC+EFO fue mayor que en EFO (Tabla 7).

Discusión

En el invernadero ecológico IMSP, la aplicación de la biosolarización en verano con TC y BC+EFO, o con solo EFO, mejoró la efectividad en el control de patógenos (*Phytophthora* spp. y *M. incognita*) con respecto a la solarización y se obtuvo un incremento de la producción. Coelho *et al*. (2000) comprobaron que el inóculo de *P. nicotianae* puede sobrevivir durante largo tiempo después de haber estado expuesto a 35 °C durante 480 h, umbral que se sobrepasó en todos los tratamientos de biosolarización a las dos profundidades. Wang y McSorely (2008) determinaron que el tiempo de exposición continua a 40 °C necesario para matar el 100 % de los huevos y de los juveniles J2 de *M. incognita* es de 46 h y 33 h respectivamente. Este umbral mínimo de tiempo acumulado fue superado en la biosolarización de IMSP a las dos profundidades (salvo TC a 30 cm). Etxe-

Tabla 6. Incidencia de *Meloidogyne incognita* [índice de agallas y % plantas infestadas (% PI)].
Table 6. Meloidogyne incognita *incidence [gall index and % infested plant (% PI)].*

Tratamientos	Invernadero IK 2012		Invernadero IK 2013		Invernadero IMSP		Invernadero IAT	
	Índice agallas	% PI	Índice agallas	% PI	Índice agallas	% PI	Índice agallas	% PI
TC	1,4 c	44,4 b	3,7 b	80,0 ab	0,0 ns	0,0 a	1,3 c	41,8 b
BC+EFO	1,0 c	38,9 b	2,7 b	73,3 b	0,0	0,0 a	2,9 b	100,0 a
EFO	–	–	–	–	0,0	0,0 a	5,5 a	100,0 a
Solarización	–	–	–	–	0,1	6,0 a	–	–
1,3-D+Pic	3,6 b	86,4 a	2,7 b	86,7 ab	–	–	–	–
Dazomet	0,7 c	33,3 b	4,0 ab	100,0 a	–	–	–	–
Testigo	5,7 a	100,0 a	5,0 a	100,0 a	–	–	–	–

Los valores seguidos de distinta letra en cada columna son significativamente diferentes ($p < 0,05$), ANOVA seguido de test LSD.
TC = Torta de colza; BC = Bagazo de cerveza; EFO = Estiércol fresco de ovino; 1,3-D = 1,3- dicloropropeno; Pic = cloropicrina.

berria *et al*. (2011) determinaron que se precisan 199 h acumuladas con temperatura superior a 40 °C para obtener una reducción total de la viabilidad de las oosporas de *P. capsici* en suelos humedecidos. En el invernadero IMSP, el tiempo acumulado con temperatura superior a 40 °C a 30 cm no superó las 64 h en ninguno de los tratamientos y, sin embargo, la viabilidad de las oosporas fue similar a la observada a 15 cm, donde sí se superó el umbral de 199 h. Los efectos derivados de la descomposición de las enmiendas (producción de sustancias tóxicas, anaerobiosis, cambios en la microbiota del suelo, etc.) pueden complementar los de la exposición a temperaturas subletales, como indican Núñez-Zofío *et al*. (2011) en ensayos realizados en invernadero y Serrano-Pérez *et al*. (2017a) en ensayos al aire libre.

En las biosolarizaciones de la primera quincena de septiembre (invernadero IAT) el número de horas con temperatura del suelo superior a 40 °C, fue muy inferior al umbral de 199 h (Etxeberria *et al*., 2011), pero tuvo efecto significativo en la viabilidad de las oosporas de *P. capsici*, lo que corrobora la implicación de las enmiendas en el proceso. Sin embargo, en IAT los resultados de la incidencia de *P. nicotianae* en los bioensayos son difícilmente interpretables debido a la distribución irregular del patógeno en el suelo. En ensayos de solarización tampoco se encontró correspondencia entre el inóculo detectado después de la desinfección y la incidencia de la enfermedad (Polizzi *et al.*, 1994). El efecto sobre *M. incognita* tampoco fue tan claro como en la biosolarización de verano y, aunque el índice de agallas en los tratamientos con los subproductos fue menor que en el que solo tenía EFO, tan solo el tratamiento con TC redujo significativamente el porcentaje de plantas infestadas.

En IK, tanto en septiembre del primer año, como en octubre del segundo, las temperaturas del suelo fueron más bajas que en el in-

Tabla 7. Producción comercial (Kg/m^2).
Table 7. Marketable yield (Kg/m^2).

Tratamientos	IK (2012-2013)	IK (2013-2014)	IMSP	IAT
TC	13,7 a	8,3 b	6,3 a	13,1 a
BC+EFO	12,9 a	8,9 b	7,1 a	11,7 a
EFO	–	–	7,1 a	8,2 b
Solarizado	–	–	5,3 b	–
1,3-D+Pic	14,2 a	12,1 a	–	–
Dazomet	13,2 a	8,9 b	–	–
Testigo	4,0 b	5,5 c	–	–

Los valores seguidos de distinta letra en cada columna son significativamente diferentes ($p < 0,05$), ANOVA seguido de test LSD.

TC = Torta de colza; BC = Bagazo de cerveza; EFO = estiércol fresco de ovino; 1,3-D = 1,3-dicloropropeno; Pic = cloropicrina.

vernadero IAT. A pesar de ello, también se redujo la viabilidad de las oosporas de *P. capsici* los dos años y a las dos profundidades en comparación al testigo. Los resultados de los bioensayos del primer año en IK sugieren una inactivación total del inóculo de *P. nicotianae*, tanto con las biosolarizaciones como con los tratamientos químicos. Sin embargo, en el cultivo de pimiento posterior hubo incidencia de la enfermedad en todos los tratamientos. Coelho *et al*. (2000) estimaron un nivel de inóculo de 1 ufc/g de suelo como umbral para que se produzca la infección por *P. nicotianae* en plantas indicadoras de tomate. Si se extrapolara este umbral a pimiento, se podría inferir que la biosolarización con los subproductos reduce la densidad del inóculo de *P. nicotianae* a niveles inferiores al umbral de infección, a pesar de que la temperatura del suelo no alcanzó los 40 °C a lo largo del proceso. Las incidencias más bajas en el cultivo correspondieron a las biosolarizaciones (3,3 % con TC y 5,3 % con BC+EFO), consiguiendo un control más eficaz que el 1,3-D+Pic y similar al del Dazomet.

La reiteración de los tratamientos en octubre del segundo año influyó en la distribución de los patógenos, que era homogénea en el primer año, dificultando la interpretación de los resultados. Los bioensayos de antes y después de las biosolarizaciones muestran una reducción significativa de la incidencia en BC+EFO, en dazomet y en el testigo. La pérdida de infectividad del inóculo en el testigo podría estar asociada a la disminución del contenido de humedad en combinación con la temperatura (Bowers *et al*., 1990). La incidencia de la enfermedad en el cultivo fue, en general (1,3-D+Pic fue la única excepción), más elevada que en el cultivo del año anterior.

A pesar de que en el invernadero IK no se alcanzaron temperaturas superiores a 40 °C, la biosolarización redujo el índice de agallas de *Meloidogyne* respecto al testigo, tanto el primer año como el segundo, con índices de agallas similares a los de los tratamientos químicos. Se pone de manifiesto que el efecto de las enmiendas puede contrarrestar el déficit de temperatura. El efecto de la biosolariza-

ción en el porcentaje de plantas infestadas también fue similar al de los tratamientos químicos. La reiteración de la aplicación en el mismo suelo de la biosolarización con las dos enmiendas, no mejoró el control de *M. incognita*. En biosolarizaciones en octubre con pellets de *Brassica carinata* L. (solos o combinados con EFO) en invernaderos del Campo de Cartagena, Guerrero *et al*. (2013) tampoco encontraron mejoras en el control del *M. incognita* con la reiteración (3 años) de la biosolarización.

La solarización con la aplicación de enmiendas orgánicas (biosolarización) mejora la eficacia de la solarización como método de control de patógenos (Gamliel y Stapleton, 1997). El efecto de los compuestos liberados en la descomposición de la materia orgánica complementa el efecto de las temperaturas elevadas cuando la biosolarización se realiza en agosto (invernadero IMSP) y compensa el déficit térmico cuando la biosolarización se realiza en septiembre o en octubre (invernaderos IAT e IK). En los procesos de biosolarización o biodesinfección, se suman los efectos debidos a la anaerobiosis, a la acumulación de compuestos tóxicos liberados durante la fermentación anaeróbica y al incremento de la capacidad supresiva del suelo por los cambios microbiológicos producidos (Everts *et al.,* 2006; Bonanomi *et al.,* 2007; Arriaga *et al*., 2011). Serrano-Pérez *et al*. (2017a) mostraron que el déficit térmico de las biodesinfecciones en primavera al aire libre en Extremadura puede ser compensado con la incorporación de diferentes subproductos (salvado de arroz, bagazo de cerveza, orujo de vid, torta de colza o pellets de *B. carinata*) si se ajustan las dosis de incorporación a 4 mg de carbono/g de suelo, resultando eficaces para reducir la infectividad del inóculo de *P. nicotianae*.

Las dos enmiendas empleadas eran ricas en nitrógeno, que se libera en forma amoniacal durante el proceso de descomposición y cuyos efectos sobre los patógenos, han sido puestos de manifiesto (Everts *et al*., 2006; Gamliel y Stapleton, 1997; Rodríguez-Kabana, 1986). La biosolarización con enmiendas a base de pellets o restos de brasicas en épocas de baja radiación solar y bajas temperaturas ambientales se han mostrado efectivas en el control de *M. incognita* en pimiento (Guerrero *et al*., 2013; Ros *et al*., 2016 y 2018). Sin embargo, cuando la biosolarización se inició en octubre con pellets de *B. carinata*, con vinaza de remolacha o con EFO solo, el control del nematodo fue reducido e inconsistente (Núñez-Zofío *et al*., 2013; Guerrero *et al*., 2013). Butler *et al*. (2012) encontraron una reducción significativa de *M. incognita* en los suelos solarizados con una mezcla de gallinaza y melaza, a pesar de que las temperaturas del suelo fueron bajas durante la desinfección.

En todos los invernaderos la biosolarización tuvo un efecto significativo en el incremento de la producción comercial respecto a los testigos no tratados. La mejora del control de *P. nicotianae* y de *M. incognita* es un factor determinante de este incremento, al disminuir las pérdidas causadas por estos patógenos.

En ensayos de desinfección realizados en invernaderos del Campo de Cartagena (Murcia), se ha podido comprobar que se producen pérdidas de cosecha significativas cuando el índice de agallas medio por *Meloidogyne* al final del cultivo de pimiento es próximo o superior a 5 (Guerrero *et al*., 2013; Ros *et al*., 2018). Índices de agallas similares se observaron en los testigos del invernadero IK y en la biosolarización con EFO en el invernadero IAT. En invernaderos infestados de *M. incognita* con diferentes antigüedades en el monocultivo de pimiento, los aumentos de cosecha biosolarizando con vinaza de remolacha y con la mezcla de vinaza de remolacha y EFO, en relación al testigo, fueron superiores al 150 %, tanto si la biosolarización se iniciaba en agosto como si se iniciaba en octubre, incluso en las parcelas donde el índice de agallas al final del cultivo era 5 o mayor de 5 (Nú-

ñez-Zofío *et al*., 2013). Aumentos del 120 % y 130 % se encontraron en invernaderos de las mismas características cuando se utilizaron pellets de *B. carinata* y la mezcla de pellets de *B. carinata* y EFO en agosto y octubre (Guerrero *et al*., 2013) o EFO+gallinaza en agosto, de forma reiterada (Ros *et al*., 2008). Aumentos de la calidad y cantidad de cosecha encontraron Hansen y Keinath (2013) biofumigando con brasicas y cubriendo con plástico virtualmente impermeable (VIF).

La "fatiga del suelo" es uno de los factores limitantes de la producción en el Campo de Cartagena (Murcia), que se muestra específica para el cultivo de pimiento por tratarse de un monocultivo prolongado durante muchos años (Guerrero *et al*., 2014). La fatiga sería la componente principal para explicar la pérdida de cosecha en las parcelas solarizadas del invernadero IMSP en relación a las biosolarizadas. La biosolarización, como la desinfección química, reduce el efecto de la fatiga del suelo, al eliminar una parte de la microbiota fúngica con efectos subletales o antagonistas por competencia con la planta (Martínez *et al*., 2011; Guerrero *et al*., 2014). En el caso de los pellets de colza, la acción fungicida de los derivados de los glucosinolatos (alil y metil isotiocianatos) ocasiona una reducción de la flora fúngica y en la mitigación de los efectos de la fatiga del suelo y en la modificación de la microbiota (Martínez *et al*., 2011) estaría implicada en procesos de supresividad.

En varios ensayos de biosolarización en invernaderos de pimiento en zonas de climas templados y cálidos, utilizando diferentes enmiendas orgánicas, se han encontrado aumentos de los nutrientes, de la actividad enzimática y de la actividad biológica (Ros *et al*., 2008; Núñez-Zofío *et al*., 2011 y 2013), lo que redunda en la mejora de la nutrición y la salud de las plantas, repercutiendo en su desarrollo y en la cosecha.

Se ha observado que la biosolarización con pellets de *B. carinata* o estiércol fresco de ovino reduce la densidad aparente del suelo en los 10-15 cm de profundidad y aumenta la velocidad de infiltración del agua (Núñez-Zofío *et al.*, 2011). La reiteración de la biosolarización mejora las características físicas de los suelos pesados del Campo de Cartagena (Murcia) y dificulta la dispersión de los patógenos, particularmente de *Phytophthora.*

Conclusiones

La biosolarización con torta de colza o con la mezcla de bagazo de cerveza y estiércol fresco de ovino proporciona aceptables niveles de control de los patógenos, palía los efectos de la fatiga del suelo y mejora las cosechas. Los efectos trascienden a la campaña siguiente, incluso cuando se aplica en septiembre u octubre, fechas compatibles con el ciclo habitual del cultivo.

En conclusión, los dos subproductos agroindustriales ensayados (la torta de colza y el bagazo de cerveza mezclado con estiércol fresco de ovino) pueden ser utilizados como fuentes de carbono para la biosolarización, lo que permitiría extender la implantación de esta forma de manejo del suelo en una mayor superficie de invernaderos de pimiento en el Campo de Cartagena (Murcia), donde el uso de los estiércoles de origen animal está limitado por normativas locales, además de ser escasos en la comarca e insuficientes para cubrir la demanda.

Agradecimientos

El trabajo fue financiado por el proyecto INIA RTA2011-0005-C03-01 participado con fondos europeos FEDER.

Referencias bibliográficas

Arriaga H, Núnez-Zofío M, Larregla S, Merino P (2011). Gaseous emissions from soil biodisinfestation by animal manure on a greenhouse pepper crop. Crop Protection 30: 412-419. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2010.12.012.

Blaya J, Lacasa CM, Lacasa A, Martínez V, Santísima-Trimidad AB, Pascual JA, Ros M (2014). Characterization of *Phytophthora nicotianae* isolates in south-east Spain and their detection and quantification through a real-time TaqMan PCR. Journal of the Science of Food and Agriculture 95(6): 1243-1251. https://doi.org/10.1002/jsfa.6813.

Blok WJ, Lamers JG, Termorshuizen AJ, Bollen GJ (2000). Control of soilborne plant pathogens by incorporating fresh organic amendments followed by tarping. Phytopatholy 90: 253-259. https://doi.org/10.1094/PHYTO.2000.90.3.253.

Bonanomi G, Antignani V, Pane C, Scala F (2007). Suppression of soilborne fungal diseases with organic amendments. Journal Plant Pathology 89: 311-324.

Bowers JH, Papavizas GC, Johnston SA (1990). Effect of soil temperature and soil-water matric potential on the survival of *Phytophthora capsici* in natural soil. Plant Disease 74: 771-777. https://doi.org/10.1094/PD-74-0771.

Bridge J, Page SLJ (1980). Estimation of root-knot nematode infestation levels in roots using a rating chart. Tropical Pest Management 26: 296-298. https://doi.org/10.1080/09670878009414416.

Butler DM, Kokalis-Burelle N, Muramoto J, Shennan C, McCollum TG, Rosskopf EA (2012). Impact of anaerobic soil disinfestation combined with soil solarization on plant-parasitic nematodes and introduced inoculum of soilborne plant pathogens in raised-bed vegetable production. Crop Protection 39: 33-40. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2012.03.019.

Coelho L, Mitchell DJ, Chellemi DO (2000). Thermal inactivation of *Phytophthora nicotianae*. Phytopatholy 90: 1089-1097. https://doi.org/10.1094/PHYTO.2000.90.10.1089.

Etxeberria A, Mendarte S, Larregla S (2011). Thermal inactivation of *Phytophthora capsici* oospores. Revista Iberoamericana de Micología 28(2): 83-90 https://doi.org/10.1016/j.riam.2011.01.004.

Everts KL, Sardanelli S, Kratochvil RJ, Armentrout DK, Gallagher LE (2006). Root-knot and root-lesion nematode suppression by cover crops, poultry litter, and poultry litter compost. Plant Disease 90: 487-492. https://doi.org/10.1094/PD-90-0487.

Gamliel A, Stapleton JJ (1997). Improved soil disinfestation by biotoxic volatile compounds generated from solarized, organic amended soil. Acta Horticulturae 382: 129-137. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1995.382.13.

Gandariasbeitia M, Ojinaga M, Orbegozo E, Ortiz-Barredo A, Núñez-Zofío M, Mendarte S, Larregla S (2019). Winter biodisinfestation with Brassica green manure is a promising management strategy for *Phytophthora capsici* control of protected pepper crops in humid temperate climate regions of northern Spain. Spanish Journal of Agricultural Research 17(1): e1005. https://doi.org/10.5424/sjar/2019171-13808.

Guerrero MM, Ros C, Guirao P, Martínez MA, Martínez MC, Barceló N, Bello A, Lacasa A, López JA (2005). Biofumigation plus solarisation efficacy for soil desinfestation in sweet pepper greenhouses in the Southeast of Spain. Acta Horticulturae 698: 293-298. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2005.698.39.

Guerrero MM, Ros C, Lacasa CM, Martínez V, Lacasa A, Fernández P, Martínez MA, Núñez-Zofío M, Larregla S, Díez-Rojo MA, Bello A (2010). Effect of biosolarization using pellets of *Brassica carinata* on soil-borne pathogens in protected pepper crops. Acta Horticulturae 883: 337-344. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2010.883.42.

Guerrero MM, Lacasa CM, Hernández A, Martínez V, Lacasa A (2013). Evaluation of repeated biodisinfestation using *Brassica carinata* pellets to control *Meloidogyne incognita* in protected pepper crops. Spanish Journal of Agriculture Research 11(2): 485-493. https://doi.org/10.5424/sjar/2013112-3275.

Guerrero MM, Guirao P, Martínez MC, Tello J, Lacasa A (2014). Soil fatigue and its specificity towards pepper plants in greenhouses. Spanish Journal of Agriculture Research 12(3): 644-652. https://doi.org/10.5424/sjar/2014123-5701.

Hansen ZR, Keinath AP (2013). Increased pepper yields following incorporation of biofumigation cover crops and the effects on soilborne pathogen populations and pepper diseases. Applied Soil Ecology 63: 67-77. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2012.09.007.

Jeffers SN, Martin SB (1986). Comparison of two media selective for *Phytophthora* and *Pythium* species. Plant Disease 70: 1038-1043. https://doi.org/10.1094/PD-70-1038.

Jiang J, Erwin DC (1990). Morphology, plasmolysis and tetrazolium bromide stain as criteria for determining viability of *Phytophthora* oospores. Mycologua 82(1): 107-113. https://doi.org/10.2307/3759969.

Katase M, Kubo C, Ushio S, Ootsuka E, Takeuchi T, Mizukubo T (2009). Nematicidal activity of volatile fatty acids generated from wheat bran in reductive soil disinfestation. Nematological Research 39: 53-62. https://doi.org/10.3725/jjn.39.53.

Kirkegaard JA (2014). From canola roots to curbing cancer. A fascinating journet into brassica s beneficial bioactives. 5th International Symposium of Biofumigation. Aspects of Applied Biology 126: 1-3.

Lacasa CM, Guerrero MM, Ros C, Martínez V, Lacasa A, Fernández P, Núñez-Zofío M, Larregla S, Martínez MA, Díez-Rojo MA, Bello A (2010). Efficacy of biosolarization with sugar beet vinasses for soil disinfestation in pepper greenhouses. Acta Horticulturae 883: 345-352. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2010.883.43.

Lacasa CM, Martínez V, Martínez MC, Lacasa A, Tello J (2013). *Phytophthora* en los invernaderos de pimiento del Campo de Cartagena (Murcia). Agroecología 12: 18-19.

Martínez MA, Martínez MC, Bielza P, Tello J, Lacasa A (2011). Effect of biofumigation with manure amendments and repeated biosolarization on *Fusarium* density in pepper crops. Journal of Industry Microbiology and Biotechnology 38: 3-11. https://doi.org/10.1007/s10295-010-0826-2.

Núñez-Zofío M, Larregla S, Garbisu C (2011). Application of organic amendments followed by soil plastic mulching reduces the incidence of *Phytophthora capsici* in pepper crops under temperate climate. Crop Protection 30: 1563-1572. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2011.08.020.

Núñez-Zofío M, Larregla S, Garbisu C (2012). Repeated biodisinfection controls the incidence of *Phytophthora* root and crown rot of pepper while improving soil quality. Spanish Journal of Agricultural Research 10(3): 794-805. https://doi.org/10.5424/sjar/2012103-571-11.

Núñez-Zofío M, Larregla S, Garbisu C, Guerrero MM, Lacasa CM, Lacasa A (2013). Application of sugar beet vinasse followed by solarization reduces the incidence of *Meloidogyne incognita* in pepper crops while improving soil quality. Phytoparasitica 41: 181-191. https://doi.org/10.1007/s12600-012-0277-6.

Polizzi G, Agosteo GE, Cartia G (1994). Soil solarization for the control of *Phytophthora capsici* on pepper. Acta Horticulturae 366: 331-335. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1994.366.41.

Rodríguez-Kábana R (1986). Organic and inorganic nitrogen amendments to soil as nematode suppressants. The Journal of Nematology 18: 129-135.

Ros M, García C, Hernández MT, Lacasa A, Fernández P, Pascual JA (2008). Effects of biosolarization as methyl bromide alternative for *Meloidogyne incognita* control on quality of soil under pepper. Biology and Fertility of Soils 45: 37-44. https://doi.org/10.1007/s00374-008-0307-1.

Ros C, Sánchez F, Martínez V, Lacasa CM, Hernández A, Torres J, Guerrero MM, Lacasa A (2016). El cultivo de brasicas para biosolarización reduce las poblaciones de *Meloidogyne incognita* en los invernaderos de pimiento del Sudeste de España. ITEA-Información Técnica Económica Agraria 112(2): 109-126. https://doi.org/10.12706/itea.2016.008.

Ros C, Martínez V, Sánchez F, López-Marín J, Lacasa CM, Guerrero MM, Lacasa A (2018). Combination of biosolarization and grafting to control *Meloidogyne incognita* in greenhouse pepper crops. Crop Protection 113: 33-39. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2018.07.007.

Rosskopf EN, Burelle N, Hong J, Butler DM, Noling JW, He Z, Booker B, Sances F (2014). Comparison of anaerobic soil disinfestation and drip-applied organic acids for raised-bed specialty crop production in Florida. Acta Horticulturae 1044: 221-228. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2014.1044.26.

Santos M, Diánez F, de Cara M, Tello JC (2008). Possibilities of the use of vinasses in the control of fungi phytopathogens. Bioresource Technology 99: 9040-9043. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.04.032.

Serrano-Pérez P, Rosskopf E, De Santiago A, Rodríguez-Molina MC (2017a). Anaerobic soil disinfestation reduces survival and infectivity of *Phytophthora nicotianae* chlamydospores in pepper. Scientia Horticulturae 215: 38-48. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.12.003.

Serrano-Pérez P, Palo C, Rodríguez-Molina MC (2017b). Efficacy of *Brassica carinata* pellets to inhibit mycelial growth and chlamydospores germination of *Phytophthora nicotianae* at different temperature regimes. Scientia Horticulturae 216: 126-133. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.01.002.

Shennan C, Muramoto J, Lamers J, Mazzola M, Rosskopf EN, Kokalis-Burelle N, Momma M, Butler DM, Kobara Y (2014). Anaerobic soil disinfestation for soil borne disease control in strawberry and vegetable systems: current knowledge and future directions. Acta Horticulturae 1044: 165-176. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2014.1044.20.

Tejada M, González JL, García-Martínez AM, Parrado J (2008). Application of green manure and green manure composted with beet vinasse on soil restoration: effects on soil properties. Bioresource Technology 99: 4949-4957. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.09.026.

Tello J, Varés F, Lacasa A (1991). Análisis de muestras. En Manual de Laboratorio. Diagnóstico de hongos, bacterias y nematodos fitopatógenos. (Ed. Andrés Yeves MF), pp. 39-72. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Grafoffset SL Press, Madrid, España.

Wang KH, McSorley R (2008). Exposure time to lethal temperatures for *Meloidogyne incognita* suppression and its implication for soil solarisation. The Journal of Nematology 40(1): 7-12.

Yossen V, Zumelzu G, Gasoni L, Kobayashi K (2008). Effect of soil reductive sterilization on *Fusarium* wilt in greenhouse carnation in Córdoba, Argentina. Australasian Plant Pathology 37: 520-522. https://doi.org/10.1071/AP08039.

(Aceptado para publicación el 15 de julio de 2021)

Biofertilizantes en el crecimiento de estragón (*Artemisia dracunculus* L.) en condiciones de invernadero

Yonger Tamayo-Aguilar[1], Porfirio Juarez-Lopez[1,*], José Antonio Chávez-García[1], Irán Alia-Tejacal, Dagoberto Guillén-Sánchez[1], Jesús Orlando Pérez-González[2], Víctor López-Martínez[1] y María Claudia Rueda-Barrientos[1]

[1] Posgrado en Ciencias Agropecuarias y Desarrollo Rural. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Avenida Universidad 1001, Cuernavaca, Morelos, México. CP. 62210

[2] Universidad Tecnológica del Sur del Estado de Morelos. Carretera Puente de Ixtla- Mazatepec, km 2.35, Col, 24 de febrero, Morelos, México. CP. 62665

Resumen

El estragón (*Artemisia drancunculus* L.) es una planta perenne y aromática con potencial de producción en México. El objetivo fue evaluar el efecto simple y combinado de *Trichoderma harzianum*, *Bacillus subtilis* y *Glomus cubense* en el crecimiento de estragón en condiciones de invernadero. Se utilizó un diseño completamente al azar con seis repeticiones. Los tratamientos fueron: 1) Testigo (sin inoculaciones), 2) *Trichoderma harzianum*, 3) *Bacillus subtilis*, 4) *Glomus cubense*, 5) *Trichoderma harzianum* + *Bacillus subtilis*, 6) *Trichoderma harzianum* + *Glomus cubense*, 7) *Bacillus subtilis* + *Glomus cubense*, 8) *Trichoderma harzianum* + *Bacillus subtilis* + *Glomus cubense*. Se midió el efecto acumulado en el crecimiento de estragón, a través de tres cortes de tallos comerciales, en los que se evaluó: biomasa fresca y seca, área foliar, número de tallos comerciales, longitud y grosor de los tallos, largo y ancho de las hojas, lecturas SPAD y la extracción de N, P, K, Ca y Mg. Las plantas de estragón coinoculadas con *T. harzianum* + *G. cubense* tuvieron un incremento de 66 % en el crecimiento con respecto al testigo y de 53 % en comparación con inoculaciones simples y el tratamiento con los tres microorganismos. Además, se obtuvo un incremento de 57 % en el crecimiento de las plantas con la combinación de *T. harzianum* + *B. subtilis* respecto al testigo y un aumento de 33 % con el resto de los tratamientos. Los biofertilizantes *T. harzianum* + *G. cubense* y *T. harzianum* + *B. subtilis*, pueden ser una alternativa para el manejo orgánico de estragón.

Palabras clave: *Trichoderma harzianum, Bacillus subtilis*, *Glomus cubense*, bioinoculantes, planta aromática.

Biofertilizers in the growth of tarragon (*Artemisia dracunculus* L.) under greenhouse conditions

Abstract

Tarragon (*Artemisia drancunculus* L.) is a perennial and aromatic plant with production potential in Mexico. The objective was to evaluate the simple and combined effect of *Trichoderma harzianum*, *Bacillus subtilis* and *Glomus cubense* on the growth of tarragon under greenhouse conditions. A completely ran-

* Autor para correspondencia: porfirio.juarez@uaem.mx

Cita del artículo: Tamayo-Aguilar Y, Juarez-Lopez P, Chávez-García JA, Alia-Tejacal I, Guillén-Sánchez D, Pérez-González JO, López-Martínez V, Rueda-Barrientos MC (2022). Biofertilizantes en el crecimiento de estragón (*Artemisia dracunculus* L.) en condiciones de invernadero. ITEA-Información Técnica Económica Agraria 118(2): 198-212. https://doi.org/10.12706/itea.2021.027

domized design with six replications was used. The treatments were: 1) Control (without inoculations), 2) *Trichoderma harzianum*, 3) *Bacillus subtilis*, 4) *Glomus cubense*, 5) *Trichoderma harzianum* + *Bacillus subtilis*, 6) *Trichoderma harzianum* + *Glomus cubense*, 7) *Bacillus subtilis* + *Glomus cubense*, 8) *Trichoderma harzianum* + *Bacillus subtilis* + *Glomus cubense*. The cumulative effect on the growth of tarragon was measured through three cuts of commercial stems, in which it was evaluated: fresh and dry biomass, leaf area, number of commercial stems, length and thickness of the stems, length and width of the leaves, SPAD readings and the extraction of N, P, K, Ca and Mg. The tarragon plants co-inoculated with *T. harzianum* + *G. cubense* had an increase of 66 % in growth with respect to the control and of 53 % in comparison with simple inoculations and the treatment with the three microorganisms. In addition, a 57 % increase in plant growth was obtained with the combination of *T. harzianum* + *B. subtilis* compared to the control and a 33 % increase with the rest of the treatments. The biofertilizers *T. harzianum* + *G. cubense* and *T. harzianum* + *B. subtilis*, can be an alternative for the organic management of tarragon.

Keywords: *Trichoderma harzianum*, *Bacillus subtilis*, *Glomus cubense*, bioinoculants, aromatic plant.

Introducción

Las hierbas aromáticas y medicinales (HAM s) dentro del sector agrícola tienen un rol importante en el bienestar social y económico de los productores. Estas especies se han destacado en las últimas décadas por sus aceites esenciales en la industria de la perfumería, por sus productos nutracéuticos en la farmacéutica y también con productos frescos y secos en la industria alimenticia; para muchos países son fuentes de prevención y primeros auxilios de enfermedades, además de ser utilizados en costumbres culinarias por la población (Juárez-Rosete *et al*., 2013; Ramírez Monsalve *et al*., 2019).

Entre 60 % y 80 % de las personas en países en desarrollo, dependen de medicinas tradicionales o populares a base de HAM s para satisfacer sus necesidades de atención médica. India y China son los países con mayor uso en sus sistemas tradicionales de medicina y cocina oriental con alrededor de 7000 y 5000 especies, respectivamente (Farnsworth y Soejarto, 1991; Balick *et al.,* 1996). En los últimos años, los estudios de mercado han demostrado que existe una tendencia creciente en los productos derivados de las HAM s (Niazian *et al*., 2019). De acuerdo con Zengin *et al*. (2018), de los 252 medicamentos básicos y esenciales considerados por la Organización Mundial de la Salud (OMS), 11 % son exclusivamente de origen de las HAM s.

México cuenta con alto potencial para la producción de hierbas finas, entre las cuales está el estragón (*Artemisia drancunculus* L.) también conocido como tarragón o dragoncillo; es una especie aromática que se utiliza tanto en fresco como en seco en la cocina a nivel global (Villegas Espinoza *et al*., 2013). De acuerdo con reportes de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) los estados de Baja California y Baja California Sur son los más destacados en la producción de esta hierba fina con un rendimiento que oscila entre 2,8 t ha^{-1} y 3,16 t ha^{-1} y un valor de la producción entre 60.523 y 90.950 pesos por tonelada, de exportación en fresco, congelada y deshidratada, esta última es la preferida por el mercado (CONAGUA, 2018 y 2019).

Por otra parte, las plantas han desarrollado numerosas estrategias para hacer frente a los diversos cambios bióticos y abióticos en su hábitat de crecimiento. Una de ellas son las relaciones simbióticas mutualistas benéficas que establecen con los biofertilizantes microbianos (Rivera *et al*., 2020), que al interactuar con el hospedero estimulan los procesos fisiológicos de las plantas reflejados en el rendimiento por unidad de superficie, y que re-

presentan alternativas sustentables en la nutrición de los cultivos encaminada hacia una agricultura rentable y ecológica (Tamayo-Aguilar *et al*., 2020).

Las interacciones simbióticas de los microorganismos rizosféricos al promover el volumen radical, permiten una mayor absorción y traslocación de agua y nutrientes esenciales, asimismo, actúan en la solubilización de magnesio, fósforo, hierro y manganeso, como promotores del crecimiento vegetal e inductores de resistencia contra factores bióticos y abióticos, entre otras funciones (Hernández-Melchor *et al*., 2019a,b; Chiquito-Contreras *et al*., 2020).

El uso de los microorganismos benéficos integrados por hongos micorrícicos arbusculares (HMA), *Trichoderma harzianum* y *Bacillus subtilis* dentro del manejo orgánico en el cultivo del estragón, podría ser una alternativa viable para disminuir enfermedades e incrementar el crecimiento y la producción por unidad de superficie de esta hierba aromática reduciendo el uso de fertilizantes sintéticos. Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto simple y combinado de *Trichoderma harzianum*, *Bacillus subtilis* y *Glomus cubense* en el crecimiento de estragón en condiciones de invernadero.

Material y métodos

La investigación se desarrolló en un invernadero tipo túnel con cubierta plástica de color blanquecino con 30 % de sombreo y con mallas antiáfidos en las paredes laterales, ubicado en la Facultad de Ciencias Agropecuarias del Estado de Morelos, localizada en Cuernavaca, Morelos, México (18° 58′ 51″ N, 99° 13′ 55″ O) a una altitud de 1,866 m. Durante la etapa experimental, se registraron los datos climáticos con un registrador de datos ambientales (Hobo®, modelo MX2301A); la temperatura promedio fue de 22,41 °C y 52,98 % de humedad relativa, respectivamente.

Trasplante y aplicación de los biofertilizantes

El trasplante se realizó el 1 de marzo 2020 en macetas de plástico de 20,32 cm que contenían 2,8 kg de suelo agrícola. Se utilizaron esquejes enraizados de estragón de 10 cm de altura producidas en bandejas de unicel de 200 cavidades, adquiridas en la empresa Fusión Mexicana Agropecuaria S.A. de C.V. ubicada en Jojutla de Juárez, Morelos. El suelo que se usó en el experimento se obtuvo a profundidad de 0-20 cm en la empresa antes mencionada, tenía textura arcillo limoso, con las siguientes características químicas: 6,32 de pH; capacidad de intercambio catiónico (CIC) alta de 27,1 mEq 100 g^{-1}, contenidos normales de: materia orgánica (MO) 2,3 %; conductividad eléctrica (CE) 2,7 dS m^{-1}; nitrógeno total 0,6 y fósforo disponible (Bray-Kurtz) 5,1 ppm, contenidos altos: 7,4 cmol kg^{-1}; 107,0 cmol kg^{-1} y 14,7 cmol kg^{-1} de K, Ca y Na, respectivamente, presencia baja de: 9,0 cmol kg^{-1} de Mg y normales: 0,03 cmol kg^{-1}; 0,07 cmol kg^{-1}; 0,04 cmol kg^{-1} y 0,39 cmol kg^{-1} de Cu, Mn, Zn y B, respectivamente. El suelo se esterilizó por solarización (Katan y Gamliel, 2012), para esto, se cubrió con plástico transparente y se expuso a la luz solar durante 30 días. La inoculación de las plántulas de estragón con las especies *T. harzianum* y *B. subtilis* obtenida en la Universidad Tecnológica del Sur del Estado de Morelos (UTSEM), se realizó alrededor del pie del tallo, las cuales previo a la inoculación se conservaron en medios de cultivos PDA y agar nutriente a una temperatura de 25 ± 2 °C; la primera inoculación se realizó en el momento del trasplante y 30 días después, a concentración de 1 x 10^5 esporas mL^{-1} y 1 x 10^5 bacterias mL^{-1} preparada con agua destilada estéril en un vaso de precipitado de 1000 mL, posteriormente aplicada con un spray modelo Batlle 730061UNID de 1000 mL que garantizó la uniformidad de la aplicación en todas las plantas. La especie *G. cubense* con 70 esporas $gramo^{-1}$ de inoculante y 50 % de colonización radical, no tóxico y libre de pa-

tógenos obtenidas a través del Consejo Estatal de Fertilizantes Orgánicos (CEFO) ubicado en el estado de Oaxaca, México, se preparó en un recipiente plástico en el cual se sumergieron las raíces en una pasta fluida del inoculante micorrícico con una dosis de 0,5 kg ha^{-1} del producto por 800 mL de agua destilada en el momento del trasplante (Fernández *et al*., 2000).

Riego y nutrición mineral

Se aplicó el riego a cada maceta con 1 L de solución nutritiva de Steiner al 50 % de concentración, cada dos días. La solución se preparó a partir de fertilizantes comerciales solubles: $Ca(NO_3)_2$, KNO_3, $MgSO_4$, K_2SO_4 y KH_2PO_4 (Steiner, 1984). El pH de la solución nutritiva se ajustó entre 5,5 y 5,7 con ácido sulfúrico al 95 %. Como fuente de micronutrientes se utilizó el producto ultrasol Micro Mix, SQM® a dosis de 20 g por cada 500 L de solución nutritiva.

Diseño experimental y tratamientos

Se utilizó un diseño completamente al azar con seis repeticiones. Los tratamientos fueron: 1) Testigo (sin inoculaciones), 2) *Trichoderma harzianum*, 3) *Bacillus subtilis*, 4) *Glomus cubense*, 5) *Trichoderma harzianum* + *Bacillus subtilis*, 6) *Trichoderma harzianum* + *Glomus cubense*, 7) *Bacillus subtilis* + *Glomus cubense*, 8) *Trichoderma harzianum* + *Bacillus subtilis* + *Glomus cubense* (Tabla 1). La unidad experimental fue una maceta que contenía una planta de estragón.

Tabla 1. Descripción de los tratamientos.
Table 1. Description of the treatments.

Tratamiento	Concentración de los inóculos
Testigo	Sin inoculaciones
TH	1 x 10^5 UFC mL^{-1}
BS	1 x 10^5 UFC mL^{-1}
GC	70 esporas g^{-1} de suelo
TH +BS	1 x 10^5 UFC mL^{-1} + 1 x 10^5 UFC mL^{-1}
TH + GC	1 x 10^5 UFC mL^{-1} + 70 esporas g^{-1} de suelo
BS + GC	1 x 10^5 UFC mL^{-1} + 70 esporas g^{-1} de suelo
TH + BS + GC	1 x 10^5 UFC mL^{-1} + 1 x 10^5 UFC mL^{-1} + 70 esporas g^{-1} de suelo

UFC = Unidad de formación de colonias. TH =*Trichoderma harzianum,* BS = *Bacillus subtilis,* GC = *Glomus cubense.*

Cosecha de estragón y variables evaluadas

Debido a que el estragón es una planta herbácea perenne, se realizaron tres cortes de todos los tallos en el periodo experimental. El primer corte fue el 29 de abril de 2020, es decir, 60 días después del trasplante; el segundo corte fue el 24 de mayo y el tercer corte fue el 18 de junio del mismo año. Se seleccionaron con interés comercial, aquellos

tallos que presentaron características de 18 cm a 35 cm de largo, buen vigor, hojas largas y de coloración verde oscura. En ellos, se midieron las variables descritas a continuación para evaluar el efecto acumulado de los tres cortes: número de tallos comerciales. La longitud del tallo se determinó con una regla de 0,01 cm de precisión, desde la base del tallo hasta el ápice. El grosor del tallo se determinó 1 cm por encima del corte del tallo comercial con un vernier digital (Traceable® Modelo 97152-16, USA). El largo y ancho de las hojas, se midieron por debajo del primer entrenudo de los tallos cortados con vernier digital. La concentración relativa de clorofila (lecturas SPAD) se determinó con un equipo portátil SPAD (Minolta® Modelo 502 Plus, Japón) en hojas maduras y extendidas. El área foliar se determinó al quitar todas las hojas de la rama o tallo y fueron colocadas en un medidor de área foliar (LI-COR® Modelo LI-3100C, USA). El peso de biomasa fresca y seca se obtuvieron con una balanza digital (OHAUS® Modelo Scout Pro SP401, USA), en cada corte de tallos comerciales, separando hojas y tallos. Una vez obtenido el peso fresco, los órganos antes mencionados se colocaron en bolsas de papel estraza, en una estufa con circulación de aire forzado (Luzeren® Modelo DHG9070A, China) a 60 °C, durante tres días, para obtener el peso seco. Posteriormente en cada órgano se determinó la concentración de los macronutrimentos N, P, K, Ca y Mg. Para N se utilizó el método micro-Kjeldahl (Alcántar y Sandoval, 1999), mientras que el P, K, Ca y Mg se realizó mediante digestión húmeda con una mezcla de ácido perclórico y nítrico en relación 2:1 (Alcántar y Sandoval, 1999). El incremento (%) para las variables descritas anteriormente, se estimó con los datos obtenidos de los tratamientos con biofertilizantes y el testigo sin inoculaciones [(tratamientos biofertilizantes – tratamientos sin inoculaciones) /tratamientos sin inoculaciones] × 100. La extracción de macronutrimentos se obtuvo a partir de la biomasa seca de cada órgano (hojas y tallos) y sus correspondientes concentraciones de cada macroelemento considerado (% N, P, K, Ca y Mg) por la siguiente fórmula:

Extracción de macronutrimentos (kg ha^{-1}) = [Materia seca (MS) parte aérea (g $planta^{-1}$) x concentración (%) del elemento en la MS de la parte aérea] × 10.

Análisis estadístico

Los análisis estadísticos se realizaron con el software estadístico IBM SPSS® Statistics para Windows vs 25 (IBM Corp, Armonk, Nueva York, USA). Se comprobó la normalidad y homogeneidad de varianza mediante el test de Levene y Kolmogorov-Smirnov. Posteriormente, se procedió al análisis de varianza y a la prueba de comparación de medias de Tukey ($p \leq 0,05$).

Resultados y discusión

Biomasa fresca y seca

En cuanto a la biomasa fresca y seca de estragón, hubo diferencias ($p \leq 0,05$) en los tratamientos evaluados (Figura 1). En la biomasa fresca hubo incremento del 55 % y 46 % en plantas coinoculadas con *T. harzianum* + *G. cubense* y *T. harzianum* + *B. subtilis* en comparación al testigo, respectivamente; asimismo, estas combinaciones presentaron aumento del 20 % con respecto a los demás tratamientos. La biomasa seca presentó un incremento del 90 % y 72 % con las combinaciones anteriormente mencionadas con respecto al testigo, respectivamente.

Los resultados sugieren que los inoculantes incrementan las funciones metabólicas relacionadas con el crecimiento y desarrollo de las plantas, al interactuar directamente con la

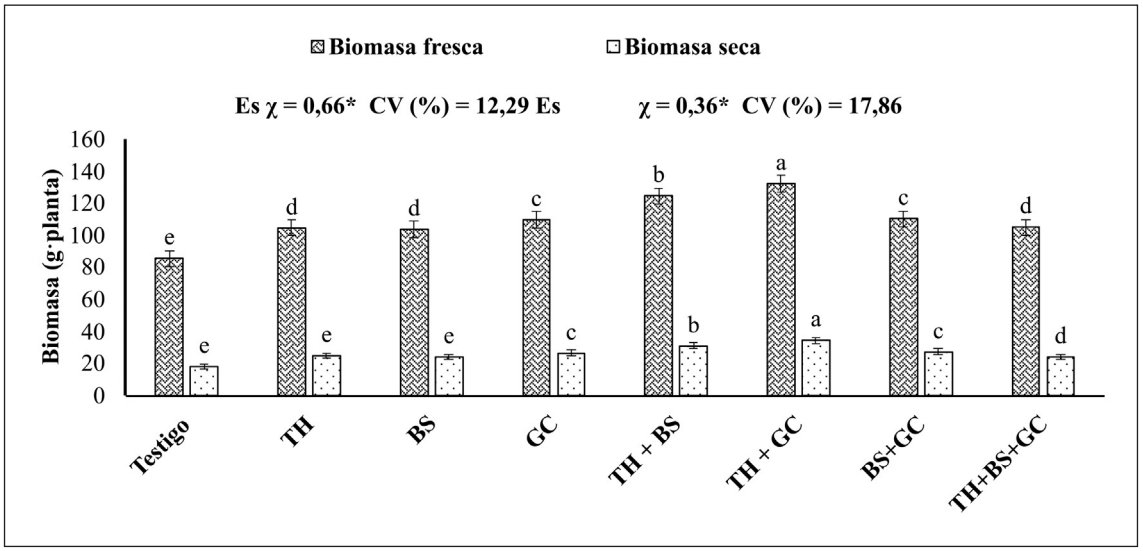


Figura 1. Biomasa fresca y seca de plantas de estragón.

TH = *Trichoderma harzianum*; BS = *Bacillus subtilis*; GC = *Glomus cubense*; Es χ= error estándar de la media; CV = Coeficiente de variación. Las barras indican error estándar. Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas según prueba de rangos múltiples de Tukey ($p \leq 0,05$).

Figure 1. Fresh and dry biomass of tarragon plants.

TH = Trichoderma harzianum; *BS* = Bacillus subtilis; *GC* = Glomus cubense; *Es χ = standard error of the mean; CV = coefficient of variation. Bars indicate standard error. Different letters in the same column indicate significant differences according to Tukey's multiple range test ($p \leq 0.05$).*

rizosfera y estimular la asimilación de algunos nutrientes esenciales para su crecimiento (Tamayo-Aguilar *et al*., 2020).

Eke *et al*. (2016) plantearon que las aplicaciones de microrganismos en plantas se pueden realizar con una sola especie determinada, sin embargo, la aplicación de consorcios o la inoculación combinada de estos simbiontes son más eficientes para la promoción del crecimiento, efectos antagonistas y productividad de las plantas. No obstante, consideran que la eficiencia de un consorcio o la coinoculación entre ellos depende de la interacción intraespecífica y simbiótica de los microorganismos y el huésped involucrado. Álvarez *et al*. (2018) indican que los inóculos microbianos coinoculados o aplicados en consorcios en plantas vegetales, favorece su crecimiento a través de los múltiples beneficios que les proporcionan; sin embargo, los efectos entre los inóculos son diferentes, acorde a la naturaleza de cada uno de ellos y la función que realiza en el metabolismo de las plantas.

Por otra parte, el resultado ascendente de la biomasa en los tratamientos coinoculados (*T. harzianum* + *G. cubense; T. harzianum* + *B. subtilis*) pudo deberse a la especificidad de los microorganismos en su acción simbiótica con las plantas de estragón, aunado con cortes de los tallos comerciales realizados escalonadamente durante la etapa experimental, con un coeficiente de variación entre el 87,71 % y 82,14 %, respectivamente. Estos argumentos coinciden con lo reportado por

Chiquito-Contreras *et al*. (2019), quienes encontraron que la inoculación mixta entre micorrizas y la bacteria *Stenotrophomonas rhizophila* estimulan los procesos funcionales que intervienen en el crecimiento morfológico de las plantas.

Por su parte, Riahi *et al*. (2020) observaron que las bacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR) mejoraron significativamente los parámetros relacionados con el crecimiento, la biomasa de hojas y raíces en comparación con el control, en plantas de *Pelargonium graveolens* L'Hér. Además, reportaron un incremento en el peso de la biomasa con la inoculación dual de las rizobacterias en comparación al testigo, efectos atribuidos a la producción de sideróforos, solubilización de minerales y difusión de sustancias que promueven el crecimiento directo de las plantas.

Área foliar

En el área foliar de estragón hubo diferencias ($p \leq 0,05$) entre los tratamientos evaluados (Figura 2). Los tratamientos *T. harzianum, B. subtilis* y la combinación de los tres microorganismos no mostraron diferencias entre sí, de igual manera se comportó *G. cubense* y la coinoculación de *B. subtilis* + *G. cubens*e. Sin embargo, se observó una tendencia ascendente del área foliar con la interacción sinérgica entre la coinoculación de *T. harzianum* + *G. cubense* y *T. harzianum* + *B. subtilis* del 83 % y 74 %, respectivamente, en comparación al testigo.

Estos resultados indican que se estableció la simbiosis tripartita entre el hongo-bacteria y hospedero, la cual podría influir en la capacidad de las plantas de absorber del suelo agua y ma-

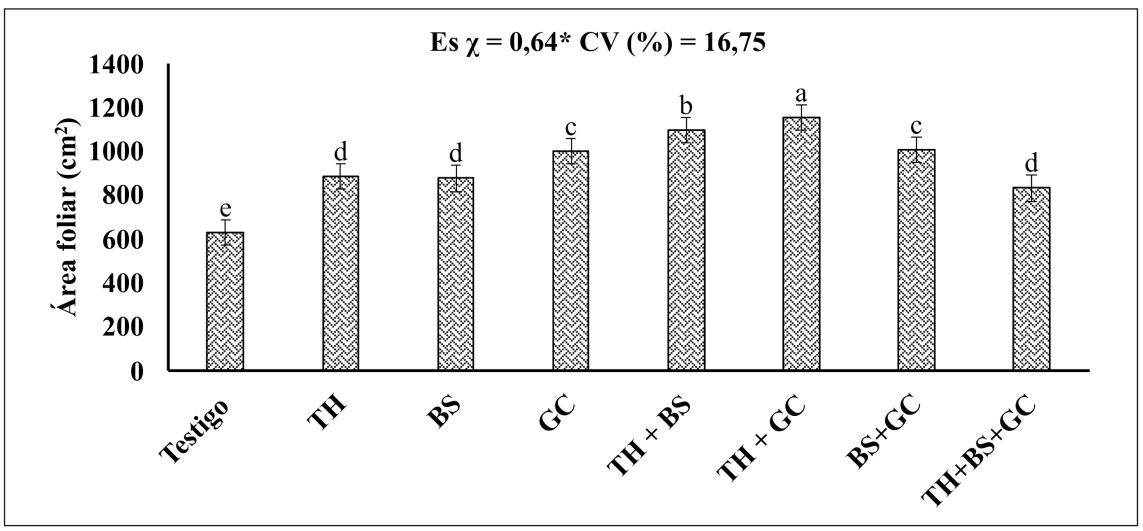


Figura 2. Área foliar de plantas de estragón.

TH = *Trichoderma harzianum*; BS = *Bacillus subtilis*; GC = *Glomus cubense*; Es χ = error estándar de la media; CV = Coeficiente de variación. Las barras indican error estándar. Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas según prueba de rangos múltiples de Tukey ($p \leq 0,05$).

Figure 2. Leaf area of tarragon plants.

TH = Trichoderma harzianum*; BS* = Bacillus subtilis*; GC* = Glomus cubense*; Es χ = standard error of the mean; CV = coefficient of variation. Bars indicate standard error. Different letters in the same column indicate significant differences according to Tukey's multiple range test ($p \leq 0.05$).*

cronutrientes como el nitrógeno, fósforo, potasio y microelementos, sumado a la producción de metabolitos que producen los microorganismos (enzimas, compuestos promotores del crecimiento vegetal, ácidos orgánicos, entre otros). En este sentido, Leal-Almanza *et al*. (2018) indican que *Trichoderma* spp. y otras especies de hongos benéficos propios de la rizosfera, benefician el desarrollo radical, la producción de ácidos orgánicos y metabolitos secundarios que interactúan en la estimulación del crecimiento vegetal.

Esquivel-Quispe (2020), al evaluar el efecto de diferentes consorcios de hongos micorrícicos arbusculares en especies anuales y perennes, concluyó que el incremento de los indicadores evaluados se debió a los procesos microbiológicos y ecológicos que las micorrizas desarrollaron en el suelo, en simbiosis con la planta huésped, debido a las acciones que ejercen en la descomposición, reciclado y asimilación de nutrientes minerales. Asimismo, Rivera *et al*. (2020) indican que el área foliar de *Pennisetum purpureum* y *Nicotiana tabacum* L. aumentó gracias a los beneficios que los inoculantes micorrícicos ejercen en las plantas micorrizadas expuestas a diferentes condiciones edáficas y ambiente.

En relación a las respuestas contrastantes entre los tratamientos inoculados, pudo deberse a que los microorganismos benéficos no siempre tienen las mismas respuestas en plantas, debido a la funcionalidad y principios de cada uno de ellos con el hospedero y el medio edáfico; sin embargo, cuando son combinados correctamente, son más eficientes en el crecimiento de las plantas (Tian *et al*., 2020).

Variables morfológicas

Se encontraron diferencias ($p \leq 0,05$) entre las variables morfológicas de las plantas de estragón inoculadas con microorganismos benéficos (Tabla 2). Para todas las variables, el mejor tratamiento fue la coinoculación de *T. harzianum* + *G. cubense* con un incremento promedio de 25 %, seguido de *T. harzianum* + *B. subtilis,* con un aumento de 17 % en comparación con los demás tratamientos. *G. cubense* y la combinación de *B. subtilis* + *G. cubense* mostraron una respuesta similar en las variables evaluadas. La aplicación conjunta de los tres biofertilizantes (*T. harzianum, B. subtilis* y *G. cubense*) y los tratamientos de *T. harzianum* y *B. subtilis* fueron estadísticamente similares entre ellos. Al mismo tiempo, en todas las variables se reflejó que la aplicación de los microorganismos superó al tratamiento control. En este orden, la estimulación de brotes nuevos, debido a los tres cortes escalonados de tallos comerciales durante el desarrollo del experimento y los beneficios de *T. harzianum* + *G. cubense* y *T. harzianum* + *B. subtilis,* son combinaciones que permiten aumentar en número y calidad comercial los tallos de estragón. Estos resultados coinciden con los parámetros ya descritos en las Figuras 1 y 2. La simbiosis que existió entre los inoculantes y el huésped, propiciaron el intercambio de sustancias entre ellos, donde las plantas absorben agua y minerales del suelo captados a través de las estructuras de los microorganismos, mientras que este último obtiene compuestos carbonados producto de la fotosíntesis de las plantas, lo que coincide con Arango *et al*. (2012) quienes indicaron que las plantas aromáticas son beneficiadas con las inoculaciones de los microorganismos benéficos (hongos y bacterias) al incrementar su rendimiento de biomasa aérea y el contenido de aceites esenciales, en comparación con plantas no inoculadas. En contraste, la selección no adecuada de rizobacterias en un cultivo, puede inhibir el crecimiento provocado por la deficiencia o exceso de la concentración de fitohormonas, comportamiento similar con la especificidad entre los hongos benéficos, la planta y el suelo (Rivera *et al*., 2020).

Los resultados del presente estudio son similares a los reportados por Chiquito-Contreras

Tabla 2. Variables morfológicas evaluadas en estragón.
Table 2. Morphological variables evaluated in tarragon.

Tratamiento	Número de tallos comerciales	Longitud del tallo (cm)	Grosor del tallo (mm)	Largo de hojas (mm)	Ancho de hojas (mm)
Testigo	15,88 e	23,27 e	3,69 e	52,85 f	6,39 e
TH	18,14 d	26,96 d	4,32 d	64,92 de	7,34 d
BS	18,20 d	26,48 d	4,21 d	62,43 e	7,26 d
GC	20,45 c	28,81 c	4,65 c	68,00 cd	7,58 c
TH +BS	23,74 b	33,08 b	5,09 b	77,32 b	8,07 b
TH + GC	25,98 a	32,27 a	5,63 a	82,20 a	8,52 a
BS+ GC	20,46 c	28,59 c	4,70 c	69,47 c	7,65 c
TH + BS + GC	18,20 d	26,35 d	4,37 d	63,21 e	7,35 d
Es χ	0,62*	0,47*	0,07*	1,14*	0,38*
CV (%)	15,95	13,05	12,38	13,00	7,92

TH = *Trichoderma harzianum*; BS = *Bacillus subtilis*; *GC* = *Glomus cubense*; Es χ = error estándar de la media; CV = Coeficiente de variación**.** Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas según prueba de rangos múltiples de Tukey ($p \leq 0,05$).

et al. (2019) en plantas de *Ocimum basilicum* L. inoculadas con micorrizas y bacterias, donde encontraron un aumento de todas las variables morfológicas con la combinación de ambos microorganismos comparado con el tratamiento control.

En este contexto, Mohamed *et al.* (2019), en un ensayo realizado en condiciones de invernadero, demostraron el efecto de las inoculaciones únicas o combinadas de micorrizas, *Bacillus subtilis* y *Pseudomonas fluorescens* en *Phaesolus vulgaris* L. Estos autores refieren que los tratamientos combinados con los microorganismos resultaron significativos con respecto a los tratamientos individuales para las variables de crecimiento y de componentes del rendimiento; asimismo, la absorción de P y Fe fue estimulada en los tratamientos combinados.

Makarov *et al*. (2020) mencionan que el crecimiento de las plantas inoculadas con biofertilizantes aumenta exponencialmente con respecto a las plantas no inoculadas, independientemente del medio donde se establezcan, debido al aumento de la actividad de las exoenzimas de los microorganismos que estimulan el metabolismo vegetal.

Concentración relativa de clorofila

La concentración relativa de clorofila en hojas enteras y extendidas de estragón mediante lecturas SPAD (Figura 3) mostró diferencias ($p \leq 0,05$) entre los tratamientos, con un incremento acumulado del 89 % en las plantas inoculadas comparada con el testigo. Se observó un incremento de 69 % y 71 % con las combinaciones de *T. harzianum* + *G. cubense* y *T. harzianum* + *B. subtilis*, respecto a las inoculaciones simples y la aplicación conjunta de los tres inoculantes. Esto indica la afinidad que existió entre el huésped y la

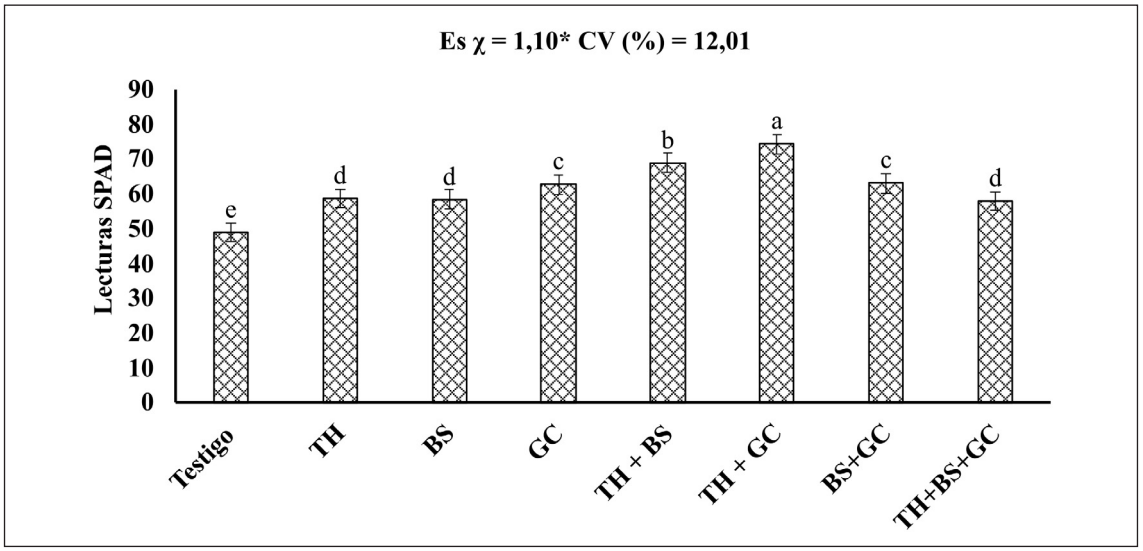


Figura 3. Contenido relativo de clorofila (Lectura SPAD) de las hojas de estragón.

TH = *Trichoderma harzianum*; BS = *Bacillus subtilis*; GC = *Glomus cubense*; Es χ = error estándar de la media; CV = Coeficiente de variación. Las barras indican error estándar. Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas según prueba de rangos múltiples de Tukey ($p \leq 0,05$).

Figure 3. Relative chlorophyll content (SPAD reading) of tarragon plants leaves.

TH = Trichoderma harzianum*; BS* = Bacillus subtilis*; GC* = Glomus cubense*; Es χ = standard error of the mean; CV = coefficient of variation. Bars indicate standard error. Different letters in the same column indicate significant differences according to Tukey's multiple range test ($p \leq 0.05$).*

interacción sinérgica entre los hongos benéficos y la bacteria promotora del crecimiento vegetal que al interactuar con *T. harzianum*, estimularon la captación de los macronutrientes esenciales como el nitrógeno y fósforo importantes en el proceso fotosintético de las plantas (Villarreal- Delgado *et al*., 2018). Las lecturas SPAD en los tratamientos de *G. cubense* y *B. subtilis* + *G. cubense* fue similar entre ellos, pero superior a las inoculaciones simples. Es evidente que los beneficios de los inoculantes biológicos en las plantas de estragón se vieron reflejados en la concentración de clorofila. Estos resultados coinciden con lo reportado por Vafadar *et al*. (2014) quienes en plantas de *Stevia rebaudiana* Bertoni encontraron que la inoculación simple de hongos micorrícicos arbusculares y PGPR, fue superior en todas las variables estudiadas en comparación al testigo. Tales efectos aumentaron de manera significativa con la mezcla de inoculantes compatibles duales con estrecha sinergia entre ellos. Estos mismos autores descartaron el efecto positivo de las combinaciones triples de los inoculantes en comparación con las duales, debido a la competencia entre los microorganismos que pudo reducir sus efectividades simbióticas.

En relación a lo anterior, Chiquito-Contreras *et al*. (2019) reportaron diferencias significativas en la concentración de clorofila en plantas de albahaca inoculadas con consorcios de micorrizas y PGPR, es decir, esta variable aumenta debido al incremento de la bio-

masa vegetal promovida por los efectos positivos de la inoculación de hongos benéficos y las bacterias.

Choudhary *et al.* (2019) determinaron que la promoción del crecimiento de las plantas inoculadas con PGPR y HMA, se debe a la sinergia mutualista entre ellos. La síntesis de hormonas producidas por las PGPR, como el ácido indol acético (IAA), citoquinina y giberelinas intervienen en la división, extensión y diferenciación celular. Y, por otro lado, los mecanismos y estructuras de los hongos que penetran en el interior de las células corticales de las raíces actúan como mediadores del intercambio de metabolitos entre el hongo y el citoplasma del huésped.

Parihar *et al*. (2020) refirieron que la simbiosis micorrícica en plantas inoculadas inicia de forma asimbiótica en condiciones favorables como niveles adecuados de humedad del suelo, pH, fertilidad entre otros, sin el requerimiento de la planta huésped; después, se establece la fase presimbiótica entre las estructuras del hongo y las raíces de las plantas de forma sinérgica; y por último, las hifas del hongo penetran intra y extrarradicalmente en la célula epidérmica de la raíz e inicia el proceso simbiótico. En este sentido, las hifas intrarradicales comienzan a moverse en la célula cortical, mientras que el micelio extrarradical se mueve en la zona rizosférica. Estos argumentos explican a grandes rasgos las respuestas encontradas en el estragón sometidas a inoculaciones simples y combinadas con *G. cubense*.

Extracción de macronutrientes

Se observó que la coinoculación de *T. harzianum* + *G. cubense* en plantas de estragón mostraron valores superiores en la extracción de macronutrientes (Tabla 3), con diferencias ($p \leq 0,05$), seguido por el tratamiento dual de

Tabla 3. Extracción de macronutrientes de estragón.
Table 3. Extraction of macronutrients in tarragon.

Tratamiento	N	P	K	Ca	Mg
			(kg ha^{-1})		
Testigo	2,13 e	0,33 e	6,59 e	0,73 f	0,34 e
TH	3,79 d	0,59 d	11,71 d	1,31 e	0,57 d
BS	3,51 d	0,56 d	12,88 d	1,26 e	0,54 d
GC	5,51 c	1,13 c	20,97 c	1,90 d	0,56 d
TH +BS	7,44 b	1,25 b	27,27 b	2,91 b	0,87 b
TH + GC	11,69 a	1,91 a	35,40 a	3,82 a	1,05 a
BS+ GC	5,85 c	1,18 c	21,16 c	2,28 c	0,70 c
TH + BS + GC	5,14 c	1,13 c	21,92 c	2,38 c	0,73 c
Es χ	0,33*	0,01*	1,07*	0,05*	0,01*

TH= *Trichoderma harzianum*; BS= *Bacillus subtilis*; GC= *Glomus cubense*; Es χ = error estándar de la media. Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas según prueba de rangos múltiples de Tukey ($p \leq 0,05$).

T. harzianum + *B. subtilis*. La respuesta encontrada en esta variable coincidió con las descritas anteriormente, con relación a que las plantas de estragón establecieron una relación directa entre las aplicaciones mixtas de los inoculantes (*T. harzianum, B. subtilis* y *G. cubense*) a diferencia de las inoculaciones simples y de las combinaciones triples.

La extracción de N y K fueron superiores al resto de los macroelementos, dado a que son partes de los elementos esenciales para las plantas y que se requieren en grandes cantidades para el crecimiento y desarrollo de las plantas. A su vez, se encontró que el elemento potasio fue el más extraído por la especie aromática, lo que pudo estar atribuido por su participación en procesos de la fotosíntesis, la respiración, traslocación de fotosintatos, síntesis de proteínas y activación de enzimas claves para varias funciones bioquímicas en las plantas (Delgado-Ospina *et al*., 2012). También, los microorganismos a través de sus beneficios directos en las plantas, ejercieron efecto sobre las extracciones de los macronutrientes en estragón, lo que concuerda con criterios que los microorganismos también participan en el suministro y extracción de nutrientes por las plantas (Bordoloi y Shukla, 2020).

Estudios realizados por Delgado-Ospina *et al*. (2012), indican que la extracción de macronutrientes puede variar de acuerdo a las especies y a las fases fenológicas del cultivo. En este orden, reportaron el K como elemento de mayor requerimiento de extracción foliar y con menores demandas el P y Mg en plantas de *Lippia organoides* H.B.K cultivadas en invernadero.

En relación al uso de la solución Steiner al 50 % en plantas aromáticas, se ha reportado incremento de la biomasa vegetal, así como en la concentración y extracción de nutrientes acumulados a través del tiempo en *Coriandrum sativum* L. y de *Origanum vulgare* L. en la secuencia K N P (Cruz-Crespo *et al*., 2017; Juárez-Rosete *et al*., 2019); estos aspectos están relacionados con los resultados obtenidos, independientemente de la acción de los bioinoculantes aplicados.

Borba *et al*. (2021) encontraron en plantas de *Plectranthus amboinicus* (Lour.) Spreng extracciones de K y N superiores al resto de los macros y micronutrientes en el tejido foliar de las plantas, y atribuyen estos resultados a la disponibilidad en la solución del suelo y la capacidad de las plantas de absorber en mayor proporción estos elementos.

Conclusiones

Se obtuvo un incremento de 66 % en el crecimiento de las plantas de estragón con la coinoculación de *Trichoderma harzianum* + *Glomus cubense* comparado con el testigo y 53 % con respecto a los demás tratamientos. Además, hubo un incremento de 57 % en el crecimiento de las plantas con la combinación de *T. harzianum* + *B. subtilis* en comparación con el testigo y un aumento de 33 % con el resto de los tratamientos. Todo lo anterior se ha reflejado en un incremento de biomasa fresca y seca, del área foliar, de los parámetros morfológicos, concentración relativa de clorofila y extracción de macronutrimentos. El empleo de la coinoculación de microorganismos biológicos *T. harzianum* + *G. cubense* y *T. harzianum* + *B. subtilis* puede ser una alternativa para el manejo orgánico y sostenible en la producción de estragón cultivado en invernadero.

Agradecimientos

El primer autor agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) de México por el apoyo recibido mediante la beca nacional 2019-2 (CVU) 1010338 para realizar estudios de Doctorado.

Referencias bibliográficas

Alcántar GG, Sandoval VM (1999). Manual de análisis químico de tejido vegetal. Guía de muestreo, preparación, análisis e interpretación. Publicación especial Núm. 10. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A. C. Chapingo, México. 155 pp.

Álvarez M, Tucta F, Quispe E, Meza V (2018). Incidence of the inoculation of beneficial microorganisms in the strawberry (*Fragaria* sp.) crop. Scientia Agropecuaria 9(1): 33-42. https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.01.04.

Arango MC, Ruscitti MF, Ronco MG, Beltrano J (2012). Mycorrhizal fungi inoculation and phosphorus fertilizer on growth, essential oil production and nutrient uptake in peppermint (*Mentha piperita* L.). Revista Brasileira de Plantas Medicinais 14(4): 692-699. https://doi.org/10.1590/S1516-05722012000400018.

Balick MJ, Elisabetsky E, Laird SA (1996). Medicinal resources of the tropical forest: biodiversity and its importance to human health. Columbia University Press, New York. 440 pp.

Borba ER de C, Mubárack TC, Luz TRSA, Silveira DPB, Silva AZ, Figueiredo P de MS, Monteiro O dos S, Fernandes YML, Paula ML, Vilanova CM, Coutinho DF (2021). Características nutricionais do solo e das folhas no cultivo de *Plectranthus amboinicus* (Lour.) Spreng. Research, Society and Development 10(1): e30810111715. https://doi.org/10.33448/rsd-v10i1.11715.

Bordoloi A, Shukla AK (2020). Effect of mycorrhizal application on plant growth and nutrient uptake of *Piper mullesua* plantlets under sterilized, unsterilized and field soil condition. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences 9(5): 2948-2960. https://doi.org/10.20546/ijcmas.2020.905.338.

Chiquito-Contreras RG, Solís-Palacios R, Reyes-Pérez JJ, Reyes J, Murillo-Amador B, Alejandre-Rosas J, Hernández-Montiel LG (2019). Promoción del crecimiento de plantas de albahaca utilizando hongos micorrícicos arbusculares y una bacteria marina. Acta Universitaria 28(6): 68-76. https:/doi.org/10.15174/au.2018.2086.

Chiquito-Contreras RG, Reyes-Pérez JJ, Chiquito-Contreras CJ, Vidal-Hernández L, Hernández-Montiel LG (2020). Efecto de rizobacterias y dosis reducidas de fertilizantes sintéticos sobre la expresión morfo productiva de tomate en invernadero. ITEA-Información Técnica Económica Agraria 116(1): 19-29. https://doi.org/10.12706/itea.2019.015.

Choudhary M, Meena, VS, Yadav RP, Parihar M, Pattanayak A, Panday SC, Mishra PK, Bisht JK, Yadav MR, Nogia M, Samal SK, Ghasal PC, Choudhary J, Choudhary M (2019). Does PGPR and mycorrhizae enhance nutrient use efficiency and efficacy in relation to crop productivity? En: Field Crops: Sustainable Management by PGPR (Ed. D.K. Maheshwari y S. Dheeman), pp. 45-68. Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-30926-8_3.

CONAGUA (2018). Estadísticas Agrícolas de las Unidades de Riego. Año agrícola 2016-2017. Comisión Nacional del Agua. México. 925 pp. Disponible en: https://files.conagua.gob.mx/conagua/publicaciones/Publicaciones/SGIH-3-18.pdf (Consultado: 11 noviembre 2020).

CONAGUA (2019). Estadísticas Agrícolas de las Unidades de Riego. Año agrícola 2017-2018. Comisión Nacional del Agua. México. 902 pp. Disponible en: https://files.conagua.gob.mx/conagua/publicaciones/Publicaciones/EAUR_2017-2018.pdf (Consultado: 22 noviembre 2020).

Cruz-Crespo E, Can Chulim Á, Loera Rosales LJ, Aguilar Benítez G, Pineda Pineda J, Bugarín Montoya R, Cruz Crespo E, Can Chulim Á, Loera Rosales LJ, Aguilar Benítez G, Pineda Pineda J, Bugarín Montoya R (2017). Extracción de N-P-K en *Coriandrum sativum* 'Pakistan' en hidroponia. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 8(2): 355-367. https://doi.org/10.29312/remexca.v8i2.56.

Delgado-Ospina J, Menjivar-Flores JC, Bonilla-Correa CR (2012). Effect of fertilization on dry matter production and extraction of nutrients in three accessions of Lippia origanoides H.B.K. Acta Agronómica 61(4): 302-308.

Eke P, Chatue Chatue G, Wakam LN, Kouipou RMT, Fokou PVT, Boyom, FF (2016). Mycorrhiza consortia suppress the fusarium root rot (*Fusarium solani* f. sp. *Phaseoli*) in common bean (*Phaseo-*

lus vulgaris L.). Biological Control 103: 240-250. https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2016.10.001.

Esquivel-Quispe R (2020). Propagación de hongos micorrizógenos arbusculares nativos y su influencia en la producción de maíz amiláceo en Paquecc-Ayacucho. Segunda parte: Hacia una agricultura sostenible. Journal of the Selva Andina Biosphere 8(1): 53-63. https://doi.org10.36610/j.jsab.2020.080100053.

Farnsworth NR, Soejarto DD (1991). Global importance of medicinal plants. En: The Conservation of Medicinal Plants (Ed. Akerele O, Heywood V, Synge H.), pp 25-51. Cambridge University Press, Cambridge, U.K.

Fernández F, Gómez R, Vanegas LF, Martínez MA, de la Noval BM, Rivera R (2000). CU22641 - Producto inoculante micorrizógeno. Oficina Nacional de Propiedad Industrial. (Patent No. 22641). La Habana, Cuba.

Hernández-Melchor DJ, Ferrera-Cerrato R, Alarcón A (2019a). Review. *Trichoderma*: Agricultural and biotechnological importance, and fermentation systems for producing biomass and enzymes of industrial interest. Agrociencia 35(1): 98-112. https://doi.org/10.4067/S0719-38902019005000205.

Hernández-Melchor DJ, Ferrera-Cerrato R, Alarcón, A (2019b). *Trichoderma*: Importancia agrícola, biotecnológica, y sistemas de fermentación para producir biomasa y enzimas de interés industrial. Chilean Journal of Agricultural & Animal Sciences 35(1): 98-112. https://doi.org/10.4067/S0719-38902019005000205.

Katan J, Gamliel A (2012). Chapter 5. Soil solarization for the management of solborne pests: the challenges, historical perspective, and principles. En: Soil Solarización: Theory and Practice (Ed. Gamliel A, Katan J), pp. 45-52. The American Phytopathological Society. St Paul Minnesota. USA. https://doi.org/10.1094/9780890544198.007.

Juárez-Rosete C, Aguilar-Castillo J, Juárez-Rosete M, Bugarín-Montoya R, Juárez-López P, Cruz Crespo E (2013). Hierbas aromáticas y medicinales en México: Tradición e innovación. Revista Bio Ciencias 2(3): 119-129. https://doi.org/10.15741/revbio.02.03.06.

Juárez-Rosete CR, Aguilar-Castillo JA, Aburto-González CA, Alejo-Santiago G (2019). Biomass production, nutritional requirement of nitrogen, phosphorus and potassium, and concentration of the nutrient solution in oregano. Revista Chapingo. Serie Horticultura 25(1): 17-28. https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2018.02.006.

Leal-Almanza J, Gutiérrez-Coronado MA, Castro-Espinoza L, Lares-Villa F, Cortes-Jiménez JM, Santos-Villalobos S (2018). Microorganismos promotores de crecimiento vegetal con yeso agrícola en papa (*Solanum tuberosum* L.) bajo casa sombra. Agrociencia 52(8): 1149-1159.

Makarov MI, Malysheva TI, Kadulin MS, Verkhovtseva NV, Sabirova RV, Lifanova VO, Zhuravleva AI, Karpukhin MM (2020). The effect of ericoid mycorrhizal and ectomycorrhizal plants on soil properties of grass meadow in tundra of the Khibiny Mountains. Eurasian Soil Science 53(5): 569-579. https://doi.org/10.1134/S1064229320050087.

Mohamed I, Eid KE, Abbas MHH, Salem AA, Ahmed N, Ali M, Shah GM, Fang C (2019). Use of plant growth promoting Rhizobacteria (PGPR) and mycorrhizae to improve the growth and nutrient utilization of common bean in a soil infected with white rot fungi. Ecotoxicology and Environmental Safety 171: 539-548. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.12.100.

Niazian M, Sadat-Noori SA, Tohidfar M, Galuszka P, Mortazavian SMM (2019). Agrobacterium-mediated genetic transformation of ajowan (*Trachyspermum ammi* L.) Sprague): An important industrial medicinal plant. Industrial Crops and Products 132: 29-40. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.02.005.

Parihar M, Chitara M, Khati P, Kumari A, Mishra PK, Rakshit A, Rana K, Meena VS, Singh AK, Choudhary M, Bisht JK, Ram H, Pattanayak A, Tiwari G, Jatav SS (2020). Arbuscular mycorrhizal fungi: abundance, interaction with plants and potential biological applications. En: Advances in Plant Microbiome and Sustainable Agriculture: Diversity and Biotechnological Applications (Eds. A.N. Yadav, A.A. Rastegari, N. Yadav, y D. Kour), pp. 105-143. Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-15-3208-5_5.

Ramírez Monsalve JM, Cortes Rodríguez M, Hincapié Llanos CA (2019). Optimization of the process of freeze-drying and comparison with convective drying of Russian tarragon (*Artemisia dracunculus* L.). Acta Agronómica 68(3): 167-174. https://doi.org/10.15446/acag.v68n3.75296.

Riahi L, Cherif H, Miladi S, Neifar M, Bejaoui B, Chouchane H, Masmoudi AS, Cherif A (2020). Use of plant growth promoting bacteria as an efficient biotechnological tool to enhance the biomass and secondary metabolites production of the industrial crop *Pelargonium graveolens* L'-Hér. Under semi-controlled conditions. Industrial Crops and Products 154: 112721. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112721.

Rivera RA, Martin GM, Simó JE, Pentón G, Garcia-Rubido M, Ramirez JF, Gonzalez PJ, Joao JP, Ojeda L, Tamayo-Aguilar Y, Bustamante C (2020). Benefits of joint management of green manure and mycorrhizal inoculants in crop production. Tropical and Subtropical Agroecosystems 23(3): 1-18.

Steiner AA (1984). The universal nutrient solution. 6 International Congress on Soilless Culture, 29 Apr-5 May de 1984, Lunteren, Netherlands, pp. 633-650.

Tamayo-Aguilar Y, Juarez-Lopez P, Capdevila-Bueno W, Lescaille-Acosta J, Terry-Alfonso E (2020). Bioproductos en el crecimiento y rendimiento de *Phaseolus vulgaris* L. var. Delicia 364. Terra Latinoamericana 38(3): 667-678. https://doi.org/10.28940/terra.v38i3.672.

Tian L, Lin X, Tian J, Ji L, Chen Y, Tran L, Tian C (2020). Research advances of beneficial microbiota associated with crop plants. International Journal of Molecular Sciences 21(1792): 2-18. https://doi.org/10.3390/ijms21051792.

Vafadar F, Amooaghaie R, Otroshy M (2014). Effects of plant-growth-promoting rhizobacteria and arbuscular mycorrhizal fungus on plant growth, stevioside, NPK, and chlorophyll content of *Stevia rebaudiana*. Journal of Plant Interactions 9(1): 128-136. https://doi.org/10.1080/17429145.2013.779035.

Villarreal-Delgado MF, Villa-Rodríguez ED, Cira-Chávez LA, Estrada-Alvarado MI, Parra-Cota FI, De los Santos-Villalobos S (2018). El género *Bacillus* como agente de control biológico y sus implicaciones en la bioseguridad agrícola. Revista Mexicana de Fitopatología 36(1): 95-130. https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.1706-5.

Villegas Espinoza JA, Briseño Ruíz SE, Aguilar García M, Sosa y Silva Carballo RA (2013). Guía de cultivo de tarragón francés. Edit. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. La Paz, Baja California sur, México. 30 pp.

Zengin G, Mollica A, Aumeeruddy MZ, Rengasamy KRR, Mahomoodally MF (2018). Phenolic profile and pharmacological propensities of *Gynandriris sisyrinchium* through *in vitro* and *in silico* perspectives. Industrial Crops and Products 121: 328-337. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.05.027.

(Aceptado para publicación el 23 de agosto de 2021)

Impacto del modo de transporte al matadero (mezcla o no mezcla con animales extraños) de terneros de las razas Asturiana de los Valles y Retinta en los atributos físico-químicos y organolépticos de carne madurada. Aceptabilidad y preferencia de los consumidores

Sol Zamuz[1], Susana García-Torres[2], María Cabeza de Vaca[2], David Tejerina[2], Alberto Ortiz[2], Mamen Oliván[3,4], Verónica Sierra[3,4], Yolanda Diñeiro[3,4], Miguel A. Sentandreu[5], María López-Pedrouso[6], Laura Purriños[1], José M. Lorenzo[1,7] y Daniel Franco[1,*]

[1] Centro Tecnológico de la Carne de Galicia, Av. de Galicia nº 4, Parque Tecnológico de Galicia, San Cibrao das Viñas, Ourense, España
[2] CICYTEX (Centro de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de Extremadura), Junta de Extremadura. Ctra. A-V, Km372, 06187 Guadajira, España
[3] Área de Sistemas de Producción Animal, Servicio Regional de Investigación y Desarrollo Agroalimentario (SERIDA), Ctra. AS-267, PK 19, 33300, Villaviciosa, Asturias, España
[4] ISPA (Instituto de Investigación Sanitaria del Principado de Asturias), Avda. Roma s/n, 33011 Oviedo, España
[5] Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos (CSIC), Avenida Agustín Escardino 7, Paterna, 46980 Valencia, España
[6] Departamento de Zoología, Genética y Antropología Física, Universidad de Santiago de Compostela, 15872 Santiago de Compostela, España
[7] Área de Tecnología de los Alimentos, Facultad de Ciencias de Ourense, Universidad de Vigo, 32004 Ourense, España

Resumen

La maduración es uno de los principales factores que influyen en las características organolépticas de la carne y en su aceptabilidad. El objetivo de este trabajo fue estudiar en dos momentos del proceso de maduración (7 días y 14 días), la variación de los atributos físico-químicos y organolépticos de la carne de terneros de las razas Asturiana de los Valles y Retinta con diferentes manejos pre-sacrificio (mezcla y no mezcla con animales desconocidos). Se llevó a cabo un análisis sensorial descriptivo con un panel entrenado y se analizó la aceptabilidad y la preferencia por la carne madurada de estas dos razas con 75 consumidores, así como un estudio sobre los factores que influyen en la decisión de compra de este

* Autor para correspondencia: danielfranco@ceteca.net

Cita del artículo: Zamuz S, García-Torres S, Cabeza de Vaca M, Tejerina D, Ortiz A, Oliván M, Sierra V, Diñeiro Y, Sentandreu MA, López-Pedrouso M, Purriños L, Lorenzo JM, Franco D (2022). Impacto del modo de transporte al matadero (mezcla o no mezcla con animales extraños) de terneros de las razas Asturiana de los Valles y Retinta en los atributos físico-químicos y organolépticos de carne madurada. Aceptabilidad y preferencia de los consumidores. ITEA-Información Técnica Económica Agraria 118(2): 213-238. https://doi.org/10.12706/itea.2021.021

tipo de carne. La raza y la mezcla de animales antes del sacrificio afectaron significativamente a la dureza instrumental. La intensidad de los atributos relacionados con la textura presentó diferencias significativas entre las muestras estudiadas a los 7 días de maduración, con un aumento de la terneza, jugosidad y fibrosidad, mientras que a los 14 días de maduración también mostraron diferencias significativas el olor y flavor a vacuno, el flavor a hígado y la untuosidad. Los resultados indicaron que los atributos organolépticos van cambiando de intensidad a medida que evoluciona la maduración, por lo tanto, podemos concluir que los atributos terneza, jugosidad, untuosidad, fibrosidad, olor y flavor a vacuno y flavor a hígado, que presentaron diferencias significativas entre las muestras, podrían ser considerados indicadores sensoriales de maduración. El tipo de transporte pre-sacrifcio (con o sin mezcla con animales desconocidos) también influyó en la intensidad de los atributos sensoriales, pero de manera menos notable que el efecto raza. También se observó que los consumidores prefieren la carne de la raza Asturiana de los Valles madurada 14 días, aunque entre los factores que más influyen en la decisión de compra de la carne no está el tiempo de maduración. En cuanto a los hábitos de compra, se observó una relación entre el formato de compra de la carne y el lugar de compra. En general, es necesario promover un mayor conocimiento entre los consumidores sobre la importancia de la maduración en la calidad de la carne de vacuno.

Palabras clave: Razas autóctonas, transporte pre-sacrificio, QDA, análisis hedónico, preferencia, decisión de compra y hábitos de consumo.

Impact of the pre-slaughter transport (mixing or no mixing with unfamiliar animals) of calves of Asturiana de los Valles and Retinta breeds on physicochemical and organoleptic attributes of the ageing meat. Consumers' acceptability and preference

Abstract

As ageing process is one of the main factors influencing the organoleptic characteristics of meat and its consumer acceptability, the objective of this research was to study the organoleptic attributes variation of meat from Asturiana de los Valles and Retinta breeds at two times of the ageing process (7 and 14 days) under different pre-slaughter transport conditions (mixing and non-mixing with unfamiliar animals). A descriptive sensory analysis was carried out with a trained panel and the acceptability and preference for ageing meat of these two breeds were analysed with 75 consumers, as well as a study on the factors that influence the purchase decision to this type of meat. The breed and mixing with unfamiliar animals before slaughter affected significantly at instrumental tenderness. The intensity of the attributes related to the texture showed significant differences among studied samples at 7 days of ageing, with an increase in tenderness, juiciness and fibrousness while at 14 days of ageing, odour, beef flavour, liver flavour and smoothness also showed significant differences. The results indicated that the organoleptic attributes changed in intensity during ageing time, therefore, we can conclude that the attributes of tenderness, juiciness, smoothness, fibrousness, odour, beef flavour and liver flavour showed significant differences among samples and could be considered sensory indicators of ageing. The type of pre-slaughter transport (with or without mixing with unknown animals) also influenced the intensity of the sensory attributes, but less markedly than the breed effect. It was also observed that consumers prefer the meat of the Asturiana de los Valles breed aged for 14 days, despite among the factors that most influence the meat purchase decision, the ageing time was not present. Regarding purchasing habits, a relationship was observed between the meat purchase format and sale point. Overall, it is necessary to promote greater knowledge among consumers about the importance of ageing in beef quality.

Keywords: Autochthonous breeds, pre-slaughter transport, QDA, hedonic analysis, preference, purchase decision and consumption habits.

Introducción

La industria cárnica debe innovar dando respuesta a las preferencias de los consumidores para ser competitiva y sostenible. Para esta industria es esencial conocer detalladamente cuáles son los atributos de calidad más importantes para la carne de vacuno y qué hacer para mejorarlos (Troy y Kerry, 2010). Las características organolépticas y sensoriales de la carne de vacuno importantes para el consumidor, como el color, la capacidad de retención de agua y la terneza, dependen de muchos factores, tanto intrínsecos del producto como extrínsecos, que no siempre son fáciles de controlar ni de evaluar.

Son muchos los trabajos que se han llevado a cabo para estudiar la calidad sensorial de la carne y los factores que pueden afectarla (Sierra *et al*., 2010; Oliván *et al*., 2013; Gomes *et al*., 2014; Pagliarini *et al.,* 2016), siendo uno de los más importantes la raza (Albertí *et al*., 2008; Campo *et al.,* 1999). También se ha comprobado cómo diferentes factores de manejo como el sistema de producción, el tipo de transporte hacia el matadero (con o sin mezcla con animales desconocidos) así como las condiciones de estancia en el matadero previas al sacrificio (Miranda-de la Lama, 2013a,b; Villarroel *et al*., 2013; López-Pedrouso *et al*., 2020) influyen sobre estas características organolépticas. El ganado, en su manejo habitual, experimenta cierto nivel de estrés antes del sacrificio, lo que puede generar un efecto negativo sobre la calidad de la carne. Ferguson y Warner (2008) afirman que el impacto del estrés pre-sacrificio es más importante de lo que se cree en la calidad de la carne en los rumiantes y por lo tanto, se subestima. La magnitud de este efecto dependerá del tipo y la duración del factor estresante, así como de la susceptibilidad del animal ante los factores estresantes y su capacidad de respuesta. Los principales factores estresantes antes del sacrificio del animal se deben al tipo de manejo en la granja y al contacto de los animales con los humanos (Ponnampalam *et al*., 2017), al transporte y sus características (duración, distancia, tipos de conducción y vehículos, así como a las condiciones climáticas durante el mismo) (Tadich *et al*., 2005), al cambio a un entorno desconocido, a la falta de agua y alimentos y también a cambios en la estructura social del animal (separaciones y mezclas con animales desconocidos) (Mach *et al*., 2008a). Como resultado de estos factores, el animal sufre miedo, deshidratación y nerviosismo, lo que provoca un aumento de la actividad física, fatiga y, en consecuencia, una disminución de las reservas de glucógeno en el músculo que puede provocar una disminución de la calidad de la carne (Bethancourt-García *et al*., 2019; Loudon *et al*., 2019). Sin embargo existe poca bibliografía a este respecto en lo referente al efecto negativo que tiene la mezcla con individuos extraños sobre la calidad final del producto (Ferguson y Warner, 2008; Mach *et al*., 2008b; Peña *et al*., 2014; López-Pedrouso *et al*., 2020).

Por otra parte, terneza, jugosidad y sabor son los atributos de calidad más importantes en carne bovina (López-Pedrouso *et al*., 2020) los cuales mejoran con la maduración, principalmente la terneza, siendo este el atributo más apreciado por el consumidor, hasta el punto de poder influir en futuras compras (García-Torres *et al.,* 2016). La maduración de la carne en vacuno es recomendable, por lo que esta carne no se debería consumir tras el sacrificio del animal, sino que tendría que ser sometida a un periodo más o menos largo de maduración durante el cual se van adquiriendo los niveles óptimos de estos atributos de calidad. La terneza está muy influenciada por factores inherentes al animal, como su genética, el sexo, la raza, el peso al sacrificio, etc., pero también por factores extrínsecos pre-sacrifico como el sistema de producción (Panea *et al*., 2018) y el manejo *antemorten* (Villarroel *et al*., 2003), así como la posterior manipulación *postmorten* de las canales en

matadero (Huff-Lonergan *et al*., 1996; Koohmaraie, 1996). Además de la terneza, durante el proceso de transformación del músculo en carne también se desarrollan el aroma y el flavor de la misma y se mejora su jugosidad (Oliván *et al*., 2013). Según estos autores, todo esto ocurre tras un periodo óptimo de maduración, que es un proceso básicamente enzimático, el cual va a depender del tipo de maduración y de las características musculares de la carne, que son diferentes según el corte y la categoría comercial. Según Vitale (2016) el tiempo mínimo de maduración para las categorías comerciales de carne en España es de 5 días para la categoría Ternera y 7 días para las categorías Añojo, Buey y Vaca.

En España están reconocidas varias razas autóctonas de ganado bovino (BOE, 2019), entre las que se encuentran la Asturiana de los Valles (en adelante, AV) y la Retinta (en adelante, RE), las cuales presentan características organolépticas diferenciadas de las razas de fomento. En este sentido son menos los trabajos acerca de la calidad sensorial de estas razas (Ruiz *et al*., 2006; Sierra *et al*., 2010; Oliván *et al*., 2013; García-Torres *et al*., 2016; Panea *et al*., 2016 y 2019) que los encontrados acerca de la calidad nutricional. Así, teniendo en cuenta tanto que la demanda de carne de calidad *Premium* de vacuno de razas autóctonas es cada vez mayor (MERCASA, 2019) como la importancia del proceso de maduración en las características organolépticas de la carne, se hace necesario avanzar en la búsqueda de indicadores sensoriales, que permitan conocer la susceptibilidad de las razas estudiadas al estrés pre-sacrificio y reconocer los atributos organolépticos durante el proceso de maduración.

Por ello, se decidió estudiar el efecto del transporte con y sin mezcla con animales desconocidos sobre diferentes atributos sensoriales de carne de dos razas autóctonas (AV y RE), medidos en dos momentos a lo largo del proceso de maduración (7 días y 14 días). El estudio se completó con un análisis hedónico para conocer la aceptabilidad y la preferencia de los consumidores por estos tipos de carne y con un estudio de los factores que influyen en la decisión de compra de la carne de ternera.

Material y métodos

Animales y selección de muestras

Se utilizaron un total de 48 animales machos, 24 de la raza autóctona Asturiana de los Valles criados en la finca experimental La Mata (Grado) del Servicio Regional de Investigación y Desarrollo Agroalimentario del Principado de Asturias (SERIDA) y 24 de la raza autóctona Retinta criados en la Finca Valdesequera perteneciente al Centro de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de Extremadura (CICYTEX). Todos los animales fueron machos enteros, destetados con un peso aproximado de 220 kg y fueron engordados en un sistema de producción intensivo. Los animales se mantuvieron en corrales y consumieron una media de 7 kg/animal/día de concentrado (84 % harina de cebada, 10 % harina de soja, 3 % grasa, 3 % minerales, vitaminas y oligoelementos) más 2 kg de paja al día. Los terneros fueron sacrificados cuando alcanzaron un peso de 550-580 kg. El diseño experimental para cada una de las razas supuso hacer dos lotes de animales que se engordaron en dos corrales diferentes (2 lotes de terneros AV y 2 lotes de terneros RE). Una vez alcanzado el peso de sacrificio, los animales fueron cargados en el transporte y recibieron un tratamiento diferente en cada uno de los lotes de cada raza. Así, en cada raza, un lote de terneros engordados juntos, fueron mezclados durante el transporte y el tiempo de espera en el matadero antes del sacrificio con animales desconocidos (mezclados, en adelante M) y el otro lote de ter-

neros engordados juntos se transportaron y permanecieron juntos hasta el sacrificio (no mezclados, en adelante NM). La carga y descarga de los animales se realizó de forma tranquila y cuidadosa para evitar estrés adicional. En el matadero, los terneros fueron aturdidos con pistola de perno cautivo y sacrificados de acuerdo a la normativa europea (DOCE, 2009) en mataderos acreditados. Las canales fueron enfriadas durante 24 h en cámara de refrigeración a 2 °C (humedad relativa 98 %) y después de este tiempo se extrajo el músculo *Longissimus thoracis et lumborum* (LTL) de la media canal izquierda de cada uno de los terneros entre la quinta y la décima costilla y se cortaron en seis filetes en sentido cráneo-caudal. El primer filete (de 1,5 cm de grosor) se usó para determinar el pH, color y pérdidas de agua por goteo. El segundo (de 1,5 cm de grosor) se utilizó para evaluar la oxidación lipídica (TBARs) y los cuatro siguientes se emplearon para la determinación de la textura instrumental mediante la prueba de Warner-Bratzler (filetes 3 y 4, de 3,5 cm de grosor cada uno) y para el análisis sensorial (filetes 5 y 6, de 2 cm de grosor cada uno). Los filetes utilizados para la determinación de la oxidación lipídica se envasaron en una bandeja de porexpan 1825-65 recubierta de film plástico retráctil de polipropileno y permeable al oxígeno (1.200 cm^3/m^2 día, a 23 °C y 0 % humedad relativa), se maduraron en condiciones refrigeradas (4 °C) durante 7 días o 14 días en oscuridad y posteriormente se envasaron a vacío en bolsas de polietileno (O_2 permeabilidad, 9,3 mL O_2/m^2/24 h a 0 °C) y fueron conservadas a –80 °C durante un máximo de 30 días hasta su análisis. Las muestras para análisis de textura instrumental y sensorial, transcurridos los correspondientes tiempos de maduración, fueron envasadas al vacío en las condiciones descritas anteriormente antes de ser congeladas y almacenadas a –20 °C hasta su correspondiente análisis.

Determinaciones fisicoquímicas

A las 24 h *postmorten* el pH fue medido en LTL a la altura de la sexta costilla con pH-metro portátil provisto de electrodo de penetración (InLab Solids Go-ISM, Mettler-Toledo S.A.E., Barcelona, Spain).

El color en el espacio CIELAB se midió con un colorímetro portátil (Minolta CM-2300d, Madrid, Spain) utilizando iluminante D65 y observador de 10°. Las medidas se tomaron en tres zonas de la superficie del filete tras una hora de oxigenación al aire (t60) y el resultado final para cada parámetro fue la media de las tres medidas. Se registraron los valores de luminosidad (L*), índice rojo (a*) e índice amarillo (b*). Los parámetros de Chroma o cromaticidad (C*) y tono (h_{ab}) se calcularon de acuerdo con las siguientes expresiones (Franco *et al*., 2009): $C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}}$ y $h_{ab} = \tan^{-1}(b^*/a^*)$.

La capacidad de retención de agua, expresada como pérdidas por goteo (% de exudado) se determinó por duplicado siguiendo la metodología de Honikel (Honikel, 1998) colocando 50 g de carne sobre una rejilla en un recipiente cerrado (recolector de jugo de carne, Sarstedt, Alemania) durante 24 h en refrigeración. El resultado fue la diferencia de peso de las muestras antes y después de 24 h expresado en porcentaje.

Para estudiar la dureza de la carne cocinada, se determinó la fuerza máxima de cizalla con un texturómetro TA XT 2i Texture Analyser de Aname (Stable Micro Systems Ltd., Surrey, UK) con una célula Warner-Bratzler (WB) acoplada. Las muestras fueron descongeladas durante 24 h a 4 °C. Una vez descongeladas, las muestras envasadas a vacío se introdujeron en un baño de agua caliente a 80 °C hasta que alcanzaron una temperatura interna de 75 °C (medida con una sonda Datalogger, Comark, UK). Después se enfriaron sumergiéndolas en agua hasta alcanzar una tempe-

ratura de 18 °C. De cada filete, se obtuvieron ocho paralelepípedos de un 1 cm^2 de sección y 2,5 cm de largo con las fibras en paralelo en todas sus caras, sobre los que se realizó la determinación situando la célula en dirección perpendicular a las fibras musculares (Lepetit y Culioli, 1994). El resultado fue el valor de la carga máxima de cizalla necesaria para el corte de la carne y fue expresada en N/cm^2.

La oxidación lipídica se determinó siguiendo el método de Salih *et al*. (1987) en muestras descongeladas en nevera a 4 °C durante 24 h. Se midió la absorbancia de los extractos obtenidos de las muestras a 532 nm en un espectrofotómetro Cary 60 UV-Vis-NIR, (Agilen). Los valores de las sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico (TBARs) se calcularon a partir de la curva estándar (1,1,3.3-tetraetoxipropano en el 1×10^8 M a un rango de 8×10^8 M) y se expresaron como mg malondialdehído/g carne.

Perfil sensorial con panel entrenado (QDA)

Las sesiones se llevaron a cabo en el Laboratorio de Análisis Sensorial del Centro Tecnológico de la Carne de Galicia (CTC) equipado con cabinas individuales siguiendo el Reglamento UNE-EN ISO 8589:2010/A1:2014 y bajo luz roja (con un flujo luminoso de 500 lm). Se hizo un análisis descriptivo cuantitativo (QDA) con un panel de cata formado por 5 miembros entrenados (UNE-EN ISO 8586:2014) pertenecientes a la plantilla de trabajadores del CTC.

La evaluación sensorial se llevó a cabo sobre cuatro filetes envueltos en papel de aluminio y cocinados simultáneamente en un horno de convección eléctrico con sonda térmica interna precalentado a 180 °C hasta alcanzar una temperatura interna de 70 ˚C. Cada filete fue cortado en 10 trozos de 1,5 cm × 1,5 cm y cada muestra fue envuelta en papel de aluminio y codificada con un número de 3 dígitos elegido aleatoriamente (Macfie *et al*., 1989).

Los catadores valoraron los siguientes atributos: intensidad de olor a vacuno, olor a grasa, flavor a vacuno, flavor a grasa, flavor a hígado y flavor a ácido, terneza, jugosidad, untuosidad, fibrosidad y arenosidad, en una escala lineal estructurada, donde 0 representa la ausencia o la intensidad mínima del atributo y 10 su intensidad máxima. Se realizaron 6 sesiones y en cada sesión a cada catador se le presentaron las 8 muestras (AVNM7d, AVM7d, AVNM14d, AVM14d, RENM7d, REM7d, RENM14d, REM14d) siguiendo un diseño experimental en bloques completos equilibrados, de modo que todos los jueces catan todas las muestras. Las muestras se mantuvieron calientes en un baño de arena y, para evitar el efecto de arrastre, a cada uno de los catadores se les indicó el orden en que deben ir catando cada una de las muestras. Al inicio de la sesión y entre muestras se utilizó agua y pan tostado sin sal para limpiar el paladar.

Cata hedónica

Para conocer el grado de satisfacción de los consumidores por la carne de las razas AV y RE con diferente tiempo de maduración y analizar si el hecho de ser consumidor habitual de un tipo concreto de carne afecta a la aceptabilidad y a la preferencia de los consumidores, se llevó a cabo un estudio hedónico, con tres partes: encuesta de datos sociodemográficos, cata de producto y test de ordenación. Este estudio se desarrolló en el CICYTEX con 75 consumidores en cinco sesiones de 15 participantes. Se requirió que los participantes fueran voluntarios y no tuvieran rechazo a la carne de ternera.

Con el fin de caracterizar la población de estudio, la primera parte de la sesión consistió en la realización de una encuesta mediante la cual se recogieron los datos sociodemográficos, y las características de la población fueron las siguientes: género (mujeres, 57 %; hombres, 43 %), rango de edad (19-35 años,

27 %; 36-50 años, 39 %; 51-65 años, 35 %) y consumidor habitual de carne de ternera (Si, 61 %; No, 39 %). A continuación, los participantes realizaron la cata de la carne cocinada, con la única información de que era carne de lomo de vacuno. Finalmente fueron cuestionados sobre sus hábitos de consumo de este tipo de carne.

Las muestras se cocinaron y codificaron del mismo modo que para el panel de cata entrenado para cada sesión. En este caso, a cada participante se le facilitó un plato con las cuatro muestras (AV7d, AV14d, RE7d y RE14d) codificadas para evaluar. Se proporcionó agua y pan para ayudar a los participantes a limpiar la boca entre las muestras y cada sesión estuvo apoyada por dos asistentes en la sala. Los atributos evaluados fueron el aspecto visual, el olor, la jugosidad, la terneza, el sabor y la valoración global, utilizado para ello una escala hedónica de 9 puntos (1 = me disgusta muchísimo; 9 = me gusta muchísimo) de acuerdo con Meilgaard *et al*. (2007).

En la tercera parte de la sesión, el estudio de la preferencia se realizó mediante un test de ordenación (UNE-ISO 8587:2010/Amd 1:2017) que se basa en pedirle a los consumidores que ordenen las muestras bajo estudio en función de su preferencia tras la valoración global de las muestras, adjudicando la puntuación de 1 a la muestra preferida y 4 la menos preferida.

Evaluación de la decisión de compra de carne de ternera y hábitos de consumo

Para conocer los factores que más tienen en cuenta los consumidores participantes en este estudio a la hora de tomar una decisión sobre la compra de la carne de ternera, los atributos empleados fueron el color de la carne, el precio, el contenido en grasa, la existencia de una marca de calidad (entendida como Indicación Geográfica Protegida, IGP), el tiempo de maduración y el tipo de pieza. Los atributos color, precio, contenido en grasa y marca de calidad fueron escogidos por ser los criterios más importantes que afectan a la percepción de los consumidores respecto a la calidad de la carne de vacuno (Baba *et al*., 2015), mientras que el tiempo de maduración se consideró por ser el objetivo de evaluación de nuestro trabajo. Para llevar a cabo este estudio, a los 75 participantes en la cata hedónica se les entregó una encuesta junto con la ficha de cata y se les pidió que ordenaran estos atributos en función de la importancia que ejercen sobre su decisión de comprar carne de vacuno, de modo que la puntuación 1 es el motivo principal, 2 el siguiente y así sucesivamente. También contaron con la posibilidad de señalar algún otro atributo que no estuviera recogido en la prueba. En esta encuesta también se incluyeron preguntas para, finalmente, estudiar los hábitos de consumo de la carne de vacuno: si eran consumidores habituales de carne de ternera (sí/no), cuál era la frecuencia de consumo de esta carne (≤1 vez/mes; 2-3 veces/mes, 1-2 veces/semana, >2 veces/semana), si era el comprador habitual de carne de su unidad familiar (sí/no), cuál era el formato habitual de compra (al corte o envasado) y el lugar de compra (gran superficie, supermercado o carnicería).

Análisis estadístico

Las diferencias en los parámetros instrumentales fueron examinadas mediante un análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de significación de $\alpha = 0,05$ y se calculó la mínima diferencia significativa (MDS) mediante la prueba de Duncan. Para estudiar si hubo diferencias en los atributos organolépticos de los perfiles sensoriales obtenidos de las puntuaciones del QDA se llevó a cabo un ANOVA de dos vías; el modelo elegido fue aquel que consideró tanto las sesiones como los catadores factores fijos y que tiene en cuenta la interacción producto/juez y considerando un

valor *p*-umbral = 0,1 para filtrar los atributos no discriminantes. Los mapas de atributos a los 7 días y 14 días de maduración se crearon mediante un análisis multivariante de componentes principales (ACP), utilizando los parámetros fisicoquímicos y los atributos organolépticos que presentaron diferencias significativas. Para clasificar a los animales en grupos en función de la raza y el modo de transporte, se hizo un Análisis Discriminante Lineal (AD) usando el método directo ya que se emplearon aquellos atributos sensoriales que mostraron diferencias significativas en cada uno de los puntos de maduración. Las diferencias en la aceptabilidad también fueron estudiadas mediante un ANOVA con un nivel de significación de α = 0,05; en este caso las MDS se calcularon con la prueba de Tukey. Los datos obtenidos de las pruebas de ordenación fueron analizados mediante el test de Friedman asumiendo como factores fijos e independientes las muestras (en la preferencia de las muestras) o los atributos (en la decisión de compra) y los consumidores. Para determinar cuáles fueron los lotes diferentes significativamente se calculó la MDS para un riesgo asumido (α = 0,05). La relación entre los hábitos de consumo y los segmentos poblacionales considerados se determinaron mediante un análisis de tabulación cruzada a través del test de independencia Chi-cuadrado de Pearson (χ^2) y V de Cramer. Los datos fueron analizados utilizando el software XLSTAT 2018.5.52745 (Addinsoft, NY, USA)

Resultados y discusión

Determinaciones fisicoquímicas

Los valores de pH (Tabla 1) resultaron más elevados en las muestras de RE (5,79 y 5,70 para el grupo NM y M, respectivamente) que en las de AV (5,48 y 5,62 para el grupo NM y M, respectivamente) y se encontraron diferencias significativas para el pH entre razas en los grupos NM (5,48 *vs.* 5,79; $p < 0,05$). Los valores de pH encontrados para la raza RE fueron algo más elevados que los encontrados por Panea *et al*. (2016) a las 24 h *post-mortem* (5,55), mientras que los encontrados para AV fueron similares a los indicados por estos mismos autores (5,56). Respecto a las pérdidas por goteo no se observaron diferencias significativas ($p \geq 0,05$) entre las distintas muestras, variando en un rango muy estrecho (1,58 % a 1,70 %). En este caso, los valores encontrados para la raza AV fueron más elevados que los encontrados por Panea *et al*. (2016) que obtuvieron valores del 0,94 %, mientras que para la RE fueron similares (1,85 %). El color de la carne no se puede interpretar usando las variables de forma independiente (Ripoll *et al*., 2012), de manera que para la medición y clasificación del color Albertí *et al.* (2017) consideraron los valores de L*, C* y h_{ab}. Estos autores establecieron una clasificación para la carne de vacuno comercial a partir de estos parámetros basada en cuatro grupos (blanca, rosada, roja y muy roja). De acuerdo con este sistema de clasificación, la carne de las razas AV y RE pertenece al grupo de carne rosada (L*: 36-42; C*: 13-19; $h_{ab:}$ 30-40) y carne roja (L*: 35-39; C*: 20-24; $h_{ab:}$ 19-26), respectivamente.

La textura es uno de los parámetros que mayor modificación sufre durante la maduración de la carne debido a la acción de las enzimas sobre la estructura miofibrilar (Koohmaraie, 1996; Oliván *et al.*, 2013), lo cual es determinante para su calidad. Se observaron diferencias significativas ($p \leq 0,001$) de la dureza instrumental tanto a los 7 días como a los 14 días de maduración entre las distintas muestras. Los valores más elevados de dureza se obtuvieron para los terneros del grupo NM de la raza RE (123,42 N/cm^2 y 118,19 N/cm^2 a los 7 días y 14 días, respectivamente) y los más bajos para los de NM de la raza AV (76,26 N/cm^2 y 67,75 N/cm^2 a los 7 días y 14 días, respectivamente). Los valores de du-

Tabla 1. Valores medios para las características fisicoquímicas (pH, color y pérdidas por goteo) de carne de ternera de raza Asturiana de los Valles (AV) y Retinta (RE) a 24 h *postmorten*. Dureza instrumental (WB) y oxidación lipídica (TBARs) a los 7 y 14 días de maduración.
Table 1. Average values of physicochemical characteristics (pH, color and drip losses) of beef from Asturiana de los Valles (AV) and Retinta (RE) at 24 h postmortem*. Instrumental hardness (WB) and lipid oxidation (TBARs) at 7 and 14 days of ageing.*

	AVNM	AVM	RENM	REM	SEM	*p*
			24 horas			
pH	5,48^{b}	5,62^{ab}	5,79^{a}	5,70^{a}	0,03	0,005
CRA por goteo (%)	1,58	1,61	1,70	1,61	0,07	0,945
L^*_{t60}	39,23^{ab}	41,57^{a}	36,20^{b}	38,34^{b}	0,57	0,010
a^*_{t60}	13,94^{b}	15,85^{b}	19,90^{a}	21,43^{a}	0,62	0,000
b^*_{t60}	13,11^{a}	14,40^{a}	9,43^{b}	10,81^{b}	0,42	0,000
C^*_{t60}	19,73^{b}	21,93^{ab}	22,03^{ab}	24,19^{a}	0,47	0,005
h_{t60}	44,79^{a}	42,71^{a}	25,18^{b}	26,42^{b}	1,64	0,000
			WB (N/cm^2)			
7 días	76,26^{c}	100,00^{b}	123,42^{a}	99,04^{b}	0,42	0,001
14 días	67,75^{b}	77,68^{b}	118,19^{a}	85,68^{b}	0,41	0,000
p	0,063	0,006	0,754	0,129		
Tenderización (%)	10,66^{bc}	20,92^{a}	3,79^{c}	14,13^{ab}	1,50	0,000
			TBARs (mg MDA/kg muestra)			
7 días	0,10	0,09	0,10	0,12	0,01	0,769
14 días	0,34^{a}	0,09^{b}	0,23^{ab}	0,12^{ab}	0,04	0,076
p	0,032	1,000	0,290	0,948		

Valores en la misma fila con diferentes letras indican diferencias significativas; AVNM: Asturiana de los Valles transportada sin animales desconocidos; AVM: Asturiana de los Valles transportada con animales desconocidos; RENM: Retinta transportada sin animales desconocidos; REM: Retinta transportada con animales desconocidos; CRA: capacidad de retención de agua; WB: Warner-Bratzler: TBARs: sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico: SEM: error estándar muestral.

reza fueron en general más bajos, en la carne de la raza AV que en la raza RE aunque no se encontraron diferencias significativas ($p \geq 0,05$) entre AVM y REM a 7 días ni entre REM y cualquier tratamiento de AV a 14 días. Esto puede deberse a que la AV es una raza de tenderización rápida debido a la presencia del fenómeno de hipertrofia muscular en la población (Sierra *et al.*, 2010; Oliván *et al.*, 2013). El hecho de que los valores de dureza instrumental para la raza RE fueran más altos en las muestras NM que en M podría de-

berse a la diferencia de la respuesta a situaciones de estrés *antemortem* relacionadas con el temperamento de la raza Retinta, lo cual como indicaron King *et al.* (2006), podría alterar la proteólisis mediada por las calpaínas, provocando diferencias en la dureza instrumental, aun cuando esta diferencia no sea apreciada a nivel sensorial. Se necesitarían más estudios relativos a condiciones de transporte *antemortem* para confirmar estos resultados. La carne de la raza AV presentó mayor porcentaje de tenderización que la de la raza RE entre los 7 días y los 14 días de conservación, siendo este porcentaje (diferencia porcentual entre la dureza a los 14 días respecto a la dureza a los 7 días) superior en el tratamiento de mezcla en ambas razas (20,92 % AVM *vs.* 10,66 % AVNM; 14,13 % REM *vs.* 3,79 % RENM), posiblemente porque los animales de estos tratamientos de mezcla produjeron carne más dura a los 7 días, lo cual podría mostrar un retardo del metabolismo muscular *postmortem* debido al estrés, en particular un retardo de los procesos proteolíticos durante los primeros 7 días. Se ha demostrado que en las carnes DFD (relacionadas con situaciones de estrés animal) el proceso de tenderización de la carne se ve perjudicado por la mayor activación en el tejido muscular de fenómenos de supervivencia y muerte celular (autofagia y apoptosis) en las primeras horas *postmortem*, lo que parece producir una ralentización de la apoptosis y un retardo de la actividad proteolítica (Díaz-Luis *et al*., 2021).

Durante la maduración puede haber cambios indeseables como son los procesos de la oxidación (Franco *et al*., 2012). Sin embargo, en el presente estudio no se encontraron diferencias significativas ($p \geq 0,05$) entre las diferentes muestras en los valores de TBARs a los 7 días ni a los 14 días de maduración (Tabla 1), por lo que ni la raza ni el modo de transporte de los animales va a afectar a la oxidación de la grasa. Los valores de TBARs encontrados a los 7 días fueron similares a los encontrados a los descritos por otros autores en animales similares (López-Pedrouso *et al*., 2020) mientras que los obtenidos a los 14 días para AVMN y REMN fueron más elevados que los descritos por dichos autores, lo cual podría deberse a que las muestras fueron envasadas a vacío durante el periodo de maduración, mientras que en el presente trabajo las muestras mantuvieron contacto con el oxígeno durante la maduración. Nuestros valores de TBARS fueron ligeramente inferiores a los encontrados por Realini *et al.* (2004) con terneros novillos de raza Hereford criados en dos sistemas (pasto *vs.* concentrado) y a los señalados por Franco *et al.* (2012) con filetes de Rubia Gallega provenientes de diferentes dietas de acabado. Por otro lado, cuando se estudió si existe diferencia entre los dos tiempos de maduración, se observó que no había variación en el grado de oxidación lipídica para las muestras del grupo M, independientemente de la raza, mientras que en las muestras del grupo MN sí se produjo un aumento de los valores de TBARs a los 14 días de maduración, el cual fue solamente significativo ($p < 0,05$) para la raza AV. En cualquier caso, los valores fueron bajos, sin llegar en ninguna de las muestras a aproximarse al valor de 2 mg MDA/kg carne, considerado el umbral de detección de la ranciedad para la carne bovina (Campo *et al*., 2006).

Análisis organoléptico

Perfil sensorial (QDA)

El QDA es uno de los métodos más completos usado para la caracterización sensorial ya que proporciona una descripción completa de las propiedades organolépticas (Gomes *et al*., 2014). A partir de los datos obtenidos en el QDA se elaboraron los perfiles sensoriales de los cuatro grupos de muestras en los dos puntos de maduración estudiados (Figura 1). A los 7 días de maduración sólo

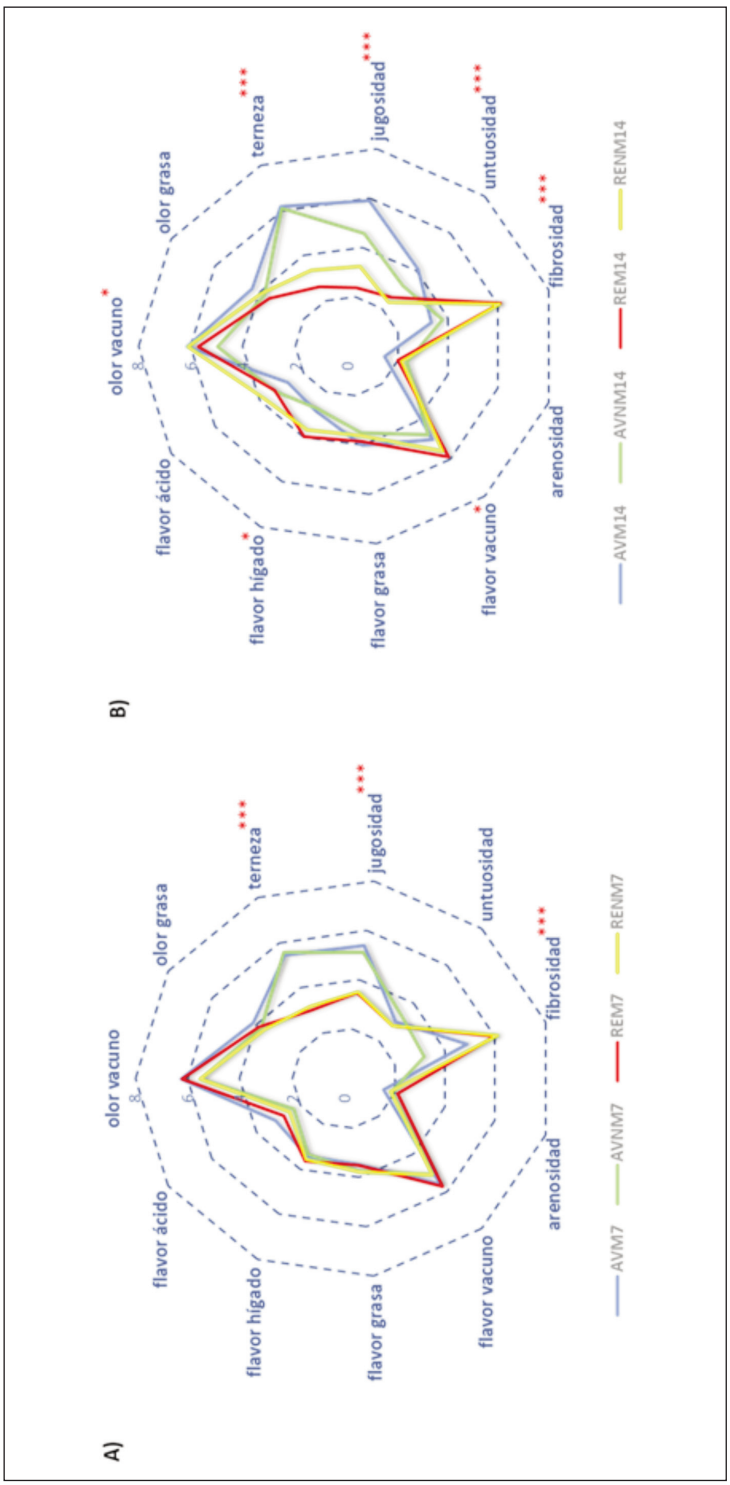


Figura 1. Perfiles sensoriales obtenidos a partir del análisis cuantitativo descriptivo de carne de ternera de raza AV y RE a los 7 (A) y 14 (B) días de maduración.

AVNM: Asturiana de los Valles transportada sin animales desconocidos; AVM: Asturiana de los Valles transportada con animales desconocidos; RENM: Retinta transportada sin animales desconocidos; REM: Retinta transportada con animales desconocidos.

Figure 1. Sensory profiles obtained from the descriptive quantitative analysis of beef from AV and RE breed at 7 (A) and 14 (B) days of ageing.

hubo diferencias significativas en los parámetros relacionados con la textura (terneza, jugosidad y fibrosidad; $p < 0,001$), mientras que a los 14 días además de en estos tres atributos también se observaron diferencias para la untuosidad ($p < 0,001$), el olor a vacuno, el flavor a hígado y el flavor a vacuno ($p < 0,05$). Esto indica que durante el proceso de maduración no todos los atributos sensoriales se modifican al mismo tiempo ni de la misma manera (Campo *et al*., 1999). Durante el proceso de maduración tienen lugar reacciones de oxidación que originan compuestos responsables del aroma y del flavor característico de la carne (Mottram, 1998; Panea *et al*., 2019), por lo que períodos de maduración más prolongados proporcionan aromas más intensos (Ruíz *et al*., 2006). Esta evolución sensorial además de verse afectada por el tiempo de maduración también se vio influenciada por la raza y el modo de transporte pre-sacrificio de los terneros. Otros autores (Campo *et al.,* 1999; Oliván *et al*., 2013) ya demostraron cómo los factores productivos y el genotipo puede influir en los atributos sensoriales de la carne de vacuno y en su modificación durante la maduración, y la dominancia social afecta a los atributos sensoriales (Miranda-de la Lama *et al*., 2013b). A los 7 días de maduración se observó que las muestras que presentaron mayor terneza y jugosidad y menor fibrosidad fueron las de raza AV y, dentro de esta raza, las pertenecientes al grupo AVNM fueron las menos fibrosas. En este primer punto de maduración, no se observó efecto ($p \geq 0,05$) del tipo de transporte en la terneza ni en la jugosidad en la raza AV, ni tampoco en la raza RE para ninguno de los tres atributos. La raza AV fue la que obtuvo mayores valores de intensidad para la terneza y la jugosidad y la untuosidad a los 14 días de maduración y valores más bajos para la fibrosidad, intensidad de flavor a vacuno y de flavor a hígado. En este momento de la maduración, para esta raza la intensidad de los atributos jugosidad, untuosidad y olor a vacuno fue más alta para la carne del grupo M que para la del grupo NM, mientras que en la raza RE el efecto fue el inverso, con mayor intensidad para terneza y jugosidad en las muestras RENM que en las REM. Respecto al olor a vacuno, fue más intenso en AVM que en AVNM. Según Campo *et al.* (1999), el olor a vacuno puede ser debido a la degradación de los compuestos nitrogenados que tiene lugar durante la maduración.

Cuando se analizó el tipo de transporte presacrificio se observó que las diferencias en las intensidades de los atributos que mostraron diferencias significativas no fueron tan importantes como las debidas al efecto raza. Esto podría ser debido a que el grado de estrés al que fueron sometidos los animales mezclados durante el transporte no fue suficiente para mostrar variaciones en los atributos sensoriales detectables por los catadores. Los resultados obtenidos concuerdan con el hecho de que las razas que presentan hipertrofia muscular como la AV, no necesitan periodos de maduración tan largos para alcanzar su punto óptimo de maduración como otras más rústicas, como puede ser la RE (Campo *et al.,* 1999; Piedrafita *et al*., 2003; Sierra *et al*., 2010; Oliván *et al*., 2013).

Mapa de atributos

Los mapas de atributos a los 7 días y 14 días (Figura 2) fueron obtenidos mediante ACP (aplicando una rotación Varimax) con aquellos parámetros que presentaron diferencias significativas en la dureza instrumental y los atributos sensoriales del QDA. Reis *et al*. (2013) consideran que para que un ACP se pueda considerar válido los dos primeros componentes (F1 y F2) tienen que acumular un porcentaje de varianza igual o mayor del 70 %. En el presente estudio, para el mapa de atributos a los 7 días de maduración, ambas funciones (F1 y F2) explicaron el 97,72 % de la variabilidad total y el 94,01 % a los 14 días. En ambos casos las muestras queda-

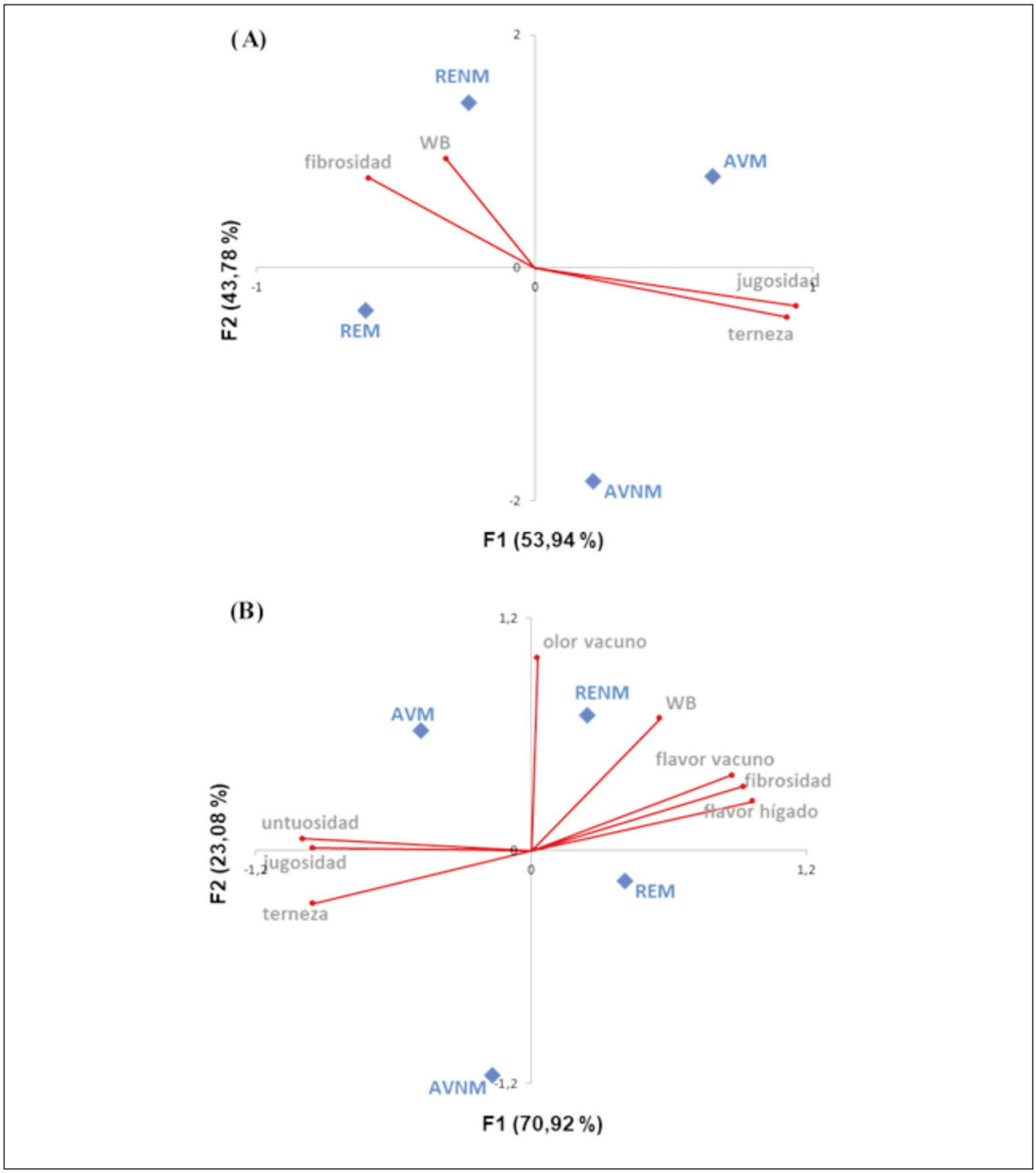


Figura 2. Mapa de atributos de carne de ternera de raza AV y RE a los 7 (A) y 14 (B) días de maduración. AVNM: Asturiana de los Valles transportada sin animales desconocidos; AVM: Asturiana de los Valles transportada con animales desconocidos; RENM: Retinta transportada sin animales desconocidos; REM: Retinta transportada con animales desconocidos

Figure 2. Meat attribute map of beef from AV and RE breed at 7 (A) and 14 (B) days of ageing.

ron bien diferenciadas. A los 7 días (Figura 2A), la F1 y F2 explicaron el 53,94 % y 43,78 %, de la variabilidad total, respectivamente. La jugosidad y terneza estaban correlacionadas positivamente con el eje 1, mientras la dureza instrumental y la fibrosidad lo estaban con la parte positiva del eje 2. Las muestras del grupo M quedan separadas por los atributos asociados a F1 y las muestras del grupo NM lo hacen por los atributos asociados a F2. A los 14 días (Figura 2B), la F1 explicó el 70,92 % de la variabilidad total y la F2 el 23,08 %. En este punto de maduración, los atributos fibrosidad, flavor a vacuno y flavor a hígado fueron los que estuvieron correlacionados con la parte positiva del eje 1, mientras que la terneza, la untuosidad y la jugosidad lo estuvieron con la parte negativa de dicho eje. En el caso del eje 2, los atributos positivamente correlacionados fueron la dureza instrumental y el olor a vacuno. Del mismo modo que a los 7 días de maduración, también a los 14 días la carne de las muestras del grupo M quedaron separadas por los atributos asociados a F1 y las muestras del grupo NM lo hicieron por los atributos asociados a F2. Este agrupamiento asocia preferentemente los atributos sensoriales relacionados con el olor y flavor a la raza Retinta, mientras los atributos de textura (jugosidad, terneza y untuosidad) tienen más peso en la raza Asturiana. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por otros autores (Campo *et al.,* 1999; Piedrafita *et al*., 2003; Serra *et al*., 2008; Sierra *et al.*, 2010), quienes observaron que la raza influye en las características sensoriales de la carne y que los primeros atributos que cambian durante el proceso de maduración son los relacionados con la textura. En este sentido, hay que señalar que la tenderización depende del genotipo de las razas y se sabe que los ejemplares que presentan doble musculatura dentro de la raza AV tienen un proceso de tenderización más rápido (alcanzando la máxima calidad sensorial entre los 7 días y los 14 días de maduración) que otros genotipos más rústicos que necesitan más tiempo para alcanzar un mayor grado de terneza. La condición de doble musculatura también va a influir en el perfil de ácidos grasos y en sus procesos de oxidación lo cual conlleva diferencias en el olor y en el flavor de la carne (Sierra *et al*., 2010).

Resultados del Análisis Discriminante

El diagrama de dispersión (Figura 3) obtenido del Análisis Discriminante muestra cómo a los 7 días la separación entre los cuatro grupos de muestras no es tan evidente como a los 14 días. A los 7 días las funciones F1 y F2 explicaron el 76,02 % y el 21,26 % de la varianza, respectivamente (97,28 % de la varianza total) y a los 14 días F1 y F2 explicaron el 87,27 % y el 10,27 % de la varianza, respectivamente (97,54 % de la varianza total). Estos resultados indicarían cómo a medida que avanza la maduración las diferencias de los atributos sensoriales se acentúan y factores extrínsecos, como la raza y el transporte previo al sacrificio, van a afectar a las características organolépticas de la carne de vacuno, de modo que permiten clasificar los tipos de carne en función de los grupos estudiados. En trabajos realizados previamente con estas razas (Zamuz *et al*., 2018; López-Pedrouso *et al*., 2020) no se observó un efecto de la mezcla de los terneros con animales desconocidos en el momento previo al sacrificio sobre los atributos sensoriales tan notable como sucede con otros factores como la raza o el sistema de producción. Con los datos obtenidos en este trabajo podemos inferir que el efecto del modo de transportar los animales (mezclados o sin mezclar con otros animales) en los atributos sensoriales es más notable y dependiente de la raza a medida que avanza la maduración que el obtenido en los trabajos anteriormente citados, influyendo en la clasificación de los animales. No tenemos una explicación para este resultado y esto podría deberse a un retardo en el me-

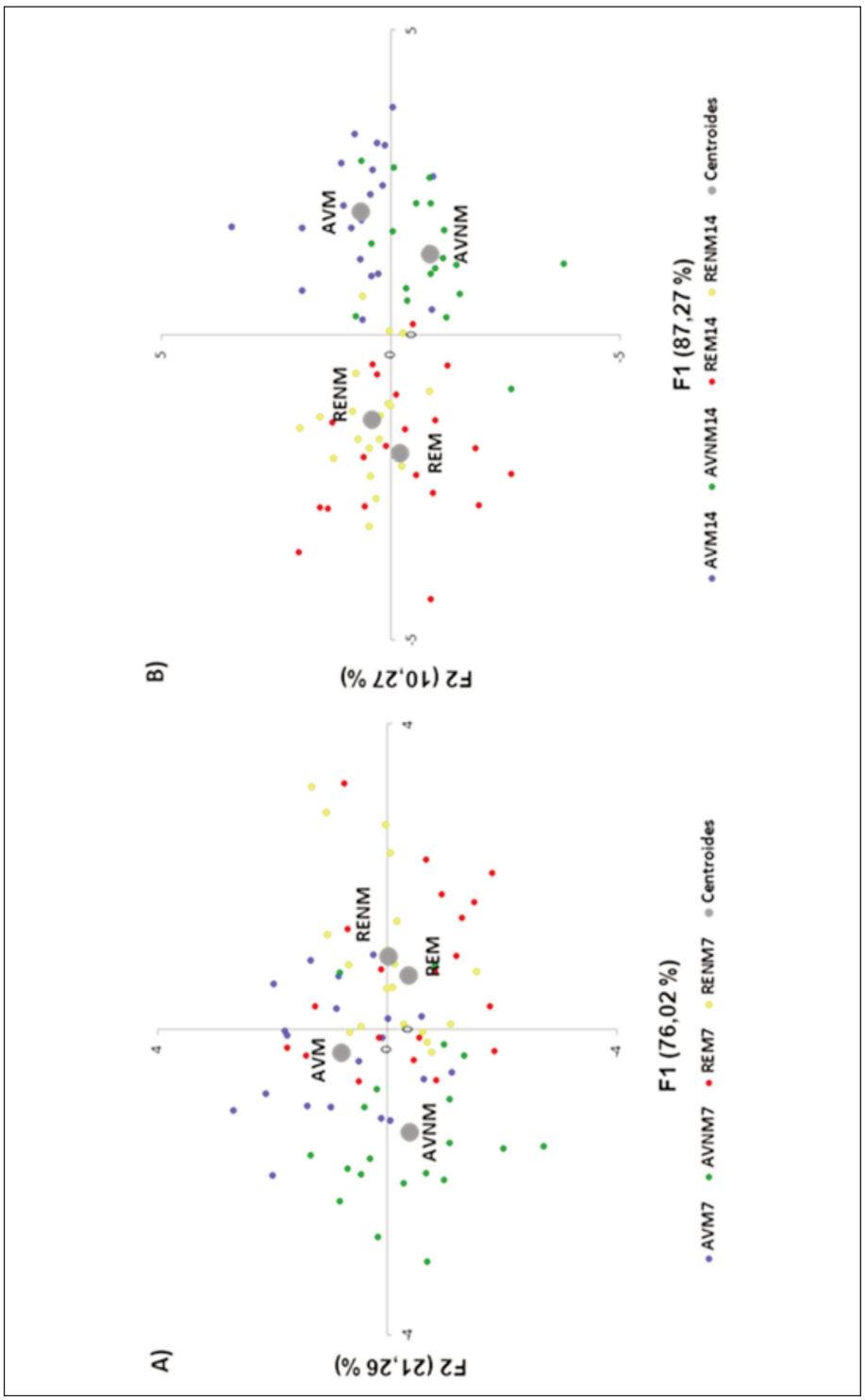


Figura 3. Diagrama de dispersión de carne de ternera de raza AV y RE a los 7 (A) y 14 (B) días de maduración proyectadas en el plano definido por las dos funciones discriminantes canónicas F1 y F2.

AVNM: Asturiana de los Valles transportada sin animales desconocidos; AVM: Asturiana de los Valles transportada con animales desconocidos; RENM: Retinta transportada sin animales desconocidos; REM: Retinta transportada con animales desconocidos.

Figure 3. Scatter diagram of beef from AV and RE breed at 7 (A) and 14 (B) days of ageing projected in the plane defined by the two canonical discriminant functions F1 and F2.

tabolismo muscular *postmortem* debido al estrés. Al hacer la validación cruzada para los casos del análisis, a los 7 días de maduración sólo el 57,5 % de los animales fueron agrupados correctamente, mientras que a los 14 días el porcentaje de animales clasificados en el grupo adecuado subió al 82,5 %. Del total de animales mal clasificados a los 7 días de maduración, el 64,6 % lo estaban en función de la raza y el 82,3 % en función del modo de transporte; sin embargo, a los 14 días de maduración, sólo un 21,4 % de los animales mal clasificados lo estuvieron en función de la raza, mientras que una gran mayoría (92,8 %) se clasificaron mal en cuanto al modo de transporte. La raza tiene mayor peso que el modo de transporte como factor para clasificar correctamente la carne de ternera en función de los atributos sensoriales a lo largo de la maduración.

Cata hedónica

Se llevaron a cabo análisis de aceptabilidad (cata) y de preferencia para conocer el grado de satisfacción de los consumidores por la carne de AV y RE durante la maduración (7 días y 14 días). En estas pruebas no se consideró el efecto del modo de transporte de los animales, sólo la raza y la maduración.

En cuanto a la aceptabilidad de los consumidores, no se apreciaron diferencias significativas ($p \geq 0,05$) a los 7 días de maduración (Figura 4A) para ninguno de los atributos estudiados lo cual indica que la aceptabilidad por la carne de las dos razas es idéntica. A los 14 días de maduración (Figura 4B) sí se observaron diferencias significativas ($p < 0,05$) para la jugosidad, la terneza y la valoración global, con puntuaciones mayores para las muestras de AV. Esto indica que, la aceptabilidad de los consumidores por la carne procedente de una raza u otra se ve influenciada por los cambios que tienen lugar durante la maduración en los atributos sensoriales rela-

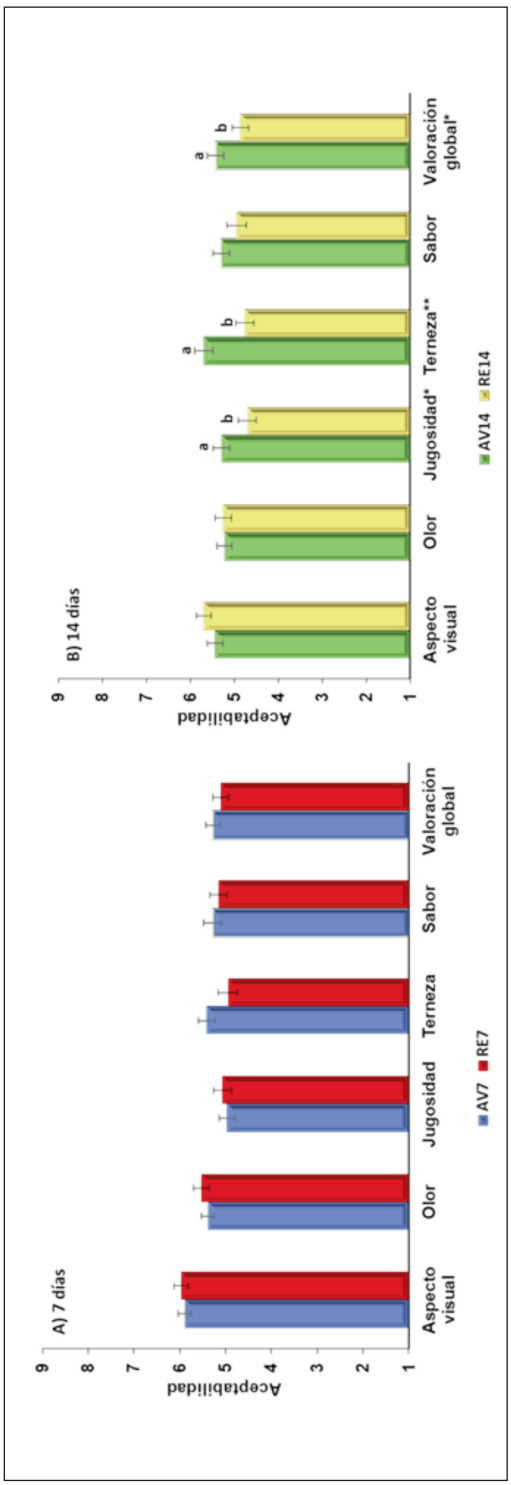


Figura 4. Aceptabilidad de cada uno de los atributos estudiados en carne de ternera de raza Asturiana de los Valles (AV) y Retinta (RE) (media ± ES) a los 7 (A) y 14 (B) días de maduración.
Figure 4. Acceptability of each of the attributes studied of beef from AV and RE breed at 7 (A) and 14 (B) days of ageing.

cionados con la textura y aunque la población participante está más acostumbrada a consumir carne de RE (por tratarse de una raza que está muy asentada en la región de Extremadura), valora más positivamente la carne de AV (propia de la zona de Asturias), en cuanto a aceptabilidad se refiere. Los resultados obtenidos concuerdan con los obtenidos por Sierra *et al*. (2010) quienes no encontraron diferencias significativas para la aceptabilidad de la carne procedente de genotipos que necesitan periodos cortos de maduración y los que necesitan periodos más largos a los 3 días y 7 días de maduración, pero sí encontraron diferencias cuando el tiempo de maduración fue de 14 días y 21 días, existiendo dos grupos de consumidores, los que prefieren carnes con menos tiempo de maduración y otro grupo que prefieren las que tienen más tiempo. Por otro lado, Santolaria *et al*. (1997) encontraron diferencias en la aceptabilidad de las razas AV y RE en muestras maduradas 7 días, obteniendo la AV mayor puntuación. En nuestro estudio, a los 14 días de maduración también fue la raza AV la que obtuvo mayor aceptabilidad global y para los atributos jugosidad y terneza.

Además, las muestras se ordenaron mediante el test de Friedman de la más preferida a la menos preferida como sigue: AV14 (154) ≥ AV7 (183) = RE7 (198) ≥ RE14 (215), donde los números entre paréntesis son el sumatorio (∑) de las puntuaciones, calculado como sumatorio de las puntuaciones adjudicadas por los consumidores a cada uno de los atributos en función de la preferencia de los participantes (UNE-ISO 8587:2010/Amd 1:2017). Con los resultados obtenidos de la prueba de Friedman (F_{test} = 16,07 > $F_{0,05}$ = 7,81) y de la mínima diferencia significativa (MDS = 30,99) se encontraron diferencias significativas, siendo las muestras más preferidas por los consumidores las de AV y existiendo un grupo bien diferenciado entre las AV y las RE con 14 días de maduración (AV14 y RE14). En los trabajos llevados a cabo por Santolaria *et al*. (1997) también la raza AV fue la mejor valorada un mayor número de veces.

Decisión de compra y hábitos de consumo

Los factores que más impacto tuvieron a la hora de decidir qué tipo de carne de ternera comprar se muestran en la Figura 5. El color (37,3 %), seguido del tipo de pieza (22,7 %) fueron los atributos elegidos como motivos clave por los consumidores en el proceso de decisión. El color es el primer atributo evaluado como indicador de calidad y frescura en la carne (Glitsch, 2000). El hecho de que la maduración fuera el factor menos valorado (2,7 %) podría indicar que quizás los consumidores no tienen suficiente información sobre este proceso y su influencia sobre la calidad de la carne, por lo que es necesario fomentar el hecho de que maduraciones correctas son esenciales para poder degustar una carne de ternera con atributos organolépticos óptimos. La calidad es fundamental en la evolución de los mercados de productos agroalimentarios, pero este concepto es complejo y puede tener distintos significados en los diferentes eslabones de la cadena productor-consumidor (Maza y Ramírez, 2006). Estos autores observaron cómo en el sector transformación (mataderos y salas de despiece) ligan el concepto de calidad a las características organolépticas del producto, especialmente los atributos de color, presentación, grasa y terneza. Por otra parte, destacan aspectos como la ausencia de sustancias nocivas, calidad nutricional de la carne como motivo de compra, así como la importancia del origen y alimentación de los animales como factores de importancia para los consumidores (Maza y Ramírez, 2006).

Del resultado de la prueba MDS (Figura 5B) para la ordenación de los factores implicados en la decisión de compra de la carne de ternera se obtuvieron cuatro grupos de atribu-

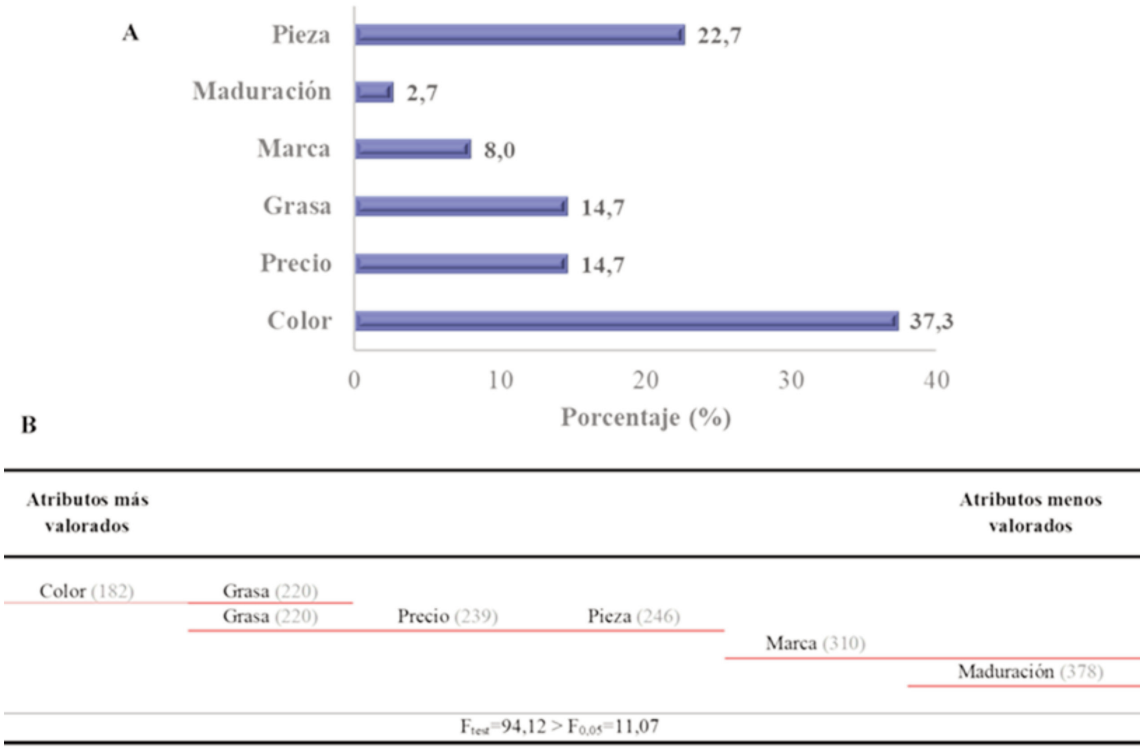


Figura 5. (A) Importancia relativa de los atributos implicados en la decisión de compra de carne de ternera; el porcentaje que se representa es el porcentaje de veces que un atributo es elegido en primer lugar por los consumidores. (B) Ordenación por importancia de los atributos implicados en la decisión de compra de la carne de ternera y resultados de la prueba de Mínima Diferencia Significativa.

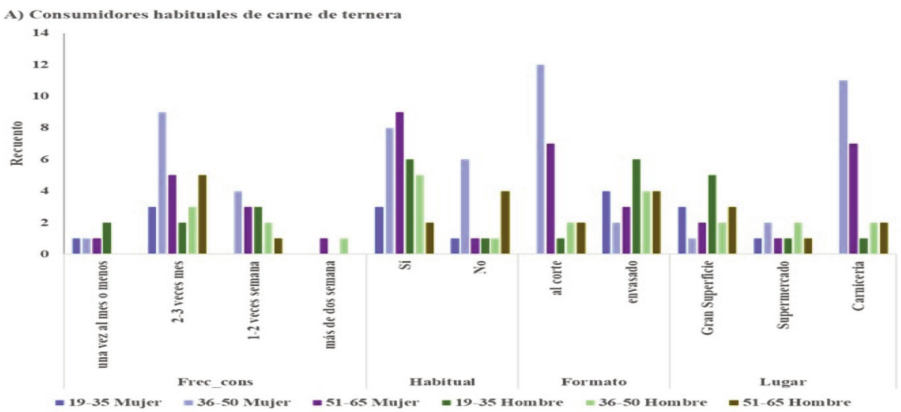
F_{test}: estadístico calculado; $F_{0,05}$: estadístico teórico; Muestras encima de la misma línea no presentan preferencias significativas; muestras en distintas líneas presentan diferencias significativas. Números entre paréntesis son ∑ de las puntuaciones, calculado como sumatorio de las puntuaciones adjudicadas por los consumidores a cada uno de los atributos en función de la preferencia de los participantes (1= muestra más preferida; 4 = menos preferida), según determina la norma UNE-ISO 8587:2010/Amd 1:2017.

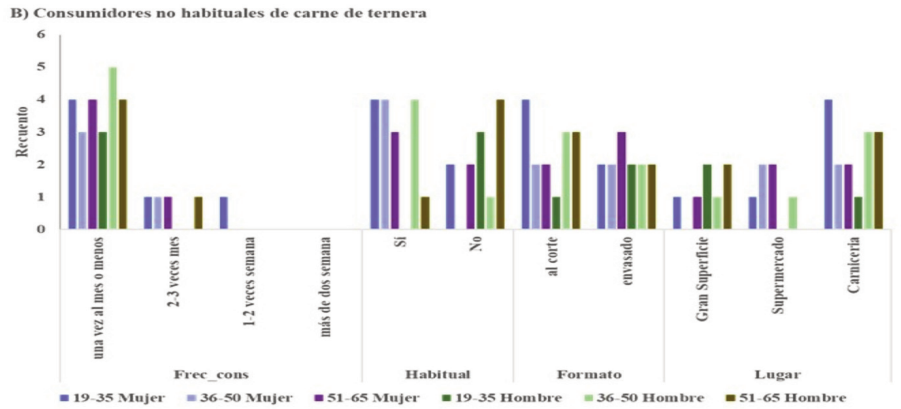
Figure 5. (A) Relative importance of the attributes involved in the decision to purchase veal; The percentage represented is the percentage of times that an attribute is chosen firstly by consumers. (B) Classification by the importance of the attributes involved in the decision to purchase veal and results of the Least Significant Difference test.

tos con diferencias significativas entre ellos según los resultados de la prueba de Friedman ($F_{test} > F_{=0,05}$): el color, que es el factor más importante valorado por los consumidores a la hora de comprar carne de ternera y que no presentó diferencias significativas con el grado de engrasamiento. Por otro lado, el grado de engrasamiento, el precio y el tipo de pieza que tienen una relevancia media y entre ellos tampoco hubo diferencias significativas. El grado de engrasamiento se suele utilizar como predictor de la calidad sensorial en el punto de compra (Sánchez *et al*., 2012) y el precio también está entre los

factores clave en el proceso de elección (Baba *et al*., 2015). Los dos atributos menos valorados y que además presentaron diferencias significativas entre ellos fueron la marca de calidad y la maduración. Además, cuando a los consumidores se les preguntó por otros factores que puedan influir en su decisión de compra de carne de ternera, un 12 % de los participantes indicaron que el lugar de origen de la carne y un 8 % la recomendación del carnicero. En este sentido, Gracia y Pérez y Pérez (2004) observaron que entre los atributos que más afectan al precio de la carne de vacuno, y por tanto a la decisión de compra, están el origen geográfico y el poseer una Denominación de Origen. Hay que tener en cuenta que el consumidor no puede evaluar la mayoría de las características organolépticas de la carne hasta después de la compra por lo que van a utilizar diferentes señales de calidad (intrínsecas o extrínsecas al producto) para tomar sus decisiones de compra (Olaizola *et al*., 2005). En nuestro estudio, propiedades intrínsecas como el color y en engrasamiento fueron los más valorados, y esto coincide con los resultados obtenidos por Henchion *et al*. (2017) en una revisión sobre las perspectivas de los consumidores ante los atributos de calidad de la carne de vacuno.

Finalmente, el estudio de los hábitos de consumo de la carne se llevó a cabo considerando de forma independiente el segmento que consume habitualmente carne de ternera (63 %) del segmento que no lo hace (37 %) (Figura 6). Los resultados de la prueba χ^2 (Figura 6C) indicaron que dentro del grupo de consumidores habituales de carne de ternera sólo hubo una relación significativa ($p < 0,05$) para las variables formato y lugar de compra en el grupo de las mujeres y en el grupo de consumidores no habituales sólo para la variable comprador habitual en el grupo de los hombres. Los hábitos de consumo de carne de ternera quedan reflejados en la Figura 6 (A y B). Dentro del grupo de consumidores habituales se observó que, en cuanto a la frecuencia de consumo, la mayoría de los participantes consumen carne de ternera entre 2 y 3 veces al mes, siendo sólo mayor este consumo en los hombres de edad entre 19 y 35 años donde la frecuencia de consumo es de 1 o 2 veces por semana. Algunos participantes dentro del grupo de mujeres de mayor edad y de hombres entre 36 y 50 años consumen carne de ternera más de 2 veces a la semana. Un estudio llevado a cabo en el año 2017 indicó que el 60 % de la población española consume carne de vacuno al menos una vez a la semana (Pensado-Leglise *et al*., 2018), por lo que el consumo medio del grupo poblacional con el que se llevó a cabo este trabajo es inferior a la media española. Como era esperable en el grupo de consumidores no habituales, la frecuencia de compra mayoritariamente es de una vez al mes o menos. Cuando a los participantes se les preguntó si son ellos los que habitualmente van a hacer la compra, la mayoría contestó que sí, excepto el grupo de hombres de mayor edad (tanto entre los consumidores habituales como no habituales) y los hombres más jóvenes del grupo de consumidores no habituales. En cuanto al formato de compra de la carne de ternera, los dos grupos de mujeres de mayor edad compran mayoritariamente la carne al corte, mientras que en el grupo hombres todos la compran mayoritariamente envasada, excepto los dos grupos de hombres de mayor edad de consumidores no habituales. También se constató que las mujeres consumidoras habituales más jóvenes y todos los hombres consumidores habituales normalmente compran en grandes superficies, mientras que la mayoría de las mujeres consumidoras habituales de los dos grupos de mayor edad, las más jóvenes consumidoras no habituales y los hombres no consumidores habituales, compran en carnicerías. En este punto cabe destacar que los hombres de más edad consumidores habituales compran más en carnicería que en supermercado. Con estos datos se podría decir que, en general, a la mayoría de la población muestral del





C

		Consumidores habituales		Consumidores no habituales	
		Género*Edad		Género*Edad	
		Mujer	Hombre	Mujer	Hombre
Frecuencia de consumo	Valor X^2	4,258	8,158	1,652	1,733
	Sig.	0,642	0,227	0,800	0,420
	V Cramer	0,276	0,463	0,235	0,365
Comprador habitual	Valor X^2	3,115	5,005	2,045	6,24
	Sig.	0,211	0,082	0,360	0,044
	V Cramer	0,334	0,513	0,369	0,693
Formato de compra	Valor X^2	10,512	0,827	0,804	0,66
	Sig.	0,005	0,661	0,669	0,719
	V Cramer	0,613	0,209	0,231	0,225
Lugar de compra	Valor X^2	10,217	2,149	2,025	2,971
	Sig.	0,037	0,708	0,731	0,563
	V Cramer	0,427	0,238	0,260	0,338

Figura 6. Frecuencias absolutas sobre el total de respuestas de los hábitos de compra de carne de ternera en función de los segmentos género*edad para el grupo de consumidores habituales (A) y no habituales (B). (C) Contrastes Chi-cuadrado y V de Cramer para el estudio de los hábitos de consumo de los segmentos poblacionales.

*Figure 6. Absolute frequencies over the total responses of the purchasing habits of beef according to the gender*age segments for the group of habitual (A) and non-habitual (B) consumers. (C) Chi-square and Cramer's V tests for the study of the habits of the population segments.*

presente estudio que le gusta comprar la carne al corte lo hace en carnicerías, mientras que los grupos que compran la carne envasada lo hacen en supermercados o grandes superficies. Pensado-Leglise *et al*. (2018) indicaron que la carnicería de barrio fue el lugar predilecto de los españoles para comprar carne de vacuno y el 90 % de la población prefiere comprar al corte. Uno de los motivos puede ser que los consumidores necesitan confiar en los expertos para formar su propia expectativa sobre la calidad de la carne (Grunert, 1997; Olaizola *et al*., 2005) y consideran que el trato familiar del carnicero les permite obtener de una forma más directa información sobre algunos atributos intrínsecos como pueden ser la raza del animal o el sistema de producción. En la actualidad existe un sistema de trazabilidad y etiquetado obligatorio (DOCE, 2000; DOCE, 2013) que garantiza la identificación y el registro de la carne con cada uno de los animales o grupos de animales de los que procede y su origen (Bermúdez *et al*., 2019). El problema es que toda esta información está codificada en las etiquetas y a veces su comprensión no es fácil para el consumidor, hecho que hace que en general la gente más joven se incline más a comprar en grandes superficies, mientras que la de mayor edad sigue prefiriendo la cercanía con el carnicero. Por otro lado, el ritmo de vida de la sociedad actual también hace que se compre en aquellos establecimientos que permiten abastecer al consumidor de todo lo que necesita.

Conclusiones

De los resultados obtenidos podemos concluir que la raza y el manejo de mezcla de animales antes del sacrificio no afectaron a la oxidación lipídica de la carne, pero sí afectaron significativamente a la dureza instrumental. En cuanto a los atributos organolépticos, estos van cambiando su intensidad a medida que va evolucionando la maduración y no lo hacen por igual en las dos razas evaluadas (AV y RE). Los atributos relacionados con la textura fueron los primeros que mostraron diferencias significativas (a los 7 días de maduración) y posteriormente (a los 14 días), antes que aquellos relacionados con el olor y el flavor. A los 7 días se produjo un aumento de la terneza y de la jugosidad en la raza AV y de la fibrosidad en la RE y a los 14 días la untuosidad aumenta en AV y el olor y flavor a vacuno y el flavor a hígado disminuyen en AV y aumentan en RE. La manera de transportar animales (con o sin mezcla con animales desconocidos) también influyó en la intensidad de los atributos sensoriales, pero de una forma menos notable que la raza. En cuanto a la valoración de los consumidores se observó que las muestras de raza AV maduradas 14 días tuvieron mejor puntuación tanto en aceptabilidad como en preferencia.

El estudio de los hábitos de consumo y en la toma de decisión de compra de carne de ternera no permitió obtener diferencias significativas importantes, por lo que para conocer la tendencia de los consumidores es necesario profundizar más en este tipo de estudios. Se comprobó que los consumidores no consideran la maduración un factor decisivo a la hora de comprar la carne de ternera. Se puede concluir que es necesario un mayor esfuerzo informativo relativo a los parámetros de calidad de la carne, así como a los efectos positivos de una correcta maduración para que los consumidores puedan tener unos conocimientos claros a la hora de elegir carne de vacuno de calidad óptima. También se constató una relación importante entre el género y formato de compra y lugar de compra y considerando el grupo poblacional en conjunto se observó que la mayoría de los participantes compran la carne de ternera al corte y lo hacen en carnicerías.

Agradecimientos

Este trabajo fue financiado por el proyecto RTA 2014-00034-C00 (INIA-AEI) y fondos FEDER. Sol Zamuz está contratada con financiación a cargo de las ayudas para Personal Técnico de Apoyo (PTA2017-14156-I) de la Agencia Estatal de Investigación y Alberto Ortiz quiere agradecer al Fondo Social Europeo y a la Junta de Extremadura por la beca predoctoral (PD16057) concedida. José M. Lorenzo y Daniel Franco son miembros de la red HealthyMeat del programa CYTED (Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, ref 119RT0568). Gracias al GAIN (Agencia Gallega de Innovación, Xunta de Galicia), por la financiación al CTC (IN607A2019/01).

Referencias bibliográficas

Albertí P, Panea B, Sañudo C, Olleta JL, Ripoll G, Ertbjerg P, Christensen M, Gigli S, Failla S, Concetti S, Hocquette JF, Jailler R, Rudel S, Renand G, Nute GR, Richardson RI, Williams JL (2008). Live weight, body size and carcass characteristics of young bulls of fifteen European breeds. Livestock Science 114: 19-30. https://doi.org/10.1016/j.livsci.2007.04.010.

Albertí P, Ripoll G, Albertí C, Panea B (2017). Etude de la couleur des différents types de viande bovine vendus en Espagne. Viandes et Producits Carnés 33: 1-9.

Baba Y, Zallas Z, Pérez-Juan M, Sañudo C, Albertí P, Insausti K, Realini C (2015). Preferencia y aceptabilidad de los consumidores por la carne de vacuno enriquecida en omega-3 y ácido linoleico conjugado en tres ciudades españolas. X Congreso de la Asociación Española de Economía Agraria, 9-11 septiembre, Córdoba, España.

Bermúdez R, Zamuz S, Pateiro M, Lorenzo JM (2019). Plan de trazabilidad global en carnes. En: Marcas de calidad de carne en Iberoamerica: Caribe, Sudamerica y Peninsula Iberica (Ed. Teixeira A y Sañudo C), pp. 259-265. RED MARCARNE, Bragança, Portugal.

Bethancourt-Garcia JA, Vaz RZ, Vaz FN, Silva WB, Pascoal LL, Mendonça FS, Vara CCD, Nuñez AJ, Restle J (2019). Pre-slaughter factors affecting the incidence of severe bruising in cattle carcasses. Livestock Science 222: 41-48. https://doi.org/10.1016/j.livsci.2019.02.009.

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

Campo MM, Sañudo C, Panea B, Alberti P, Santolaria P (1999). Breed type and ageing time effects on sensory characteristics of beef strip loin steaks, Meat Science 51(4): 383-390. https://doi.org/10.1016/S0309-1740(98)00159-4.

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

Díaz-Luis A, Díaz F, Diñeiro Y, González-Blanco L, Arias E, Coto-Montes A, Oliván M, Sierra V (2021). Nuevos indicadores de carnes DFD: estrés oxidativo, autofagia y apoptosis, ITEA-Información Técnica Económica Agraria 117(1): 3-18. https://doi.org/10.12706/itea.2020.006.

DOCE (2000). Reglamento (CE) 1760/2000, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 17 de julio de 2000, que establece un sistema de identificación y registro de los animales de la especie bovina y relativo al etiquetado de la carne de vacuno y de los productos a base de carne de vacuno por el que se deroga el Reglamento (CE) nº 820/97 del Consejo. Diario Oficial de las Comunidades Europeas, núm. 204, de 11 de noviembre de 2000, pp. 1-10.

DOCE (2009). Reglamento CE 1099/2009 del Consejo, de 24 de septiembre de 2009, relativa a la protección de los animales en el momento de su sacrificio o matanza. Diario Oficial de las Comunidades Europeas, núm. 303, de 18 de noviembre de 2009, pp. 19-30.

DOCE (2013). Reglamento de Ejecución (UE) 1337/2013 de la comisión, de 13 de diciembre de 2013, por el que se establecen disposiciones de aplicación del Reglamento (UE) 1169/2011 del Parlamento Europeo y del Consejo en lo que se refiere a la indicación del país de origen o del lugar de procedencia para la carne fresca, refrigerada o congelada de porcino, ovino, caprino y aves de corral. Diario Oficial de las Comunidades Europeas, núm. 335, de 14 de diciembre de 2013, pp.19-22.

Gracia A, Pérez y Pérez L (2004). Factores determinantes del precio de la carne de ternera: un análisis hedónico. Economía Agraria y Recursos Naturales 4(8): 87-104. http://dx.doi.org/10.22004/ag.econ.28777.

Ferguson DM, Warner RD (2008). Have we underestimated the impact of pre-slaughter stress on meat quality in ruminants? Meat Science 80: 12-9. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2008.05.004.

Franco D, Bispo E, González L, Vázquez JA, Moreno T (2009). Effect of finishing and ageing time on quality attributes of loin from the meat of Holstein-Fresian cull cows. Meat Science 83(3): 484-491. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2009.06.030.

Franco D, González L, Bispo E, Latorre A, Moreno T, Sineiro J, Sánchez M, Núñéz MJ (2012). Effects of calf diet, antioxidants, packaging type and storage time on beef steak storage. Meat Science 90(4): 871-880. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2011.10.008.

García-Torres S, López-Gajardo A, Mesías FJ (2016). Intensive *vs*. free-range organic beef. A preference study through consumer liking and conjoint analysis. Meat Science 114: 114-120. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2015.12.019.

Glitsch K (2000). Consumer perceptions of fresh meat quality: cross-national comparison. British Food Journal 102(3): 177-194. https://doi.org/10.1108/00070700010332278.

Gomes CL, Pflanzer SB, Cruz AG, de Felício PE, Bolini HMA (2014). Sensory descriptive profiling and consumer preferences of beef strip loin steaks. Food Research International 59: 76-84. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.01.061.

Grunert KG (1997). What's in a steak? A cross-cultural study on the quality perception of beef. Food Quality Preference 8(3): 157-174. https://doi.org/10.1016/S0950-3293(96)00038-9.

Henchion MM, McCarthy M, Resconi VC (2017). Beef quality attributes: A systematic review of consumer perspectives. Meat Science 128: 1-7. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2017.01.006.

Honikel KO (1998). Reference methods for the assessment of physical characteristics of meat. Meat Science 49(4): 447-457. https://doi.org/10.1016/S0309-1740(98)00034-5.

Huff-Lonergan E, Mitsuhashi T, Beekman DD, Parrish FC, Olson DG, Robson RM (1996). Proteolysis of specific muscle structural proteins by -calpain at low pH and temperature is similar to degradation in *postmortem* bovine muscle. Journal of Animal Science 74(5): 993-1008. https://doi.org/10.2527/1996.745993x.

King DA, Pfeiffer CS, Randel RD, Welsh Jr TH, Oliphint, RA, Baird BE, Curley Jr KO, Vann RC, Hale DS, Savell JW (2006). Influence of animal temperament and stress responsiveness on the carcass quality and beef tenderness of feedlot cattle. Meat science 74(3): 546-556. http://doi.org/10.1016/j.meatsci.2006.05.004.

Koohmaraie M (1996). Biochemical factors regulating the toughening and tenderization processes of meat. Meat Science 43(suppl. 1): 193-201. https://doi.org/10.1016/0309-1740(96)00065-4.

Lepetit J, Culioli J (1994). Mechanical properties of meat. Meat Science 36(1-2): 203-237. https://doi.org/10.1016/0309-1740(94)90042-6.

López-Pedrouso M, Rodríguez-Vázquez R, Purriños L, Oliván M, García-Torres S, Sentandreu MÁ, Lorenzo JM, Zapata C, Franco D (2020). Sensory and physicochemical analysis of meat from bovine breeds in different livestock production systems, pre-slaughter handling conditions and ageing time. Foods 9(2): 176. https://doi.org/10.3390/foods9020176.

Loudon KMW, Tarr G, Lean IJ, Polkinghorne R, McGilchrist P, Dunshea FR, Gardner GE, Pethick DW (2019). The impact of pre-slaughter stress on beef eating quality. Animals 9(9): 612. https://doi.org/10.3390/ani9090612.

Macfie HJ, Bratchell N, Greenhoff K, Vallis LV (1989). Desings to balance the effect of order of presentation and first-order carrry-over effects in hall tests. Journal of Sensory Studies 4: 129-148. https://doi.org/10.1111/j.1745-459X.1989.tb00463.x.

Mach N, Bach A, Velarde A, Devant M (2008a). Association between animal, transportation, slaughterhouse practices, and meat pH in beef. Meat Science 78(3): 232-238. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2007.06.021.

Maza MT, Ramírez V (2006). Distintas consideraciones en torno a los atributos de calidad de la carne de vacuno por parte de industria y consumidores. ITEA- Información Técnica Económica Agraria 102(4): 360-372.

Meilgaard MC, Civille GV, Caar BT (2007). Sensory Evaluation Techniques, 4ª ed. CRC Press, Taylor and Francis Group. 464 pp. https://doi.org/10.1201/b16452.

MERCASA (2019). Las indicaciones geográficas protegidas marcan la diferencia en la oferta de carnes. Distribución y Consumo 2: 34-42.

Miranda-de la Lama GC (2013a). Transport and pre-slaughter logistic: definitions and current tendencies in animal welfare and meat quality. Veterinaria Mexico 44(1): 31-56.

Miranda-de la Lama GC, Pascual-Alonso M, Guerrero A, Albertí P, Alierta S, Sans P, Gajan JP, Villarroel M, Dalmau A, Velarde A, Campo MM, Galindo F, Santolaria MP, Sañudo C, María GA (2013b). Influence of social dominance on production, welfare and the quality of meat from beef bulls. Meat Science 94: 432-437. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.03.026.

Mottram DS (1998). Flavour formation in meat and meat products: A review. Food Chemistry 62(4): 415-424. https://doi.org/10.1016/S0308-8146(98)00076-4.

Oliván M, Sierra V, García P (2013). Efecto del tiempo de maduración sobre la calidad organoléptica de la carne de vacuno. Tecnología Agroalimentaria: Boletín Informativo del SERIDA 12: 45-52.

Olaizola AM, Whebi Z, Manrique-Persiva E (2005). Quality perception and consumer attitudes to «specific quality beef» in Aragón, Spain. Spanish Journal of Agricultural Research 3(4): 418-428. http://dx.doi.org/10.5424/sjar/2005034-169.

Pagliarini E, Laureati M, Dinnella C, Monteleone E, Proserpio C, Piasentier E (2016). Influence of pig genetic type on sensory properties and consumer acceptance of Parma, San Daniele and Toscano dry-cured hams. Journal of the Science of Food and Agriculture 96(3): 798-806. http://doi.wiley.com/10.1002/jsfa.7151.

Panea B, Ripoll G, Sañudo C, Olleta JL, Albertí P (2016). Calidad instrumental de la carne de terneros procedentes del cruce industrial de la raza Retinta. ITEA-Información Técnica Económica Agraria 112(3): 286-300. https://doi.org/10.12706/itea.2016.018.

Panea B, Olleta JL, Sañudo C, Campo MM, Oliver MA, Gispert M, Serra X, Renard G, Oliván MC, Jabet S, García S, López M, Izquierdo M, García-Cachán MD, Quintanilla R, Piedrafita J (2018). Effects of breed production system on collagen, textural, and sensory traits of 10 European beef cattle breeds. Journal of Texture Studies 49(5): 528-535. https://doi.org/10.1111/jtxs.12350.

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.

Pensado-Leglise MR y Sanz-Cañada J (2018). Valorización de una Indicación Geográfica Protegida. El caso de la carne de la Sierra de Guadarrama, España. Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias 9(3): 451-465. https://doi.org/10.22319/rmcp.v9i3.4329.

Peña F, Avilés C, Domenech V, González A, Martínez A, Molina A (2014). Effects of stress by unfamiliar sounds on carcass and meat traits in bulls from three continental beef cattle breeds at different ageing times. Meat Science 98(4): 718-725. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2014.07.021.

Piedrafita J, Quintanilla R, Sañudo C, Olleta JL, Campo MM, Panea B, Renand G, Turin F, Jabet

S, Osoro K, Oliván MC, Noval G, García P, García MD, Oliver G, Gispert M, Serra X, Espejo M, García S, López M, Izquierdo M (2003). Carcass quality of 10 beef cattle breeds of the Southwest of Europe in their typical production systems. Livestock Production Science 82(1): 1-13. https://doi.org/10.1016/S0301-6226(03)00006-X.

Ponnampalam EN, Hopkins DL, Bruce H, Li D, Baldi G, Bekhit AE (2017). Causes and contributing factors to "Dark Cutting" meat: current trends and future directions: A review. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety 16: 400-430. https://doi.org/10.1111/1541-4337.12258.

Realini CE, Duckett SK, Brito GW, Dalla Rizza M, De Mattos D (2004). Effect of pasture *vs*. concentrate feeding with or without antioxidants on carcass characteristics, fatty acid composition, and quality of Uruguayan beef. Meat Science 66(3): 567-577. https://doi.org/10.1016/S0309-1740(03)00160-8.

Reis RC, Regazzi AJA, Carneiro JCS, Minim VPR (2013). Mapa de preferênce. En: Análise Sensorial Estudos com Consumidores (Ed. Minim V), pp. 332. Viçosa, UFV.

Ripoll G, Panea B, Albertí P (2012). Apreciación visual de la carne bovina y su relación con el espacio de color CIELab. ITEA-Información Técnica Económica Agraria 108(2): 222-232.

Ruiz J, Bonilla F, Hidalgo J, Morillo-Velarde M (2006). Calidad de la carne de las razas autóctonas. Calidad de la carne de razas bovinas autóctonas, servicio de publicaciones de la Junta de Extremadura, pp. 117-133.

Salih AM, Smith DM, Price JF, Dawson LE (1987). Modified extraction 2-thiobarbituric acid method for measuring lipid oxidation in poultry. Poultry Science 66(9): 1483-1488. https://doi.org/10.3382/ps.0661483.

Sánchez M, Beriain MJ, Carr TR (2012). Socio-economic factors affecting consumer behaviour for United States and Spanish beef under different information scenarios. Food Quality and Preference 24(1): 30-39. https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2011.08.008.

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-Información Técnica Económica Agraria 93(2): 89-87.

Serra X, Guerrero L, Guàrdia MD, Gil M, Sañudo C, Panea B, Campo MM, Olleta JL, García-Cachán MD, Piedrafita J, Oliver MA (2008). Eating quality of young bulls from three Spanish beef breed-production systems and its relationships with chemical and instrumental meat quality. Meat Science 79(1): 98-104. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2007.08.005.

Sierra V, Guerrero L, Fernández-Suárez V, Martínez A, Castro P, Osoro K, Rodríguez-Colunga MJ, Coto-Montes A, Oliván M (2010). Eating quality of beef from biotypes included in the PGI "Ternera Asturiana" showing distinct physicochemical characteristics and tenderization pattern. Meat Science 86(2): 343-351. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2010.05.007.

UNE-EN ISO 8589:2010/A1:2014 Análisis sensorial. Guía general para el diseño de una sala de catas. Disponible en: https://www.aenor.com/normas-y-libros/buscador-de-normas/une/?c=N0053610 (Consultado: 15 de junio de 2020)

UNE-ISO 8587:2010/Amd 1:2017 Análisis sensorial. Metodología. Ordenación. Disponible en: https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0045392 (Consultado 15 de junio de 2020) (UNE-EN ISO 8586: 2014).

UNE-EN ISO 8586:2014 Análisis sensorial. Guía general para la selección, entrenamiento y control de catadores y catadores expertos. Disponible en: https://www.aenor.com/normas-y-libros/buscador-de-normas/UNE?c=N0053072 (Consultado 29 de enero de 2021) (ISO 8586:2012).

Tadich N, Gallo C, Bustamante H, Schwerter M, Van Schaik G. (2005). Effects of transport and lairage time on some blood constituents of Friesian-cross steers in Chile. Livestock Production Science 93(3): 223-233. https://doi.org/10.1016/j.livprodsci.2004.10.004.

Troy DJ, Kerry JP (2010). Consumer perception and the role of science in the meat industry. Meat Science 86: 214-26. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2010.05.009.

Villarroel M, María GA, Sañudo C, Olleta JL, Gebresenbeth G (2003). Effect of transport time and ageing on aspects of beef meat quality. Meat Science 65(4): 1335-1340. https://doi.org/10.1016/S0309-1740(03)00054-8.

Vitale M (2016). Maduración de la carne de vacuno: cómo se realiza y factores que la afectan.Interempresas. Disponible en: https://www.interempresas.net/Industria-Carnica/Articulos/150611-Maduracion-de-la-carne-de-vacuno-como-se-realiza-y-factores-que-la-afectan.html. Consultado: 27 de enero de 2021.

Zamuz S, Pateiro M, López-Pedrouso M, Rodríguez-Vázquez R, Oliván M, García-Torres S, Sentandreu MA, Lorenzo JM, Zapata C, Franco D (2018). Effect of pre-slaughter mixing claves on sensory attributes of three Spanish bovine breeds. 64th International Congress of Meat Science and Technology, 12-17 agosto, Melbourne, Australia.

(Aceptado para publicación el 10 de junio de 2021)

Caracterización del bienestar animal en explotaciones de vacuno lechero de la raza Holstein del noreste de España

Cesáreo García-Pérez[1], Daniel Villalba-Mata[1,*], Rita Casals-Maestre[2] e Isabel Blanco-Penedo[1,3]

[1] Departament de Ciència Animal, Universitat de Lleida, España
[2] Federació d'Associacions de Criadors de Raça Frisona de Catalunya, España
[3] Unidad de Epidemiología Veterinaria, Departamento de Ciencias Clínicas, Universidad de Ciencias Agrarias de Suecia, Suecia

Resumen

El objetivo del presente estudio fue evaluar el bienestar animal en explotaciones de vacuno lechero de raza Holstein del noreste de España, valorar la influencia del estrés térmico en los indicadores de bienestar y analizar las posibles diferencias de bienestar entre tipologías de granjas. Para ello, se utilizó la metodología del protocolo Welfare Quality (WQ®) en 26 granjas, en invierno y verano. Se aplicaron medidas directas en el animal y se recopiló información sobre recursos, manejos y descriptores de granja. Del total de las 52 evaluaciones realizadas, un 28,8 % obtuvieron la calificación global de mejorada, un 67,3 % aceptable y 3,8 % no calificada. Sólo un 14,8 % de los animales no presentó ningún tipo de alteración de tegumento. En el 73,1 % y 69,2 % de las explotaciones no se emplea analgesia y anestesia, respectivamente, durante el descornado. En la mayoría de las granjas (92,3 %) se usa anestesia para la amputación de colas. A pesar de no existir diferencias estadísticamente significativas ($P > 0,05$) a nivel de los principios de bienestar entre estaciones del año, sí se observaron diferencias ($P < 0,05$) en el porcentaje de ubres sucias y animales con respiración forzosa, que se asocian con un mayor nivel de estrés térmico. Finalmente, no se observaron diferencias en los criterios de bienestar entre las diferentes tipologías de granjas. La mayoría de las granjas alcanzan la calificación global de aceptable, pero se requiere atención al confort en el área de descanso y a la mitigación de dolor. En el contexto del cambio climático es importante que los protocolos de evaluación de bienestar animal abarquen el confort térmico.

Palabras clave: Welfare Quality®, índice ITH, comportamiento agonístico, vaca, sistemas intensivos, cojeras.

Characterization of animal welfare in dairy cattle farms of the Holstein breed in north-eastern Spain

Abstract

The objective of this study was to evaluate animal welfare, in Holstein dairy cattle farms in the northeast of Spain, to assess the influence of heat stress on welfare indicators and to analyse possible welfare differences between farm's typologies. For that purpose, The Welfare Quality® protocol was used in 26 farms, in winter and summer. Animal based indicators were assessed and information on resources,

* Autor para correspondencia: daniel.villalba@udl.cat

Cita del artículo: García-Pérez C, Villalba-Mata D, Casals-Maestre R, Blanco-Penedo I (2022). Caracterización del bienestar animal en explotaciones de vacuno lechero de la raza Holstein del noreste de España. ITEA-Información Técnica Económica Agraria 118(2): 239-261. https://doi.org/10.12706/itea.2021.023

management and farm descriptors was collected. From a total of 52 farms visits performed, 67.3 % obtained the overall score of acceptable, 28.8 % enhanced and 3.8 % were not classified. Only 14.8 % of the animals did not present any type of integument alteration. Additionally, 73.1 % and 69.2 % of the farms do not use analgesia or anaesthesia respectively during dehorning. Most of the farms (92.3 %) used analgesia and anaesthesia for tail docking. Despite the absence of statistically significant ($P > 0.05$) differences in the score of the welfare principles between seasons were observed. On the other hand, statistical differences between seasons ($P < 0.05$) were observed in the percentage of dirty udders and percentage of animals with hampered respiration, associated with a higher level heat stress. Finally, no major differences in the welfare criteria were observed between different farm typologies. Most farms achieve the overall score of acceptable but attention is required to cow comfort and pain relief. In the context of climate change, it is important that on-farm welfare assessment protocols covers thermal comfort.

Keywords: Welfare Quality®, THI index, agonistic behaviour, cow, intensive farming, lameness.

Introducción

En la actualidad, la sensibilización del consumidor sobre las condiciones de producción animal constituye uno de los grandes retos de la ganadería, en especial de las explotaciones de vacuno de leche, cuyo principal objetivo ha sido incrementar su producción (EFSA, 2009). Según una encuesta realizada a un total de 27.672 ciudadanos de 28 estados miembros de la Comisión Europea, un 35 % pagarían hasta 5 % más del precio del producto, si se mejorasen las condiciones de la producción y bienestar animal (Napolitano *et al.*, 2010; European Commission, 2016; Alonso *et al*., 2020). En España, también, se puede observar un aumento de la concienciación del consumidor sobre el bienestar animal (María, 2006; Alonso *et al*., 2020), lo que ha dado lugar a la búsqueda de herramientas o protocolos que permitan cuantificar el grado de bienestar, siendo muy diversos en vacuno lechero. Un ejemplo es el propuesto por el *Centro di Referenza Nazionale per il Benessere Animale* (Centro de Referencia Nacional para el Bienestar animal), que valoran el bienestar del bovino y la bioseguridad en sistemas de estabulación permanente (Bertocchi y Fusi, 2014). Otros protocolos cuantifican el bienestar con medidas directas e indirectas en el animal (Calamari y Bertoni, 2009). El mayor proyecto de evaluación del bienestar animal a nivel europeo es el denominado Welfare Quality® (WQ®), que se emplea como herramienta de análisis, con la finalidad de medir el bienestar de los diferentes animales de producción (Blokhuis *et al*., 2010).

La evaluación del bienestar animal a nivel europeo se enfrenta a dos retos principales, por un lado, la diversidad en las condiciones productivas, y por el otro, la variabilidad de las condiciones climáticas (Carabaño *et al.,* 2014; Blanco-Penedo *et al.,* 2020b). La temperatura, junto con la humedad ambiental, son dos de los factores extrínsecos que pueden condicionar el bienestar de los animales (Lacetera, 2019). El cambio climático está provocando un incremento de temperatura progresivo que, junto a la aparición combinada de altos niveles de humedad y temperatura en la granja, comprometen el bienestar animal (Nardone *et al*., 2010), siendo de especial relevancia para las cabañas ganaderas de la cuenca mediterránea (Pasqui y di Giuseppe, 2019).

Por tanto, la capacidad de medir el bienestar en los diferentes sistemas de producción, integrando la evaluación y la influencia de los factores climáticos externos como el estrés térmico, cobra cada día mayor importancia.

Se han realizado diversos estudios basados en el efecto del índice de estrés térmico sobre la

producción lechera, composición de la leche, y el recuento de células somáticas, entre otros (Carabaño *et al*., 2014; Hagiya *et al*., 2019; Toledo y Thatcher, 2020), pero escasean las referencias que describan su influencia sobre factores psicológicos y comportamentales del animal. En este sentido, es importante investigar la influencia que las condiciones climáticas ejercen sobre el comportamiento y el estado emocional del animal, complementando la información obtenida en los protocolos establecidos.

El objetivo de este trabajo es caracterizar el nivel de bienestar animal en granjas de vacas de leche del noreste de España, mediante medidas directas sobre el animal, así como de medidas indirectas, a través de la aplicación del protocolo WQ® en invierno y verano, comparando los resultados por estación y tipología de granja.

Material y métodos

Sitio de estudio

El clima en Cataluña es mayoritariamente mediterráneo, presentando un trimestre estival seco y el resto del año moderadamente húmedo, aunque por su variada orografía existe cierta diversidad climatológica. La temperatura media anual es de 14 °C, con medias de 8 °C en invierno y 21 °C en verano. La precipitación media anual es de 513 mm y la humedad relativa es de 68 %, según el Instituto de Estadística de Cataluña (IDECAT, 2019).

Las granjas que han colaborado en este estudio, se distribuyen por varias comarcas de su geografía. Un 36,5 % de las granjas se distribuyen entre el Alt Urgell y Cerdanya, un 34,6 % entre Osona y Berguedà, un 17,3 % entre Pla de L'Estany, Baix Empordà, Gironés y La Selva, un 7,6 % en La Noguera, finalmente un 3,8 % en El Maresme (Ver Figura 1, para localización de granjas en el mapa). Las visitas en invierno comenzaron el 17 de diciembre de 2018 y finalizaron el 11 de marzo del 2019. Las visitas en verano se produjeron entre el 6 de junio y el 3 de octubre de 2019. Las temperaturas fueron tomadas en un rango horario comprendido entre las 7:30 h de la mañana a 17:30 h de la tarde.

Selección de las granjas

La *Federació d'Associacions de Criadors de Raça Frisona de Catalunya* (Federación de Asociaciones de Criadores de Raza Frisona de Cataluña, FEFRIC), que representaba en el 2017 el 62 % de la cabaña de vacuno lechero de Cataluña, proporcionó el contacto con las granjas, así como los datos del Control Lechero Oficial de Cataluña correspondiente al periodo del estudio observacional.

De un total de 272 explotaciones (47.722 reproductores mayores de 24 meses) inscritas en 2017, 196 (37.536 reproductores mayores de 24 meses) presentaban datos completos de control lechero y libro genealógico según los datos publicados en el resumen "*Control Lleter de la Raça Frisona a Catalunya 2017* (Control Lechero de la Raza Frisona en Cataluña 2017)". A partir de las 196 granjas, se efectuó una selección aleatoria estratificada uniforme proporcionada en función del promedio anual de kg leche, estratificando en dos grupos, granjas con producciones inferiores y superiores a la media. Finalmente, fueron seleccionadas 27 granjas. El equipo de FEFRIC se puso en contacto vía telefónica con la persona responsable de la granja, ya fuera encargado o dueño, confirmando su participación. Al comienzo del estudio una de las granjas fue sustituida por no querer participar en el proyecto. Los datos de una de las explotaciones participantes fueron desechados por la construcción de un establo nuevo, posterior a la primera visita, corriendo el riesgo de sesgar los resultados. Finalmente,



Figura 1. Distribución de las granjas que colaboraron en el estudio.
Picture 1. Distribution of the farms that collaborated in the study.

un total de 26 granjas participaron en el estudio (3.902 unidades de vacuno reproductor mayor de 24 meses) realizándose dos visitas a cada granja para poder capturar el rango máximo de variación térmica.

Los datos del control lechero proporcionados por FEFRIC correspondían a información individual (con su código de identificación bovino) referentes a: i) fecha de control; ii) kilogramos de leche; iii) recuento de células somáticas. En el mes de agosto no se dispone de datos del control por ser periodo vacacional. Según los datos procedentes del Control Lechero de la Raza Frisona en Cataluña 2017, un 55,8 % de las granjas participantes estaban por debajo del promedio de producción media de leche estandarizada, 29 ± 0,4 kg, mientras que el 44,2 % de las granjas estaban por encima del promedio, con una producción media de leche estandarizada de 35 ± 0,6 kg. Para describir cómo las diferentes tipologías de granja pueden presentar distinto nivel de bienestar animal (EFSA, 2009), se clasificaron las valoraciones de las granjas por descriptores: estación de muestreo, producción lechera, número de animales en ordeño, objetivo de producción e índice de temperatura y humedad.

El tamaño medio de las granjas visitadas fue de 150 ± 11 vacas presentes, un 90,4 % de las granjas disponían de sistema de cubículos o mixto (léase cubículos y cama fría) y un 9,6 % de las granjas presentaba sistema de cama fría. En cuanto a la superficie útil de establo

por vaca, un 50 % de las granjas disponían de menos de 10,8 m^2 por vaca lactante. El 53,8 % de las granjas utilizaba área de descanso exterior durante el periodo de vaca seca, y un 30,8 % del total ofrecía pastoreo al lote de novillas y vacas secas. En cuanto al número de ordeños, un 78,8 % de las explotaciones ordeñaba 2 veces al día, un 19,2 % realizaba 3 ordeños al día y finalmente, una de las granjas disponía de dos robots de ordeño. Del total de granjas, el 65 % utilizaban su propio carro unifeed a diario, el 45 % restante trabajaban con sistema de carro unifeed comunitario.

Evaluación del Bienestar animal y recogida de datos

Para el análisis de bienestar animal en las granjas se utilizó el protocolo WQ® (2009) para ganado vacuno lechero, el cual evalúa el estado clínico y fisiológico del animal, así como el estado comportamental y emocional. Este protocolo se centra en aplicar el mayor número de indicadores basados en el animal. Para aquellos principios y criterios que no se pueden medir parcial o completamente en el animal, existen o se complementan con medidas indirectas. Los indicadores basados en recursos del ambiente se obtienen al inspeccionar el establo y tras la obtención de información sobre aspectos de manejo mediante un cuestionario al responsable de la explotación. De la inspección, se evaluó el número y tipo de bebederos y su funcionalidad, ya que no existe otra medida directa o práctica para determinar la ausencia de sed a nivel de animal. Del cuestionario, se analizó la información recabada como área de ejercicio, práctica de pastoreo, ausencia de enfermedades y ausencia de dolor inducido.

Por otro lado, para poder caracterizar el modelo de ganadería en el noreste de España, se registró información no incluida en el protocolo WQ®: i) localización; ii) censo de animales y su distribución por corrales; iii) en vacas lactantes, tipo de cama o cubículo, número de cubículos, metros cuadrados de cama por vaca (área de descanso), en caso de cama, material de la cama y metros cuadrados útiles de establo por animal; iv) número de cornadizas; v) número de ordeños; vi) hora de ordeño; vii) número de horas en ordeño; viii) número de comidas al día; ix) número de aproximaciones de la comida al día; x) número de empleados, contando la mano de obra propia. Parte de esta información se recoge en las Tablas 1 y 2.

Todas las evaluaciones fueron realizadas por un único observador, poseedor del "*Certificate of Achievement Welfare Quality® Assessment Protocol for Dairy Cattle*".

El orden en la aplicación del protocolo fue el siguiente: i) distancia de huida, cuando la gran mayoría de los animales estaban situados en la línea de comedero; ii) valoración del estado emocional del rebaño en varios segmentos; iii) durante los 120 min de observación en varios segmentos, tiempo para tumbarse, colisión o no durante el proceso, número de animales fuera o parcialmente fuera de la cama, comportamientos agonísticos y número de toses, fueron medidas de manera simultánea; iv) condición corporal, grado de limpieza por regiones corporales, alteración de tegumentos, cojeras, descarga nasal y ocular, respiración forzosa, diarrea y descarga vulvar, fueron medidas en el animal sin trabar, a una distancia máxima de 2 m tanto en animales de pie, como tumbados que fueron levantados para la exploración; v) tipo de bebedero, centímetros y número de bebederos por cada tantos animales, su nivel de limpieza, funcionalidad y caudal.

Las visitas comenzaron siempre por la mañana, una hora antes de finalizar el primer ordeño, las observaciones comenzaban entre las 6:00 h y las 10:30 h. En el caso de la única granja con robots de ordeño, con dos corrales de producción diferenciados, los robots funcionaban con circulación forzada, por lo

Tabla 1. Características productivas de las granjas participantes en el estudio (n = 26) obtenidas del control lechero.
Table 1. Productive characteristics of the farms used in the study (n = 26) obtained from the milk recording data.

	Media ± DE[1]	Mínimo	Máximo	FEFRIC[2]
Número vacas presentes	150 ± 84	49	490	160
Número de lactaciones	2,28 ± 0,25	1,73	3,00	2,38
Intervalo entre partos (días)	422 ± 20	375	472	418
Edad primer parto (meses)	26,1 ± 1,5	23	29	26
Kg leche por vaca en lactación	33,08 ± 4,29	20,76	43,54	32,8
Recuento de células somáticas (1.000 células/ml)	275 ± 110	69	531	288
Valor genético Kg de leche	464 ± 176	48	783	479
Índice genético longevidad	106 ± 2,6	101	113	104
Índice mérito genético global	2.420 ± 264	1.808	2.971	2.221

[1] DE: Desviación estándar. [2] Media asociación FEFRIC del año 2017 (Federación de Asociaciones de Criadores de Raza Frisona de Cataluña).

Tabla 2. Características técnicas de las granjas participantes en el estudio (n = 26).
Table 2. Technical characteristics of the participant farms in the study (n = 26).

	Media ± DE[1]	Mínimo	Máximo
Vacas por trabajador	46,63 ± 12,82	24,50	94,00
Raciones al día	1,35 ± 0,56	1,00	3,00
Aproximaciones de alimento al día	3,88 ± 2,06	1,00	10,00
Comederos por vaca	0,80 ± 0,21	0,34	1,31
Cubículos por vaca	0,72 ± 0,35	0,00	1,39
Superficie cama por vaca (m^2)	10,34 ± 3,22	5,00	14,70
Superficie establo por vaca (m^2)	11,03 ± 2,78	5,85	19,35
Centímetros de bebedero por vaca	6,64 ± 2,38	3,52	16,29
Vacas por bebedero individual[2]	11,18 ± 5,77	4,00	21,30

[1] DE: Desviación estándar.

que hubo dificultades de los animales al aproximarse al comedero de manera discontinua (goteo de animales), lo que prolongó el tiempo necesario para medición de la distancia de huida. El desarrollo completo del protocolo duró de 5 a 12 h, dependiendo del tamaño de explotación. Para la aplicación del protocolo, se tuvo en cuenta en la selección de individuos las siguientes exclusiones: i) vacas con tratamiento de podología en las cuatro semanas previas a la visita; ii) vacas no inscritas en el libro genealógico de la raza frisona. Para el tamaño muestral, se siguieron las recomendaciones del protocolo WQ®. Se muestrearon y observaron de manera individual 1.492 animales en invierno y 1.572 animales durante el verano (esta diferencia fue debida a una adecuación del tamaño muestral al mínimo aceptable y no al ideal en invierno, debido a las dificultades técnicas sufridas por falta de luz en algunos establos). La elección de los animales se hizo de manera aleatoria, tomando siempre nota del número de identificación de crotal en la exploración clínica. Para la observación del comportamiento emocional se segmentaron los establos de 2 a 4 tramos, con una media de 3,5 segmentos en los 25 min de observación. En el caso de la evaluación del comportamiento social se realizaron con una media de 10 segmentos en los 120 min de observación, en dos vueltas con un rango de 4 a 12 segmentos totales.

En el caso de que algún grupo de animales (vacas en lactación, vacas secas y novillas gestantes) no pudiera ser muestreado para la evaluación clínica, como fue el caso en tres granjas que tenían vacas secas en pastoreo, estos animales fueron sustituidos por un mayor muestreo del resto para la aplicación correcta del protocolo.

Evaluación del confort térmico

En este estudio se añadió la metodología para evaluar el confort térmico al carecer de su análisis en los protocolos actuales de bienestar de vacuno. En este estudio se incluye el índice de estrés térmico (THI por las siglas en inglés *Temperature Humidity Index*) a través de la siguiente ecuación estandarizada, THI = (1,8 x temperatura ambiental + 32) – (0,55 – 0,55 x humedad relativa/100) x (1,8 x temperatura ambiental – 26) (Bohmanova *et al*., 2007). La temperatura y humedad relativa se obtuvieron mediante la toma de al menos cuatro registros, en el mismo día en el que se desarrolló la evaluación, utilizando para el cálculo del THI el valor promedio de las lecturas. Además, a través del *Servei Meteorològic de Catalunya* (Servicio Meteorológico de Cataluña), se obtuvo el histórico de registros de humedad y temperatura, durante los tres meses de verano de cada una de las estaciones más próximas a las granjas, con una distancia media entre granja y estación meteorológica, de 5,2 km, siendo la distancia menor de 1,7 km y la mayor distancia de 10,8 km. La correlación entre el THI medio obtenido a partir de las observaciones de granja y el THI medio de 7:00 h y las 18:00 h de las estaciones meteorológicas cercanas fue 0,84 para el mismo día del control y 0,89 para los tres meses de verano.

Cálculos y análisis estadístico

Las ecuaciones de cálculo propuestas por el WQ® *Assessment protocol for cattle* (2009) se integraron en formato Access® para calcular la puntuación de los criterios, de cada uno de los principios y la puntuación global.

Finalmente, se obtuvo la puntuación global media a partir de todos los principios y criterios, en un rango comprendido entre 0 y 100, siendo 0 la peor puntuación, 50 un valor neutro y 100 la puntuación máxima. Así pues, las evaluaciones de las granjas fueron categorizadas como: i) excelente, más de 50 puntos en todos los principios y más de 80 en dos de los principios; ii) mejorada, más de 20 puntos en todos los principios y más de 55 puntos en dos de ellos; iii) aceptable, más de

10 puntos en todos los principios y más de 20 puntos en dos de ellos; iv) no calificada, no se supera el mínimo de puntuación necesario para la calificación, aceptable. Se aplicó una desviación de 5 puntos, por ejemplo, 50 no se considera significativamente inferior a 55.

El cálculo de las calificaciones globales (excelente, mejorada, aceptable, no calificada) se obtuvo en dos evaluaciones de cada granja, una en invierno y otra en verano, calculando el porcentaje de cada tipo de calificación respecto al total de evaluaciones. Para la calificación final se emplea el promedio por granja de las calificaciones obtenidas en las dos evaluaciones o visitas.

Para el análisis estadístico se empleó R, versión 3.6.3 (*The R Project for Statistical Computing*). En este estudio, las variables, criterios y principios, fueron analizadas de forma descriptiva, y se muestran la media, mediana, desviación estándar, error estándar de la media y rango intercuartílico (Q1, Q2 (mediana) y Q3) según corresponda. Para determinar la normalidad en la distribución de los datos, se aplicó el Test Shapiro-Wilk. Para establecer la existencia de diferencias entre los resultados de bienestar para las granjas según la estación de muestreo, se aplicaron el Test de Mann-Whitney o bien T de Student (para variables con distribución normal). Para comparar las medias de las granjas por rangos de THI, se aplicó el Test de Wilcoxon o Test de Anova (para variables con distribución normal). El nivel de significación es del 5 %.

Resultados

Calificación global del Bienestar

Un 28,8 % de las granjas, obtuvieron la calificación global de mejorada, un 67,3 % aceptable y 3,8 % no calificadas. En la Tabla 3 se muestran las puntuaciones de los principios y criterios de bienestar, así como por calificación, utilizando las ecuaciones de cálculo propuestas por el WQ® *Assessment protocol for cattle* (2009). De los cuatro principios, la buena alimentación y el buen alojamiento superaron la puntuación neutra (50 en una escala de 0 a 100), mientras que, para los principios de buena salud y el comportamiento adecuado, la puntuación es baja, por debajo de 30. La buena alimentación, a nivel del criterio ausencia de hambre prologada, el porcentaje de vacas delgadas fue de un 1,17 %, no hubo diferencias significativas entre clasificaciones. En contraste, si se observaron diferencias en el criterio ausencia de sed prolongada, debidas al indicador limpieza de bebedero, donde un 72,1 % de las granjas en las dos visitas presentaban el bebedero parcialmente limpio. A nivel de clasificación, un 42,9 % de las granjas clasificadas como aceptables en verano e invierno presentaron el bebedero sucio, frente al 100 % de bebederos parcialmente limpio en las otras clasificaciones. En cuanto al indicador provisión de agua, en el caso de bebederos lineales, fue de 6,6 cm/animal, superando el mínimo de 6 cm/animal que establece el protocolo. En el caso de bebederos individuales, existe un bebedero por cada 11 vacas, superando en 1 animal el valor recomendado por el protocolo WQ®. En cuanto al indicador flujo de agua no se obtuvieron valores inferiores a lo recomendado.

En lo referente al principio buen alojamiento, dentro del criterio confort en el área de descanso, el tiempo que tarda el animal en tumbarse es de 4,6 s, no existiendo diferencias entre calificaciones. En ningún caso se supera el valor de 5,2 s por vaca, establecido por el protocolo WQ® como valor límite. En cuanto a las colisiones, un 41 % de los animales colisionaron al tumbarse en la clasificación mejorada. El protocolo WQ® (2009) establece que una frecuencia de colisiones por encima del 30 % ha de considerarse un problema serio. En este estudio, las clasificaciones aceptable y no calificada presentaron un 35,9 % y

Tabla 3. Estadísticos básicos de los diferentes principios y criterios y media de cada uno de ellos en función la clasificación de bienestar global de las visitas a granjas (n = 52).
Table 3. Basic statistics for principles and criteria, and its means in function of overall welfare classification of the farms visits (n = 52).

	Valoración global niveles						
	Media ± DE[1]	P25[2]	Mediana	P75[3]	Mejorada	Aceptable	No Calificada
Buena alimentación	63,1 ± 28,55	37,0	63,0	100,0	77,40	56,37	73,50
Ausencia de hambre prolongada	92,2 ± 13,26	85,0	100,0	100,0	91,47	92,71	89,0
Ausencia de sed prolongada	62,5 ± 32,17	32,0	60,0	100,0	78,67	54,57	80,0
Buen alojamiento	60,7 ± 7,24	59,0	59,0	69,5	60,47	60,91	59,0
Confort área de descanso	37,7 ± 11,49	35,0	35,0	51,8	37,33	38,06	35,00
Facilidad de movimiento	100,0 ± 0,00	100,0	100,0	100,0	100,00	100,00	100,00
Buena salud	27,7 ± 6,94	24,0	27,5	32,0	28,07	28,43	12,50
Ausencia de daños	35,0 ± 12,53	26,0	33,0	42,0	31,67	37,23	20,50
Ausencia de enfermedad	30,4 ± 7,06	25,0	30,0	37,0	28,27	31,40	28,50
Ausencia de dolor inducido	34,8 ± 22,40	20,0	28,0	41,0	42,73	33,17	3,00
Comportamiento adecuado	16,4 ± 4,77	13,0	16,5	20,0	18,80	15,71	11,0
Expresión de comportamiento social	28,2 ± 30,06	0,0	16,0	56,0	37,40	25,83	0,00
Expresión otros comportamientos	0,0 ± 0,00	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00
Buena relación humano animal	24,6 ± 7,18	19,0	23,0	31,5	25,40	24,26	25,00
Estado emocional positivo	60,6 ± 9,91	57,3	63,5	67,0	65,47	59,14	50,50

[1] DE: Desviación estándar. [2] P25: Percentil 25. [3] P75: Percentil 75.

28,5 %, respectivamente. El porcentaje de animales tumbados fuera de sitio fue de 2,8, siendo mayor en las granjas clasificadas como aceptables y no calificadas (3,2 % y 3 % respectivamente) frente al 1,9 % en la clasificación mejorada en el total de evaluaciones. En lo referente al nivel de limpieza de las distintas regiones corporales, el 95,9 % de los animales presentan la pierna sucia, 89,7 % el cuarto trasero sucio y el 86,2 % la ubre sucia. En el criterio confort en el área de descanso sólo el percentil 75 está por encima de 50. El criterio facilidad de movimiento obtuvo la puntuación máxima (100) al no existir ninguna explotación con vacas trabadas.

En el principio de buena salud, existen diferencias significativas en la puntuación promedio obtenida en las granjas clasificadas como no calificada y las clasificadas como aceptable ($P < 0,05$) en ambas visitas. De los tres criterios, la ausencia de daños y ausencia de dolor inducido son los que presentan los valores más bajos en las granjas no calificadas. En cuanto a ausencia de daños, un 35,8 % de los animales presentan cojera moderada con el mayor porcentaje de animales cojos (40 %) en la calificación mejorada, frente al 33,9 % en aceptable y 37 % en no calificada. Un 9,0 % de los animales presentan cojera severa, con el porcentaje más bajo en la calificación aceptable (7,3 %), frente al 12,5 % en mejorada y 14 % en no calificada. Finalmente, un 51,2 % de los animales no presentan cojeras (44,4 % en mejorada, 54,5 % en aceptable y 45 % no calificada). A nivel de alteraciones en tegumentos del criterio ausencia de daños, un 14,8 % no presentan ningún tipo, 54,7 % moderada y un 22,6 % alteración severa del tegumento, de esta última un 56,5 % de los animales se detectan en las granjas no calificadas, frente al 17,3 % y el 22,9 % en mejorada y aceptable. El criterio ausencia de enfermedad, presenta valores bajos, pero similares en las tres clasificaciones de bienestar obtenidas en las granjas participantes en el presente estudio, el número de toses por cada 15 min es de 6, un 36,7 % de los animales testados presentan descarga nasal, un 40,2 % descarga ocular, un 4,6 % respiración forzosa, un 1,1 % diarrea, 1,4 % descarga vulvar, un 13,1 % un recuento de células somáticas superior a 400.000, un 8 % de mortalidad y un 4,3 % de partos distócicos. Destaca la tasa de mortalidad, que es alta en granjas no calificadas (12,5 %) frente al 7,5 % y el 7,9 % en mejorada y aceptable. En referencia al criterio dolor inducido, en cuanto a los indicadores descornado (100 % de los animales) y corte de colas (6,7 % de los animales), las granjas no calificadas presentaban un 36,9 % de los animales con corte de cola, frente al 0 % y el 7,8 % en mejorada y aceptable.

En cuanto al principio comportamiento adecuado, es el que peor puntuación obtuvo, inferior a 20 puntos, siendo los criterios expresión de comportamiento social, con un 31 % de las evaluaciones con una puntuación igual a 0, y otros comportamientos, con un 69 % de las evaluaciones con una puntuación igual a 0, los peores valorados. Dentro del criterio expresión del comportamiento social, el número de golpes de cabezas por hora es de 2,5 y el número de otros comportamientos es de 2 por hora. Las peores puntuaciones se dan en el grupo no calificadas, donde el número de golpes de cabeza por hora es de 7,2 frente a 1,3 y 2,7 de mejorada y aceptable, respectivamente. Con respecto a la frecuencia de otros comportamientos agonísticos por hora, la media es 5,0 para no calificadas, frente 1,2 y 2,2 de mejorada y aceptable, respectivamente, existiendo diferencias significativas ($P < 0,05$) ente las categorías mejorada y no calificada. El criterio expresión de otros comportamientos obtiene una calificación de 0 al tratarse de granjas sin pastoreo o corral de descanso en vacas lactantes. El criterio buena relación humano animal, obtiene una puntuación baja siendo similar en las tres clasificaciones, un 28,4 % de los animales son tocados, el 12,5 % casi son tocados, 16,3 % permiten una aproximación entre 50-

100 cm y un 42,9 % huyen a más de un metro de distancia. En cuanto al criterio estado emocional positivo, las tres clasificaciones globales, superan la puntuación neutra. Existen diferencias significativas para el principio de comportamiento adecuado ($P < 0,05$) entre las categorías mejorada y no calificada.

Exploración clínica y comportamental entre estaciones

En la Tabla 4, se muestran los indicadores basados en el animal relacionados con la exploración clínica: higiene, presencia de alteraciones en tegumento (ausencia de pelo, lesión e inflamación) y ausencia de enfermedad, en función de la estación. La temperatura media fue de 9,9 °C con un 65 % de humedad en invierno, frente al verano con 24,6 °C y 60 % de humedad. El porcentaje de animales observados de manera individual que presentan tarso, cuarto trasero y ubre sucia, es superior al 80 % en ambas estaciones, siendo mayor esta prevalencia en verano que en invierno ($P < 0,05$). En cuanto al comportamiento social de los animales, el número de golpes de cabeza y otros comportamientos sociales (desplazamientos, persecuciones, peleas, persecuciones con levantamiento), se reducen de manera significativa en el verano ($P < 0,05$). A nivel de descarga nasal y descarga ocular, no existen diferencias significativas entre las dos estaciones. El porcentaje de animales con respiración forzada es casi ocho veces superior en verano que en invierno siendo la diferencia entre estaciones significativa ($P < 0,001$). En cuanto al tipo de alteración de tegumento, un 47 % presentan alteración moderada en invierno, frente a 61,7 % en verano ($P < 0,001$). Un 23,8 % de los animales presentaba alteración severa en tegumento, es decir, presencia de lesión o inflamación en invierno frente al 21,4 % en verano ($P > 0,05$). Dentro de los tres tipos de alteraciones en tegumento, el 30,8 % se presentan en cuarto trasero, el 29,4 % en tarso, existiendo una mayor tendencia en verano. En cuanto al tipo de alteración, el 77,9 % se corresponde a falta de pelo. Sólo existen diferencias significativas entre estaciones ($P < 0,05$) con ausencia mayor de pelo en tarso en verano, mayor número de lesiones en otras regiones en invierno, más inflamaciones en tarso, de flanco-espalda-cuello y de carpo en invierno.

En relación a las cojeras y su severidad en los animales se han detectado prevalencias de cojera moderada significativamente superiores en verano ($P < 0,01$) y el porcentaje de animales sin cojeras fue mayor en invierno.

Indicadores de bienestar animal y niveles de THI

Durante la estación de verano, y a partir de los datos de las estaciones meteorológicas (con mediciones cada media hora), se observa que, a nivel general, los animales pasaron un 48 % de las horas con un THI inferior a 68, un 18 % con un THI entre 68 a 72, y un 34 % con un THI superior a 72. Por tanto, las granjas pasaron durante el verano de 2019, un 52 % de las horas en condiciones de estrés térmico.

En la Tabla 5 se presenta el efecto del THI, calculado con las mediciones realizadas el día de la evaluación en granja, sobre algunos principios, criterios e indicadores del protocolo WQ® (2009). Un 46,2 % de las explotaciones superan el valor de THI de 72 en el momento de la evaluación, con un valor promedio de 75,6. Un 30,8 % de las explotaciones presentan entre 68 a 72 de THI, con un valor promedio de 70,25. Finalmente un 23 % de las granjas tienen un THI inferior a 68, con un valor promedio de 65,17. Por tanto, un 77 % de las granjas alcanzaron en la evaluación de verano, en las horas centrales del día, valores de THI compatibles con condiciones de estrés térmico.

Tabla 4. Prevalencia (media ± error estándar de la media) en indicadores relacionados con la exploración clínica en las dos estaciones de muestreo (n = 52).
Table 4. Prevalence (mean ± standard error of the mean) of clinical exploration indicators for the two sampling seasons (n = 52).

	Invierno	Verano	Valor *P*
Vacas delgadas (%)	1,46 ± 2,87	0,88 ± 1,50	0,359
Piernas sucias (%)	94,62 ± 0,76	97,15 ± 0,55	0,034
Cuartos traseros sucios (%)	88,50 ± 1,75	90,88 ± 1,60	0,229
Ubres sucias (%)	88,58 ± 1,81	83,77 ± 2,69	0,149
Golpes de cabeza por hora	3,56 ± 0,59	1,46 ± 0,25	0,003
Otros comportamientos por hora	2,63 ± 0,43	1,42 ± 0,26	0,027
Descarga nasal (%)	33,85 ± 2,89	39,58 ± 3,01	0,191
Descarga ocular (%)	37,77 ± 2,68	42,65 ± 3,22	0,201
Animales respiración forzada (%)	1,12 ± 0,47	8,00 ± 2,26	0,001
Sin alteración tegumentos (%)	17,88 ± 2,73	11.82 ± 2,48	0,073
Alteración moderada tegumentos (%)	47,73 ± 3,04	61,69 ± 3,27	0,001
Severa alteración tegumentos (%)	23,85 ± 3,80	21,40 ± 3,50	0,203
Ausencia de pelo			
Tarso	24,53 ± 2,89	28,92 ± 2,79	0,047
Cuarto trasero	24,00 ± 2,72	27,81 ± 2,58	0,160
Flanco, espalda y cuello	11,19 ± 1,60	12,54 ± 2,80	0,634
Carpo	11,77 ± 1,83	13,92 ± 1,65	0,160
Otras regiones	0,88 ± 0,58	0,23 ± 0,23	0,248
Lesiones			
Tarso	1,08 ± 0,38	0,65 ± 0,15	0,335
Cuarto trasero	4,88 ± 1,36	4,31 ± 1.14	0,433
Flanco, espalda y cuello	0,73 ± 0,27	0,35 ± 0,12	0,154
Carpo	0,50 ± 0,21	0,35 ± 0,12	0,582
Otras regiones	2,11 ± 1,02	0,07 ± 0,05	0,003
Inflamación			
Tarso	2,42 ± 0,35	1,23 ± 0,21	0,001
Cuarto trasero	0,35 ± 0.13	0,27 ± 0,12	0,776
Flanco, espalda y cuello	1,08 ± 0,34	0,46 ± 0,18	0,034
Carpo	1,11 ± 0,35	0,54 ± 0,17	0,049
Otras regiones	0,00 ± 0,00	0,385 ± 0,38	0,317
Animales sin cojera (%)	57,42 ± 2,31	44,96 ± 1,97	0,001
Animales cojera moderada (%)	29,04 ± 2,02	42,58 ± 1,63	0,001
Animales cojera severa (%)	9,00 ± 1,29	9,12 ± 1,28	0,731

En un 3,94 % de los animales testados, no se diagnosticó el grado de cojera.

Tabla 5. Efecto del índice de temperatura y humedad (THI) en verano, sobre principio, criterios e indicadores del protocolo Welfare Quality® (media ± error estándar de la media) en las 26 granjas participantes del estudio durante el verano.
Table 5. Effect of temperature and humidity index (THI) in summer, over principles, criteria and measures of Welfare Quality® Protocol (mean ± standard error of the mean) on the 26 participant farms during summer season.

	THI de la granja			
	<68 (n=6)	68 a 72 (n=8)	>72 (n=12)	Valor *P*
Confort área de descanso	41,33 ± 9,81	35,38 ± 13,15	35,17 ± 12,09	0,490
Ausencia de enfermedad	30,00 ± 9,17	31,25 ± 5,52	29,75 ± 6,11	0,833
Ausencia alteración tegumento	30,50 ± 14,56	35,38 ± 7,73	31,42 ± 8,16	0,390
Tiempo en tumbarse (s)	4,45 ± 0,90	4,68 ± 0,63	4,13 ± 0,62	0,237
Colisiones (%)	36,17 ± 30,72	36,13 ± 24,67	44,00 ± 29,55	0,823
Animales tumbados (%)	44,47 ± 1,91	39,00 ± 4,14	36,92 ± 3,25	0,105
Animales tumbados fuera de sitio (%)	1,33 ± 1,21	2,50 ± 2,78	4,00 ± 5,95	0,632
Pierna sucia (%)	97,50 ± 3,02	95,75 ± 2,92	97,92 ± 2,50	0,235
Cuarto trasero sucio (%)	89,67 ± 10,35	92,00 ± 5,35	90,75 ± 9,14	0,947
Ubres sucias (%)	$71,17^{b}$ ± 16,44	$82,13^{ab}$ ± 12,56	$91,17^{a}$ ± 7,38	**0,020**
Descarga nasal (%)	51,17 ± 15,79	34,75 ± 18,71	37,00 ± 10,15	0,100
Descarga ocular (%)	41,17 ± 20,55	39,13 ± 16,44	45,75 ± 15,17	0,674
Respiración forzosa (%)	$0,33^{c}$ ± 0,82	$3,75^{b}$ ± 3,99	$14,67^{a}$ ± 14,09	**0,003**
Descarga vulvar (%)	2,00 ± 2,28	0,50 ± 0,76	1,08 ± 1,62	0,335
Diarrea (%)	0,83 ± 1,60	2,13 ± 2,10	2,50 ± 3,61	0,302
Toses cada 15 minutos	5,86 ± 2,94	3,58 ± 1,89	5,73 ± 2,02	0,087
Vacas con RCS>400%	8,69 ± 2,26	11,10 ± 4,07	8,70 ± 2,67	0,322
Sin alteración en piel%	18,33 ± 18,37	12,41 ± 13,75	8,17 ± 7,23	0,598
Alteración moderada en piel (%)	49,83 ± 13,73	63,50 ± 15,50	66,42 ± 17,09	0,129
Alteración severa en piel (%)	27,67 ± 19,37	17,06 ± 12,81	21,17 ± 20,32	0,353
Animales sin cojeras (%)	40,50 ± 15,73	48,25 ± 6,43	45,00 ± 8,53	0,377
Cojera moderada (%)	45,33 ± 12,94	41,75 ± 7,17	41,75 ± 6,52	0,669
Cojera severa (%)	11,33 ± 7,97	6,13 ± 2,59	10,00 ± 7,32	0,461

En las medidas relacionadas con los criterios de confort en el área descanso, ausencia de enfermedad y ausencia de alteraciones en tegumento, no se detecta relación con el THI. Las granjas con THI > 72, presentan un porcentaje de animales tumbados parcial o totalmente fuera del área de descanso superior al umbral de alarma recomendado (3 %) por el protocolo WQ®. En cuanto al nivel de limpieza de los animales, no encontramos diferencias significativas entre los niveles de THI, a nivel del porcentaje promedio de animales con la pierna sucia (95,9 %), ni en el porcentaje de animales con cuarto trasero sucio (89,7 %). Sin embargo, se observaron diferencias significativas ($P < 0,05$) en el porcentaje de animales con ubre sucia (86,2 %) con un incremento de la suciedad a mayor nivel de THI. A nivel clínico, no encontramos diferencias significativas entre los diferentes segmentos de THI, en descarga nasal, ocular y vulvar respectivamente con niveles promedios 36,7 %, 40,2 % y 1,4 % respectivamente. Sin embargo, el porcentaje promedio de animales con respiración forzada (4,6 %) presenta diferencias significativas ($P < 0,001$) entre los diferentes segmentos de THI, creciendo el porcentaje de animales con respiración forzada conforme se incrementa el valor de THI. Finalmente, no observamos diferencias significativas para los diferentes tramos de THI en el porcentaje de animales con diarrea (1,1 %), en el porcentaje promedio de animales con RCS > 400.000 (9 %), en las alteraciones de tegumento, ni en el nivel de cojeras.

Criterios de bienestar de diferentes tipologías de granjas

En la Figura 2 se presentan los valores de los once criterios de bienestar en función de la estación de muestreo, producción lechera, número de animales en ordeño, objetivo de producción e índice de temperatura y humedad.

En el gráfico con las valoraciones en función de la estación de muestreo (Figura 2a), no se observa diferencia entre las dos estaciones. En cuanto a la agrupación por producción (Figura 2b), las granjas de mayor y menor producción láctea tienen resultados parecidos. En el gráfico por tamaño de la granja (Figura 2c) los resultados por criterios son muy similares, aunque se observa una peor calificación de los criterios de ausencia de hambre y sed prolongada en granjas con tamaño inferior a 60 animales, mientras que en el caso de las granjas con tamaño comprendido entre 100 y 200 vacas, se observa una peor calificación en los criterios de confort en el área de descanso y ausencia de dolor inducido.

Los resultados diferenciando entre orientación a producción lechera o a calidad con base al mayor extracto quesero (Figura 2d), tampoco muestran diferencias importantes.

En el gráfico de resultados en relación a la estratificación por THI (Figura 1e), las granjas con THI mayor de 72 presentan un patrón similar al resto de estratos, ocupando una posición intermedia entre los otros dos estratos. Las granjas con THI entre 68 y 72 presentan una mejor puntuación en ausencia de hambre prolongada, ausencia de sed prolongada, expresión de comportamiento social, expresión de otros comportamientos y ausencia de dolor inducido, pero menor en confort en el área de descanso. Las granjas con THI menor de 68 presentan una mejor puntuación en confort área de descanso y peor puntuación en expresión de comportamiento social y expresión otros comportamientos.

Discusión

Calificación global del Bienestar

El objetivo de este estudio fue evaluar el nivel de bienestar en granjas de vacas lecheras del noreste de España. Con base en el protocolo WQ® para la clasificación de las evaluaciones a granjas, se observó que un 28,8 %

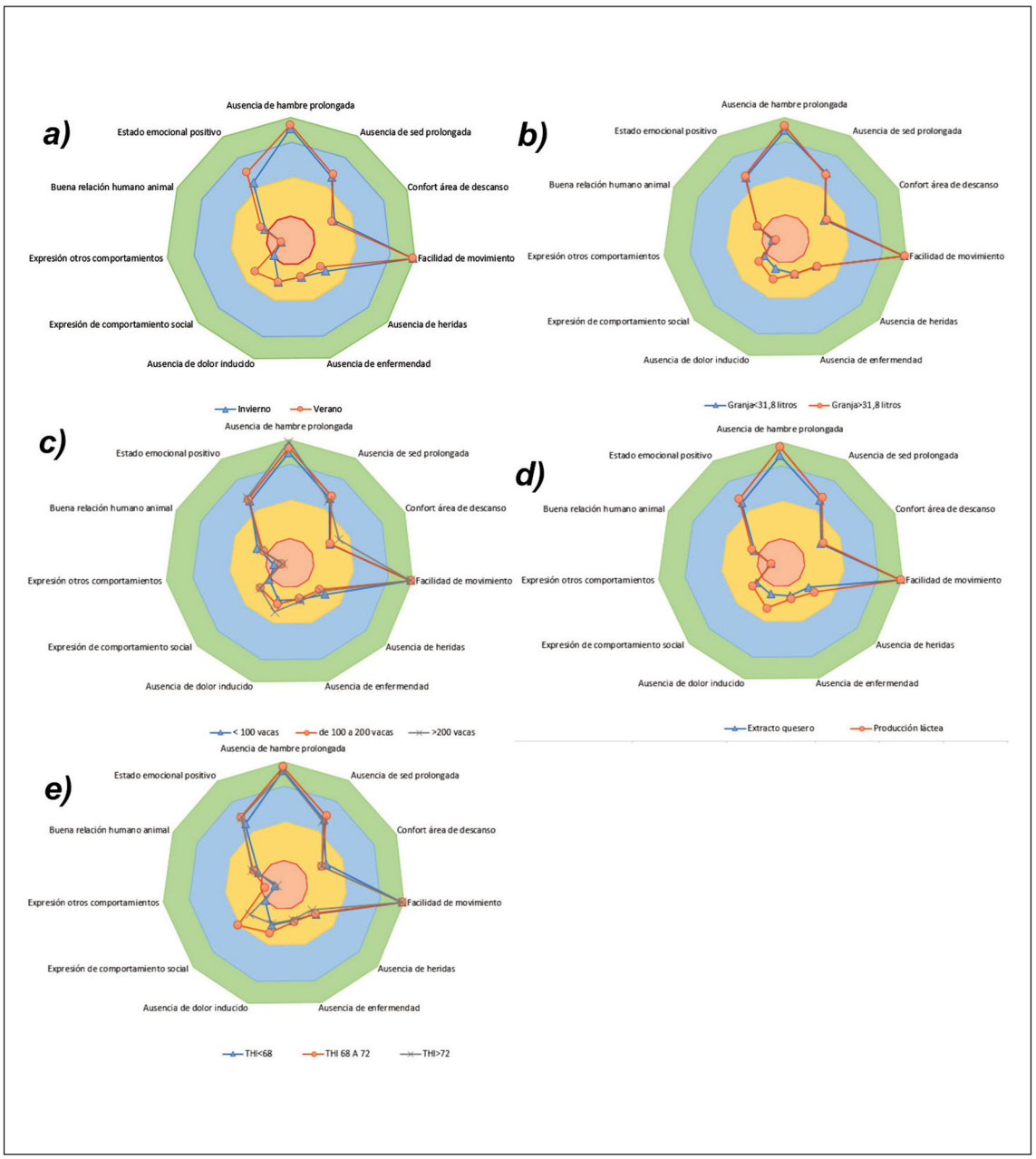


Figura 2. Calificación de los criterios de Welfare Quality® en granjas del nordeste de España en función de: a) Estación de muestreo; b) producción lechera; c) número animales en ordeño; d) objetivo de producción; y e) índice de temperatura y humedad (THI).

Picture 2. Description of Welfare Quality® criteria in farms of North-eastern Spain according to: a) sampling season; b) milk production; c) number of fresh cows; d) milk yield target; e) temperature and humidity index (THI).

son mejoradas, 67,3 % aceptables y 3,8 % no calificadas. En un estudio realizado en 179 granjas de Alemania se obtuvo que un 43,6 % se clasificaron como mejoradas, 47,5 % como aceptables y 8,9 % como no clasificados (De Vries *et al*., 2013). En otro estudio realizado en 37 granjas del noroeste de España el 2,7 % de las granjas fueron clasificadas como mejoradas, el 94,6 % como aceptables y 2,7 % no fueron clasificadas (Bugueiro *et al*., 2018). Las proporciones dentro del rango de clasificaciones son muy similares a los del estudio realizado en Francia en 131 ganaderías donde un 36,6 % fueron clasificadas como mejoradas, un 57,3 % como aceptables y un 4,6 % no clasificadas (Des Roches *et al*., 2014). Todos los estudios coinciden en la ausencia de granjas con la calificación de excelente y esto pudiera ser debido a exigencias mayores de lo calificable con el modelo real actual de explotación (De Vries *et al*., 2013; Des Roches *et al*., 2014; Bugueiro *et al*., 2018).

Principos, criterios e indicadores de Welfare® Quality

De los cuatro principios de bienestar, buena alimentación y buen alojamiento fueron los que obtuvieron una mayor puntuación. En el caso de buena alimentación la puntuación del criterio ausencia de hambre prolongada, tiene un valor medio por encima de lo publicado en otros estudios donde las granjas participantes practicaban pastoreo (De Vries *et al*., 2013; Des Roches *et al*., 2014) o con similar tendencia, cuando se trataba de sistemas trabados con ausencia de pastoreo (Popescu *et al*., 2014). En nuestro estudio, las ganaderías contaban con una presencia continua de una mezcla única de alimento con un elevado contenido de concentrado y, por lo tanto, existe una menor dispersión de la condición corporal de los animales por lo que la puntuación de ausencia de hambre prolongada se asemeja en las tres calificaciones globales alcanzadas por las ganaderías. Todo ello explicaría las elevadas puntuaciones y su menor variabilidad en la calificación de este criterio.

En cuanto al principio "buen alojamiento", en concreto el criterio confort en el área de descanso, es donde más de un 80 % de los animales testados presentaban las tres regiones corporales sucias, superando en los tres casos el nivel de severidad propuesto por el WQ® (más del 50 % en la parte baja de la extremidad, más del 19 % en cuarto trasero, más del 19 % en ubre), estos resultados son superiores a los presentados por Blanco-Penedo *et al.* (2020a) en vacas estabuladas en cubículos, pero pudiera estar relacionada con las condiciones de estabulación y manejo (Ruud *et al*., 2010). Ocurre exactamente lo mismo con el número de colisiones a la hora de tumbarse cuyo valor del 37,1 % de los animales, también supera el límite máximo de problema serio propuesto por WQ® (más del 30 %), presentado resultados similares (Blanco-Penedo *et al.,* 2020a). El bajo porcentaje de colisiones, a la hora de tumbarse el animal en el estudio de Molina *et al*. (2020), frente a los resultados de este trabajo, dónde se supera el umbral de alarma recomendado, manifiesta una inadecuada dimensión de los cubículos.

Los principios buena salud y comportamiento adecuado con peor puntuación en nuestro estudio, lo fueron además con respecto a los datos publicados por otros autores (De Vries *et al*., 2013; Des Roches *et al*., 2014). La peor puntuación en el principio buena salud, es debida probablemente a la baja puntuación obtenida en todos los criterios e indicadores que la componen. Los porcentajes de alteración de los tegumentos, cojera moderada y severa (ver Tabla 4) superan los niveles de problema serio en el WQ® (2009). Por el patrón de daños localizados mayoritariamente en tarso y cuarto trasero (ver Tabla 4), las diferencias observadas pueden ser debidas a la ausencia de pastoreo durante el periodo de

lactancia. En un estudio donde se valoró el impacto del pastoreo, se observó que los animales que pasaban más tiempo pastando, presentaban un menor porcentaje de animales con ausencia de pelo y cojera (Wagner *et al*., 2018), al ser el pastoreo beneficioso para la reducción de cojeras y lesiones (Arnott *et al*., 2017). Son numerosos los trabajos que apoyan esta hipótesis de mejores puntuaciones globales en granjas con pastoreo (Popescu *et al*., 2013; Wagner *et al*., 2018), incluso cuando sólo se realiza durante un corto periodo de tiempo, que permite al animal la recuperación de parte de sus lesiones previas ocasionadas en el establo (Hernandez-Mendo *et al*., 2007). También, el material de la cama juega un papel fundamental para el confort de los animales (Cazin *et al*., 2014). En un estudio realizado en explotaciones de vacuno lechero de Córdoba (Molina *et al*., 2020), la alteración del tegumento en cubículo de compost con unas dimensiones de entre 1,9 a 2,5 m^2 por vaca y el porcentaje de animales con alteración de tegumentos fueron muy inferiores a los presentados en este trabajo, 85 % de los animales sin alteración, 11 % media y 3 % severa, posiblemente debido a la combinación del efecto del tipo y cantidad de material en los cubículos y a sus dimensiones. Con respecto al nivel de cojeras, la elevada carga animal de las instalaciones y la ausencia de confort, cuya puntuación recordamos es inferior a 40, puede aumentar el tiempo que los animales pasan de pie incrementando el riesgo de problemas podales. Esta afirmación coincide con un estudio realizado en Canadá donde los animales expuestos a una mayor densidad, pasaron menos tiempo tumbados, e incrementaron la competitividad por su lugar de descanso (Winckler *et al*., 2015).

La mala puntuación en el criterio ausencia de enfermedad en nuestro estudio, se debe a los valores obtenidos en los indicadores: descarga nasal, descarga ocular, y una frecuencia de toses cada 15 min, que superan ampliamente el umbral de alarma (10, 6 y 6 respectivamente) establecido en el WQ®. Ambos datos pueden estar relacionados con una elevada densidad de animales (ver Tabla 2), que empeora la calidad del aire favoreciendo el incremento en las condiciones de estrés y por tanto de patologías relacionadas con el aparato respiratorio como describe Macitelli *et al*. (2020) en ganado vacuno de carne. En nuestro estudio encontramos que el número de cubículos y cornadizas por vaca no alcanzan la plaza por animal, lo que favorece un incremento en las condiciones de estrés, reduciendo el tiempo de descanso y el tiempo dedicado a la ingesta de alimento (Krawczel y Grant, 2009).

Otro manejo con alto impacto en el bienestar animal son las escasas prácticas que mitigan el dolor durante el descornado de los animales y la amputación de cola, reflejado en la tabla 3 en el criterio de ausencia de dolor inducido, en cuanto al descornado un 53,8 % utiliza termocauterizador frente al 46,2 % que sigue utilizando pasta caustica. El 26,9 % hace uso de analgesia, un 30,8 % de anestesia y un 11,5 % de las granjas reconocen hacer uso del corte de colas sin ningún tipo de analgesia y anestesia por el método de la goma. Dando lugar a que la puntuación en el criterio sea inferior al promedio obtenido por otros autores en otros países (De Vries *et al*., 2013; Wagner *et al*., 2017), pero en cambio siendo superiores a los obtenidos en otros estudios a nivel nacional (Bugueiro *et al.,* 2018). En referencia al descornado, está demostrado que el uso de anestesia local reduce el estrés y el dolor del animal (Graf y Senn, 1999), y que hay una tendencia a la mejora en la ganancia media diaria de peso vivo, en animales que han recibido un analgésico no esteroideo (Faulkner y Weary, 2000). En cuanto a la amputación de colas, se han descrito una serie de desventajas al amputar una parte del cuerpo del animal fundamental para eliminar los insectos que lo perturban, además de reducir expresiones propias de comportamiento ani-

mal (Tucker *et al*., 2001). Además, no se observan diferencias por la acción corte de colas en la limpieza, ni en el recuento de células somáticas (Tucker *et al*., 2001). Dentro del marco europeo existen proyectos de investigación dedicados a la búsqueda de métodos alternativos como por ejemplo al descornado (SANCO, 2009). En cambio, a nivel de ganadero existe una escasa concienciación en cuanto a la mitigación del dolor (Gottardo *et al*., 2011). En nuestro trabajo, en las visitas no calificadas no se hace uso ni de analgesia, ni de anestesia durante el descornado y lo que es más grave aún, aunque el corte de colas esté recomendado no ser practicado en Europa, estando además firmado y ratificado por España (CETS, 1976), un 36,95 % de los animales testados en el grupo no calificada, presentaban lesiones compatibles con la práctica de corte de colas.

La otra baja calificación se produce en el principio de comportamiento adecuado, donde todos los criterios obtienen puntuaciones por debajo de 30, excepto para el criterio estado emocional positivo, que alcanza una puntuación superior a 60. Esta puntuación es muy inferior a la de otros estudios (De Vries *et al*., 2013; Des Roches *et al*., 2014; Popescu *et al*., 2014; Wagner *et al*., 2017). Sólo los datos publicados por Bugueiro *et al.* (2018) coinciden con la mala calificación reportada en el presente trabajo.

La baja puntuación en el criterio de expresión de comportamiento social es debido al elevado número de golpes de cabeza, 2,5 por hora de promedio frente al valor de situación extrema de 1,6 propuesto por el WQ®, presentando resultados similares a los de Bugueiro *et al.* (2018). Una posible explicación del elevado número de golpes de cabeza, es la elevada densidad, que limita la cantidad de recursos disponibles para el animal, afectando su comportamiento, incrementándose el número de comportamientos agonísticos, sobre todo en la zona de comedero (Rioja-Lang *et al*., 2009) y reduciéndose las interacciones positivas, por efecto de la jerarquización del rebaño, donde la edad está directamente relacionada con el nivel de jerarquía (O'Connell *et al*., 1989).

Es difícil indicar una posible explicación a las diferencias referentes al número de cabezazos y otros comportamientos agonísticos que afectan a la clasificación global. No existen diferencias importantes, entre no calificadas y el resto, para las variables indicativas de una posible limitación de recursos como, por ejemplo, los centímetros de comedero por vaca, o el número de veces que se suministra comida al día y se arrima. En cuanto a la excesiva densidad observada en las granjas, 0,7 cubículos por vaca, en las granjas con cama caliente 10,3 m^2 por vaca y 0,8 cornadizas por vaca, siempre que el animal tenga posibilidad de huir, evitará la situación de conflicto, pero en el caso contrario, los comportamientos agresivos se incrementarán, siendo más marcada esta agresividad cuando el tamaño de los grupos es mayor (Bouissou, 1980). Finalmente podríamos pensar que uno de los factores diferenciadores fuera la edad de los animales, pero el porcentaje de primeras lactaciones es bastante similar en los tres grupos, siendo la edad y no tanto el peso factores determinantes (Šárová *et al*., 2013).

El criterio expresión de otros comportamientos, obtiene la más baja puntuación al tratarse de explotaciones con estabulación libre sin pastoreo y sin área de ejercicio exterior, durante la lactancia y el protocolo WQ® penaliza la ausencia de éstos.

Finalmente, el criterio buena relación humano animal obtiene una puntuación baja, en este caso medido por el indicador distancia de acercamiento donde un 28 % de los animales son tocados frente al 43 % que huyen a más de un metro de distancia, esto puede ser debido a dos factores no directamente relacionados con el tamaño de la explotación, pero sí con la relación entre cuidadores

y animales. Está demostrado que cuanto más frecuente y positiva sea la relación entre el cuidador y el animal, mejor será la reacción ante éste, pudiendo distinguir entre los diferentes cuidadores según el trato recibido (De Passillé *et al*., 1996). Incluso en procesos como el descornado y la amputación de cola, el paso por un proceso negativo sin ningún tipo de atenuante genera, además de dolor una reacción de ansiedad, pudiendo provocar una mayor dificultad de adaptación futura y una pérdida de la respuesta natural cognitiva (Neave *et al*., 2013).

Efecto de la estación y el THI

Es durante la estación de verano y en las granjas con mayor nivel de THI donde se encuentran las mayores ratios de respiración forzosa. Siendo este indicador, junto con otros indicadores fisiológicos (aumento frecuencia respiratoria, de la saliva, transpiración y flujo de sangre a piel), los más adecuados para detección precoz de estrés térmico (Galán *et al*., 2018). Por tanto, aunque el protocolo WQ® no contempla el efecto de la temperatura y la humedad, a pesar de su cada vez, mayor importancia en países de clima mediterráneo, sería interesante utilizar esta medida para la detección y calificación del estrés térmico. Por otro lado, debido al nivel de suciedad elevado generalizado indicativo de un alto nivel de densidad en granja, no se detectan diferencias entre granjas con diferentes niveles de THI, excepto a nivel de ubre. A mayor nivel de THI se observa una mayor suciedad de la ubre. Este hecho puede estar relacionado además con la distribución desigual de animales en las instalaciones en las horas del día en granjas y días con mayor nivel de THI, concentrándose de manera jerárquica en las zonas más sombrías y húmedas de la granja. Además, es posible que los animales menos dominantes lleguen a tumbarse en pasillos, con la intención de estar más frescos, al quedar en ocasiones y en algunas granjas, parte de los cubículos expuestos al sol, o existir zonas de la granja con menor ventilación, hecho que puede confirmarse al observarse un incremento del número de animales tumbados fuera de sitio durante la estación de verano en nuestro estudio. Además, aunque no existe diferencias en el porcentaje de diarreas si hay una mayor tendencia en granjas con mayor nivel de THI, posiblemente relacionado con una distorsión en el comportamiento de alimentación (Miller-Cushon *et al*., 2019).

En cuanto a las diferencias existentes en los indicadores ausencia de cojeras y cojeras moderadas entre estaciones, siendo en verano la segunda visita y donde hay menor número de animales ausentes y mayor número de animales con cojeras moderadas. Este incremento podría ser consecuencia de una superficie de suelo demasiado dura, cubículos poco confortables, como manifiestan el número de colisiones y finalmente el mayor número de horas que pasa el animal de pie en verano, debido al estrés térmico, coincidiendo con los resultados presentados por Cook *et al*. (2007), donde animales sometidos un mayor nivel de THI aumentaban el tiempo de permanencia de pie, incrementándose el número de animales cojos. Es necesario recordar que las visitas se distribuyeron durante los meses de invierno y verano por lo que se pudo medir el efecto de las dos estaciones en los indicadores.

Finalmente, no encontramos diferencias significativas entre los escenarios de comparación de tipos de granjas, obteniendo resultados similares entre las dos estaciones, los diferentes tamaños de explotación, niveles de producción lechera, y orientación productiva, lo que nos permite lanzar la hipótesis de que en cada modelo y dentro de las agrupaciones propuestas, existen granjas con buen y mal manejo, de ahí los patrones gráficos tan similares a pesar de los diferentes escenarios. Esta hipótesis se ve reforzada cuando com-

paramos los resultados de este trabajo, en cuanto al tamaño de granja, con los publicados por EFSA (2015) donde el tamaño de granja no tiene un efecto directo sobre las enfermedades y el bienestar animal.

Conclusiones

En conclusión, la mayoría de las granjas del presente estudio alcanzan la calificación global de aceptable, cumpliendo por tanto las condiciones mínimas de bienestar.

El criterio confort en el área de descanso requiere atención. El nivel de suciedad animal elevado, una mayor alteración de tegumentos, más colisiones a la hora de tumbarse y comportamientos agonísticos, y el mayor porcentaje de cojeras, sugieren una limitación de recursos en estas granjas que podría solucionarse mediante un reajuste en el número de animales, disponer de sistemas alternativos de descanso, área exterior e incluso de pastoreo.

Falta concienciación en la praxis de medidas que mitiguen el dolor a pesar de que reducen drásticamente el bienestar de las granjas estudiadas.

Los elevados niveles de THI sufridos durante el verano repercuten en el bienestar como refleja el mayor número de horas de pie, el incremento de ubres sucias y animales con respiración forzosa. No existen diferencias significativas entre las diferentes tipologías de granja a nivel de criterios de bienestar.

Agradecimientos

Gracias al equipo de FEFRIC y ganaderos participantes en este proyecto, a Nutricor S.L. por su apuesta en el sector y en la formación.

Referencias bibliográficas

SANCO (2009) ALCASDE Proyect. Final report: study on the improved methods for animal-friendly production, in particular on alternatives to the castration of pigs and on alternatives to the dehorning of cattle. Directorate General for Health and Consumers, Animal Health and Welfare Directorate, Monells, Girona,España. 65 pp.

Alonso ME, González-Montaña JR, Lomillos JM (2020). Consumers' concerns and perceptions of farm animal welfare. Animals 10(3): 385. https://doi.org/10.3390/ani10030385.

Arnott G, Ferris CP, O'connell NE (2017). Review: welfare of dairy cows in continuously housed and pasture-based production systems. Animal 11(2): 261-73. https://doi.org/10.1017/S1751731116001336.

Blanco-Penedo I, Ouweltjes W, Ofner-Schröck E, Brügemann K, Emanuelson U (2020a). Symposium review: animal welfare in free-walk systems in Europe. Journal of Dairy Science 103(6): 5773-5782. https://doi.org/10.3168/jds.2019-17315.

Blanco-Penedo I, Velarde A, Kipling RP, Ruete A (2020b). Modelling heat stress under organic dairy farming conditions in warm temperate climates within the Mediterranean basin. Climatic Change 162: 1269-1285. https://doi.org/10.1007/s10584-020-02818-y.

Bertocchi L, Fusi F (2014). Guidelines for the assessment of welfare and biosecurity in dairy cattle in loose housing systems. 1st. ED. Istituto Zooprofilattico Sperimentale della Lombardia e dell'Emilia Romagna "Bruno Ubertini", Brecia, Italy. 170 pp.

Bohmanova J, Misztal I, Cole JB (2007). Temperature-humidity indices as indicators of milk production losses due to heat stress. Journal of Dairy Science 90(4): 1947-1956. https://doi.org/10.3168/jds.2006-513.

Bouissou MF (1980). Social Relationships in Domestic Cattle under Modern Management Techniques. Bolletino Di Zoologia 47(3-4): 343-353. https://doi.org/10.1080/11250008009438691.

Blokhuis HJ, Veissier I, Miele M, Jones B (2010). The Welfare Quality® project and beyond: safeguarding farm animal well-being. Acta Agriculturae Scandinavica, Section A-Animal Science 60(3): 129-40 https://doi.org/10.1080/09064702.2010.523480.

Bugueiro A, Pedreira J, Diéguez FJ (2018). Study on the major welfare problems of dairy cows from the Galicia region (NW Spain). Journal of Animal Behaviour and Biometeorology 6(3): 84-89. http://dx.doi.org/10.31893/2318-1265jabb.v6n3p84-89.

Calamari L, Bertoni G (2009). Model to evaluate welfare in dairy cow farms. Italian Journal of Animal Science 8: 301-323. http://dx.doi.org/10.4081/ijas.2009.s1.301.

Carabaño MJ, Bachagha K, Ramón M, Díaz C (2014). Modeling heat stress effect on Holstein cows under hot and dry conditions: selection tools. Journal of Dairy Science 97: 7889-7904. https://doi.org/10.3168/jds.2014-8023.

Cazin P, Nicks B, Dufrasne I (2014). Cubicle design and the comfort of dairy cows. INRA Productions Animales 27(5): 359-368.

CETS (1976). CETS n.º 087: Protección de los animales en explotaciones ganaderas. Firmado y ratificado por España. Entró en vigor el 6 de noviembre de 1988. Enmendado en 1992 (Protocolo CETS n.º 145).

Cook NB, Mentink RL, Bennett TB, Burgi K (2007). The effect of heat stress and lameness on time budgets of lactating dairy cows. Journal of Dairy Science 90: 1674-1682. https://doi.org/10.3168/jds.2006-634.

De Passillé AM, Rushen J, Ladewig J, Petherick C (1996). Dairy calves' discrimination of people based on previous handling. Journal of Animal Science 74(5): 969-974. https://doi.org/10.2527/1996.745969x.

De Vries M, Bokkers EAM, van Schaik G, Botreau R, Engel B, Dijkstra T, de Boer IJM (2013). Evaluating results of the Welfare Quality multicriteria evaluation model for classification of dairy cattle welfare at the herd level. Journal of Dairy Science 96(10): 6264-6273. https://doi.org/10.3168/jds.2012-6129.

Des Roches AB, Veissier I, Coignard M, Bareille N, Guatteo R, Capdeville J, Gilot-Fromont E, Mounier L (2014). The major welfare problems of dairy cows in French commercial farms: an epidemiological approach. Animal Welfare 23(4): 467-78. https://doi.org/10.7120/09627286.23.4.467.

European Food Safety Authority, EFSA (2009). Scientific Opinion on the overall effects of farming system on dairy cow welfare disease. The EFSA Journal 7: 1143. https://doi.org/10.2903/j.efsa.2009.1143.

European Food Safety Authority, EFSA (2015). Scientific opinion on the assessment of dairy cow welfare in small-scale farming systems. The EFSA Journal 13(6): 4137. https://doi.org/10.2903/j.efsa.2015.4137.

European Commission (2016). Special Eurobarometer 442: Attitudes of Europeans towards animal welfare. Fieldwork Publication Survey Requested by the European Commission, no. March: 1-17. https://doi.org/10.2875/645984.

Faulkner PM, Weary DM (2000). Reducing pain after dehorning in dairy calves. Journal of Dairy Science 83(9): 2037-2041. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(00)75084-3.

Galán E, Llonch P, Villagrá A, Levit H, Pinto S, del Prado A (2018). A systematic review of non-productivity-related animal-based indicators of heat stress resilience in dairy cattle. PLoS ONE 13(11): 1-19. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0206520.

Gottardo F, Nalon E, Contiero B, Normando S, Dalvit P, Cozzi G (2011). The dehorning of dairy calves: Practices and opinions of 639 farmers. Journal of Dairy Science 94: 5724-5734. https://doi.org/10.3168/jds.2011-4443.

Graf B, Senn M (1999). Behavioural and physiological responses of calves to dehorning by heat cauterization with or without local anaesthesia. Applied Animal Behaviour Science 62(2-3): 153-171. https://doi.org/10.1016/S0168-1591(98)00218-4.

Hagiya K, Bamba I, Osawa T, Atagi Y, Takusari N, Itoh F, Yamazaki T (2019). Length of lags in responses of milk yield and somatic cell score on test day to heat stress in Holsteins. Animal Science Journal 90(5): 613-618. https://doi.org/10.1111/asj.13186.

Hernandez-Mendo O, Von Keyserlingk MAG, Veira DM, Weary DM (2007). Effects of pasture on lameness in dairy Cows. Journal of Dairy Science 90(3): 1209-1214. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(07)71608-9.

IDECAT (2019). Anuario estadístico de Cataluña. Meteorología, observaciones principales, comarcas y Aran. Conselleria de Medi ambient de la Generalitat de Catalunya. Disponible en: http://www.idescat.cat/pub/?id=aec&n=214&lang=es (Consultado: 01/05/2021)

Krawczel P, Grant R (2009). Effects of cow comfort on milk quality, productivity and behavior. NMC Annuals Meeting Proceedings 48: 15-24.

Lacetera N (2019). Impact of climate change on animal health and welfare. Animal Frontiers 9(1): 26-31. https://doi.org/10.1093/af/vfy030.

Macitelli F, Braga JS, Gellatly D, Paranhos da Costa MJR (2020). Reduced space in outdoor feedlot impacts beef cattle welfare. Animal 14: 2588-2597. https://doi.org/10.1017/S1751731120001652.

María GA (2006). Public perception of farm animal welfare in Spain. Livestock Science 103(3): 250-256. https://doi.org/10.1016/j.livsci.2006.05.011.

Miller-Cushon EK, Dayton AM, Horvath KC, Monteiro APA, Weng X, Tao S (2019). Effects of acute and chronic heat stress on feed sorting behaviour of lactating dairy cows. Animal 13:2044-2051. https://doi.org/10.1017/S1751731118003762.

Molina L, Agüera EI, Pérez-Marín CC, Maroto-Molina F (2020). Comparing welfare indicators in dairy cattle under different loose housing systems (deep litter *vs* cubicle barns) using recycled manure solids for bedding. Spanish Journal of Agricultural Research 18(1): 1-9. https://doi.org/10.5424/sjar/2020181-15287.

Napolitano F, Girolami A, Braghieri A (2010). Consumer liking and willingness to pay for high welfare animal-based products. Trends in Food Science & Technology 21(11): 537-543. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2010.07.012.

Nardone A, Ronchi B, Lacetera N, Ranieri MS, Bernabucci U (2010). Effects of climate changes on animal production and sustainability of livestock systems. Livestock Science 130(1-3): 57-69. https://doi.org/10.1016/j.livsci.2010.02.011.

Neave HW, Daros RR, Costa JHC, Von Keyserlingk MAG, Weary DM (2013). Pain and pessimism: dairy calves exhibit negative judgement bias following hot-iron disbudding. PLoS ONE 8(12): 8-13. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0080556.

O'Connell JO, Giller PS, Meaney W (1989). A Comparison of Dairy Cattle Behavioural Patterns at Pasture and during Confinement. Irish Journal of Agricultural Research 28(1): 65-72. https://www.jstor.org/stable/25556231.

Pasqui M, di Giuseppe E. (2019). Climate change, future warming, and adaptation in Europe. Animal Frontiers 9(1): 6-11: https://doi.org/10.1093/af/vfy036.

Popescu S, Borda C, Diugan EA, Spinu M, Groza IS, Sandru CD (2013). Dairy cows welfare quality in tie-stall housing system with or without access to exercise. Acta Veterinaria Scandinavica 55: 43. https://doi.org/10.1186/1751-0147-55-43.

Popescu S, Borda C, Diugan EA, Niculae M, Stefan R, Sandru CD (2014). The effect of the housing system on the welfare quality of dairy cows. Italian Journal of Animal Science 13(1): 2940. https://doi.org/10.4081/ijas.2014.2940.

Rioja-Lang FC, Roberts DJ, Healy SD, Lawrence AB, Haskell MJ (2009). Dairy cows trade-off feed quality with proximity to a dominant individual in Y-maze choice tests. Applied Animal Behaviour Science 117(3-4): 159-164. https://doi.org/10.1016/j.applanim.2008.12.003.

Šárová R, Špinka M, St hulová I, Ceacero F, Šime - ková M, Kotrba R (2013). Pay respect to the elders: age, more than body mass, determines dominance in female beef cattle. Animal Behaviour 86(6): 1315-1323. https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2013.10.002.

Ruud LE, Bøe KE, Østerås O (2010). Risk factors for dirty dairy cows in Norwegian freestall systems. Journal of Dairy Science 93(11): 5216-5224. https://doi.org/10.3168/jds.2010-3321.

Toledo IM, Thatcher WW (2020). Heat stress: effects on milk production and composition. Reference Collection in Food Science. Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818766-1.00005-2.

Tucker CB, Fraser D, Weary DM (2001). Tail docking dairy cattle: effects on cow cleanliness and udder health. Journal of Dairy Science 84(1): 84-87. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(01)74455-4.

Wagner K, Brinkmann J, March S, Hinterstoißer P, Warnecke S, Schüler M, Paulsen HM (2017). Impact of daily grazing time on dairy cow welfare-results of the Welfare Quality® protocol. Animals 8(1): 1. https://doi.org/10.3390/ani8010001.

Welfare Quality® (2009). Welfare Quality®. Assessment protocol for cattle. Welfare Quality® Consortium publ., Lelystad, The Netherlands. Disponible en: http://www.welfarequality.net/media/1088/cattle_protocol_without_veal_calves.pdf (Consultado: 01/05/2021).

Winckler C, Tucker CB, Weary DM (2015). Effects of under- and overstocking freestalls on dairy cattle behaviour. Applied Animal Behaviour Science 170: 14-19. https://doi.org/10.1016/j.applanim.2015.06.003.

(Aceptado para publicación el 21 de junio de 2021)

Percepción del bienestar animal, procedimientos zootécnicos, y capacidad de aprendizaje en animales domésticos

Ivonne Ceballos-Olvera, Esteban Leal-Molina, Gabriela S. Luna-Castro, Miguel Ruiz-Albarrán y Luz Y. Peña-Avelino*

Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Tamaulipas, km 5, Carretera a Mante s/n, 87000 Victoria, Tamaulipas, México

Resumen

Con la finalidad de evaluar la percepción de los estudiantes de medicina veterinaria y zootecnia sobre bienestar animal, los procedimientos zootécnicos en la práctica profesional y la capacidad de aprendizaje de los animales; se aplicó un cuestionario durante el año 2020. Se consideró un total de 508 alumnos matriculados alcanzando una respuesta del 60 % [hombres n = 141 y mujeres n = 166]. El área de mayor preferencia laboral fue producción animal (51 %), seguida del área de animales de compañía (26 %). La mayoría de los estudiantes (86 %) coincidió en que el bienestar animal se refiere a la forma en que son tratados proporcionándoles una mejor calidad de vida. La importancia de la jerarquía de los estudiantes sobre el bienestar animal fue: alimentación, salud y resguardo > enseñanza del bienestar animal > miedo y estrés > emociones positivas y negativas > dolor > comportamiento natural. Los procedimientos de castración, marcaje con tatuaje, descorné y descolmillé fueron considerados positivos, mientras que el marcaje con hierro caliente, alimentación forzada y restricción de alimento fueron considerados negativos por los estudiantes. Los estudiantes con interés en el área de producción animal indicaron mayor desconocimiento sobre el dolor de los animales, las emociones y la capacidad de aprendizaje de los animales, en contraste con los estudiantes con inclinación al área de medicina animal. Los estudiantes consideraron que la capacidad de aprendizaje y emocional está presente en las especies según la siguiente jerarquía: perro > equino > gato > bovino > cerdo > ovi-caprino > ave.

Palabras claves: Producción animal, animales de compañía, estudiantes veterinarios.

Perception of animal welfare, zootechnical procedures, and learning capacity in domestic animals

Abstract

In order to evaluate the perception of Veterinary Medicine and Zootechnics students on animal welfare, zootechnical procedures in professional practice and the learning capacity of animals; A questionnaire was applied during the year 2020. A total of 508 enrolled students was considered, reaching a response of 60 % [men n = 141 and women n = 166]. The area with the highest labor preference was animal production (51 %), followed by the area of companion animals (26 %). Most of the students (86 %) agreed that animal welfare refers to the way they are treated, providing them with a better quality of life. The hierarchy importance of the students on animal welfare was feeding, health and protection > teaching of animal welfare > fear and stress > positive and negative emotions > pain > natural behavior. The cas-

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

Cita del artículo: Ceballos-Olvera I, Leal-Molina E, Luna-Castro GS, Ruiz-Albarrán M, Peña-Avelino LY (2022). Percepción del bienestar animal, procedimientos zootécnicos, y capacidad de aprendizaje en animales domésticos. ITEA-Información Técnica Económica Agraria 118(2): 262-276. https://doi.org/10.12706/itea.2021.028

tration, tattoo marking, dehorning and de-fanning procedures were considered positive, while hot iron marking, force feeding, and food restriction were considered negative by the students. Students with an interest in animal production area indicated greater ignorance about the pain of animals, emotions and the learning capacity of animals, in contrast to students with an inclination to the area of animal medicine. The students considered that the learning and emotional capacity is present in the species according to the following hierarchy: dog > equine > cat > bovine > pig > ovi-goat > bird.

Keywords: Animal production, pets, veterinary students.

Introducción

Las situaciones profesionales en la vida diaria del médico veterinario involucran decisiones éticas que comúnmente son difíciles, como el garantizar el bienestar de los pacientes y al mismo tiempo cubrir las expectativas de los propietarios (Hazel *et al.,* 2011). El interés por el uso de procedimientos zootécnicos que proporcionen en los animales una mejor calidad de vida ha tomado importancia en la sociedad actual (Ahola, 2015). El desarrollo de actitudes empáticas y éticas es imperante en los estudiantes de medicina veterinaria y zootecnia para evitar el ejercicio no apropiado de la profesión (Degeling *et al.,* 2017). Los animales poseen similitudes morfofisiológicas con los seres humanos, son seres conscientes de su entorno y capaces de sentir emociones, por ello es imperante conocer sus reacciones y entenderlas a través del bienestar animal y la etología (de Aluja, 2011). Por otra parte, la percepción de los estudiantes por la relevancia de la vida animal y atribución de sensibilidad en las especies es importante para garantizar que el uso de animales en la educación esté en armonía con sus creencias y preocupaciones (Phillips y McCulloch, 2005). Asimismo, se ha observado que existe diferencia entre las actitudes de los estudiantes hacia los animales en función de la especie que se trate, lo que conlleva implicaciones para la educación veterinaria y el bienestar animal (Cornish *et al.,* 2018). También, se ha descrito que los estudiantes tienen la perspectiva de que la capacidad cognitiva cambia en función de la especie (Levine *et al.*, 2005). En México, existen pocos estudios que evalúen la percepción de los estudiantes de medicina veterinaria y zootecnia sobre el bienestar animal, los procedimientos zootécnicos en la práctica profesional, y la capacidad de aprendizaje los animales de interés doméstico, por lo que se ha considerado pertinente el desarrollo del presente objetivo. Sí la percepción de los estudiantes de medicina veterinaria y zootecnia sobre los procedimientos zootécnicos en la práctica profesional, bienestar animal y la capacidad de aprendizaje se asocia con la educación y la atribución de sensibilidad en las especies, entonces la percepción cambia en relación con el núcleo de formación de la carrera (básico, disciplinar y avanzado) y la preferencia del área (producción y medicina animal).

Material y métodos

Participantes y procedimiento

Se realizó un estudio transversal, mediante un muestreo no probabilístico dirigido a toda la comunidad estudiantil de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia (FMVZ) "Dr. Norberto Treviño Zapata" de la Universidad Autónoma de Tamaulipas (UAT), de enero a marzo del 2020. Se invitó a todos los estudiantes a participar en la presente investigación de manera voluntaria mediante visitas a los salones de clase. Todas las respuestas fueron voluntarias y confidenciales. La población total de estudiantes al periodo 2020 fue de

508. El método de investigación fue revisado y aprobado por el Comité de Bioética y Bienestar Animal de la FMVZ de la UAT mediante la emisión del certificado CBBA_08_2020.

Cuestionario

El cuestionario fue construido con formularios de Google, el cual se pudo acceder mediante el link (https://drive.google.com/open?id=1kaQYSaLPXY6iyny1Dt8XYqDqteADebm-Dzl2zUbADQ) desde una cuenta de Gmail. El primer bloque del cuestionario fue diseñado para obtener información general de los estudiantes: correo electrónico, matrícula, género y la preferencia de área laboral. A partir de las seis áreas de interés profesional deseada se conformaron dos: [P] área de producción animal (interés por los animales acuáticos y animales de producción) y [M] área de medicina animal (animales criados para compañía, propósito científico, deportivos y fauna silvestre). Para clasificar a los estudiantes de acuerdo con el núcleo de formación (NDF) de la carrera de Médico Veterinario Zootecnista se agruparon en función del semestre que cursaban Básico (B): del primero al tercero; Disciplinar (D): del cuarto al sexto; Avanzado (A): del séptimo al décimo.

La segunda parte del cuestionario recogió cuestiones referidas al conocimiento del encuestado respecto al bienestar animal. El tercer bloque estuvo orientado a captar las percepciones de los estudiantes en seis procedimientos veterinarios en la práctica profesional (castración, marcaje, descorné, descolmillé, alimentación forzada y restricción de alimento) en función de que, si los consideran como procedimientos positivos (humanitarios), desconocen o negativos (inhumanos). La cuarta parte recogió preguntas sobre la capacidad de aprendizaje, la capacidad emocional y ambas influidas por el ambiente, en seis especies (perro, gato, caballo, bovino, ovi-caprino, cerdo y ave).

Análisis estadístico

A partir de las respuestas obtenidas, se conformó una base de datos en Excel (Microsoft 2016). Posteriormente, los datos fueron procesados mediante el software SAS (Statistical Analysis Software) con el procedimiento PROC FREC se construyeron tablas de contingencia en NDF y por área de interés para comparar la percepción de los estudiantes de medicina veterinaria y zootecnia sobre el bienestar animal, los procedimientos zootécnicos, y la capacidad de aprendizaje y emocional e influencia del ambiente a dichas capacidades. Se usó la prueba de chi cuadrada para declarar diferencias con un alfa de $P < 0,05$.

Resultados

De los 508 alumnos matriculados en la carrera de medicina veterinaria y zootecnia, se obtuvo una respuesta del 60 % (n = 307 respuestas). La proporción de las respuestas en función del género fue equilibrada ($P = 0,580$; Tabla 1). Con relación a la preferencia de las seis áreas profesionales, en función del núcleo de formación (NDF) y área de interés no se observó diferencia ($P > 0,05$). Del total (T) de respuestas obtenidas, el área de producción animal fue la primera opción con un mayor número de respuestas, seguido de los animales de compañía y la tercera posición de preferencia fue para los animales silvestres. Las áreas de menor interés para los estudiantes veterinarios fueron los animales de interés deportivo, de propósito científico y los animales acuáticos ($P < 0,05$).

Percepción sobre el bienestar animal

Los estudiantes de medicina veterinaria y zootecnia en su mayoría indicaron que el bienestar animal (Figura 1) se refiere a la forma en que son tratados los animales proporcionán-

Tabla 1. Características de los estudiantes de Veterinaria de la Universidad Autónoma de Tamaulipas.
Table 1. Characteristics of Veterinary students of the Autonomous University of Tamaulipas.

Características	Núcleo de formación			χ^2	*P*-valor
	B	D	A		
Género (%)					
Femenino	19,0	20,5	14,6	1,08	0,580
Masculino	18,6	15,3	12,0		
Área de Interés (%)					
M	21,1	18	13,7	1,06	0,586
P	16,2	18	13,0		
Área de práctica profesional (%)					
Animales de producción	20,5	17,2	13,7	7,77	0,651
Animales de compañía	8,1	10,7	7,5		
Animales acuáticos	0,7	0,7	0		
Fauna silvestre	6,5	5,8	4,0		
Propósito científico	0,7	0,3	1,3		
Animales con fines deportivos	1	1	0,3		

B: Básico (n = 115, del primero al tercer semestre); D: Disciplinar (n = 110, del cuarto al sexto semestre); A: Avanzado (n = 82, del séptimo al décimo semestre); M (Medicina animal); P (Producción animal).

doles una mejor calidad de vida ($P < 0,0001$). Los resultados muestran que no existen diferencias en función del NDF o por el área de interés. Asimismo, la percepción de los estudiantes con relación al bienestar animal fue analizada mediante ocho reactivos (Figura 2). En dos reactivos se observó diferencia por área de interés ($P < 0,05$). El primer reactivo indaga sobre el dolor en los animales de granja ($P = 0,027$) y el segundo sobre sí los animales de compañía deberían mostrar el comportamiento natural a su especie ($P = 0,018$). En ambos reactivos, las afirmaciones ciertamente, sí, fueron mayores en los estudiantes interesados en el área de producción. El bienestar animal fue considerado por los estudiantes como necesario en el manejo de los animales y enseñanza universitaria ($P < 0,0001$).

Percepción de los procedimientos zootécnicos

En la figura 3 se observa que el procedimiento de la castración en adultos fue considerado positivo en tres de las seis especies: ovi-caprino ($P = 0,0426$), cerdo ($P = 0,0098$) y equino ($P = 0,0003$). La castración de los ovicaprinos difiere en que los estudiantes del área de producción del núcleo disciplinar la consideran positiva (16 %) mientras que los del área de medicina contestaron en su mayoría indicaron que desconocen (23 %). De manera similar los estudiantes de medicina del núcleo disciplinar indicaron en un 20 % que desconocen sí realizar la castración en cerdos adultos es positivo o no lo es y un 6 % respondieron que lo consideran negativo,

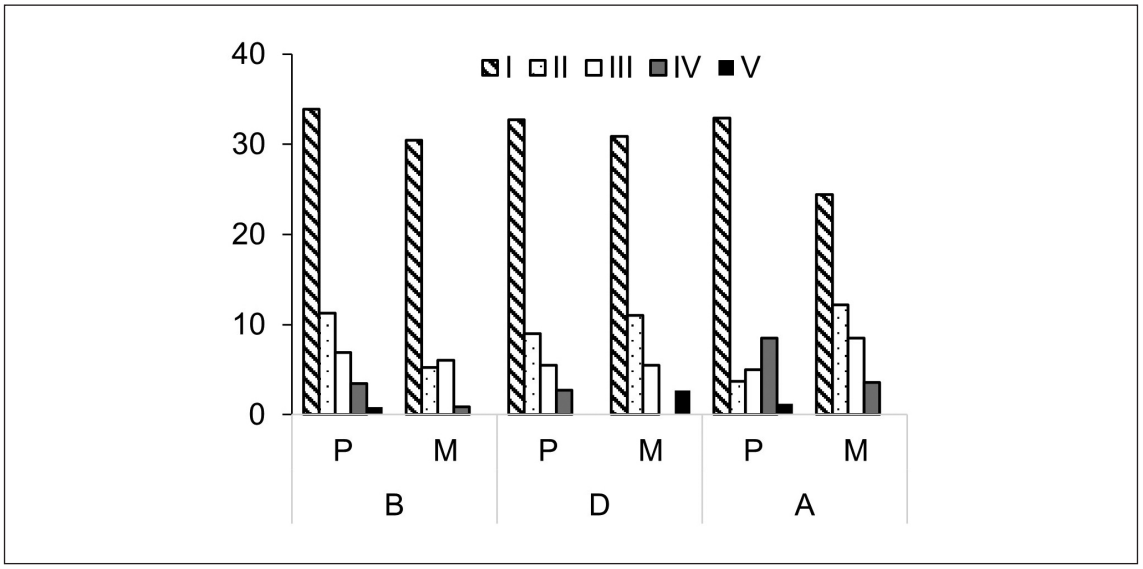


Figura 1. Porcentaje de los estudiantes de medicina veterinaria y zootecnia que definen el bienestar animal según área de interés deseada (P: Producción y M: Medicina) y núcleo de formación (B: Básico, D: Disciplinar y A: Avanzado). I: Se refiere a la forma en que son tratados los animales proporcionándoles una mejor calidad de vida; II: Se refiere al respeto a todos los animales; III: Va más allá que solo la protección animal; IV: Se refiere a contribuir a la mejor calidad de los productos de origen animal; V: Es lo mismo que protección animal.

Figure 1. Percentage of veterinary medicine and zootechnics students who define animal welfare according to the desired area of interest (P: Production and M: Medicine) and training nucleus (B: Basic, D: Disciplinary and A: Advanced). I: It refers to how animals are treated, providing them with a better quality of life; II: It refers to respect for all animals; III: It goes beyond just animal protection; IV: It refers to contributing to the best quality of products of animal origin; V: It is the same as animal protection.

mientras que los estudiantes con afinidad al área de producción consideraron en un 24 % que es un procedimiento positivo. La misma tendencia se observó en la especie equinos donde el 38 % de los estudiantes de producción del núcleo disciplinar consideró positivo realizar la castración en equinos adultos mientras que el 19 % de los estudiantes del área de medicina desconoce si es positivo. De manera similar, la castración en las crías fue considerada positiva en tres de cinco especies: bovino (P = 0,0001), ovi-caprino (P = 0,0002) y cerdo (P = 0,0018), donde los estudiantes del área de producción del núcleo disciplinar consideran este procedimiento positivo (bovino, 29 %; ovi-caprino, 24 % y cerdo, 30 %) pero los estudiantes del área de medicina respondieron que desconocen si la castración de crías es positivo o negativo (bovino, 24 %; ovi-caprino, 27 % y cerdo, 21 %).

El marcaje con hierro caliente es considerado un procedimiento negativo en tres de las cuatro especies evaluadas (Figura 4), con diferencias en tres especies: bovino (Básico, P = 0,0004; Disciplinar, P = 0,0001 y Avanzado: P = 0,0133), ovi-caprino (Disciplinar, P = 0,0236) y equinos (Disciplinar, P = 0,0001; Avanzado, P = 0,0064). Los estudiantes del área de medicina del NDF básico consideraron que esta práctica es negativa en un 25 % mientras que los del área de producción la consideran positiva en un

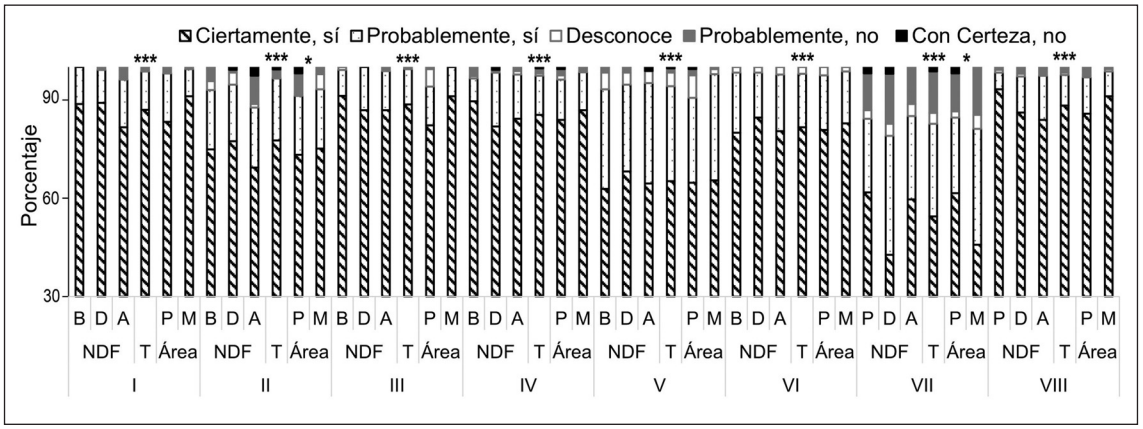


Figura 2. Percepción de los estudiantes de medicina veterinaria y zootecnia sobre el bienestar animal según área de interés deseada (P: Producción y M: Medicina) y núcleo de formación (B: Básico, D: Disciplinar y A: Avanzado). I: Proteger el bienestar animal ¿Es importante?; II: Los animales de granja, ¿Tienen dolor?; III: Los animales de granja, ¿Deberían ser bien alimentados, con cuidados de salud y resguardo?; IV: Los animales de granja, ¿Deberían ser libres de miedo y estrés?; V: Los animales de granja, ¿Sienten emociones negativas y positivas?; VI: Los animales de compañía, ¿Sienten emociones negativas y positivas?; VII: Los animales de compañía, ¿Deberían mostrar el comportamiento natural de su especie?; VIII: ¿El bienestar animal debería de ser parte de la enseñanza en la carrera de Medicina Veterinaria y Zootecnia?
Figure 2. Perception of veterinary medicine and zootechnics students on animal welfare according to desired area of interest (P: Production and M: Medicine) and training nucleus (B: Basic, D: Disciplinary and A: Advanced). I: Protecting animal welfare, Is it important?; II: Farm animals, do they have pain?; III: Farm animals, should they be well fed, with health care and protection?; IV: Farm animals, should they be free from fear and stress?; V: Farm animals, do they feel negative and positive emotions +?; VI: Do pets feel negative and positive emotions +?; VII: Pets, should they show the natural behavior of their species?; VIII: Should animal welfare be part of the teaching in Veterinary Medicine and Zootechnics?

27 %. La misma tendencia fue observada para esta especie en el NDF disciplinar donde el 28 % de los estudiantes consideran este procedimiento negativo en un 28 % y los del área de producción solo en un 21 % lo consideraron así. En un 29 % los estudiantes del NDF avanzado del área de producción considerando positivo la marca con hierro caliente que se contrapone a lo expresado por el área de medicina que solo lo aprueba en un 13 %. El marcaje con hierro caliente para los ovi-caprinos fue calificado como positivo en 2 % por los estudiantes del NDF disciplinar del área de medicina mientras que los estudiantes del área de producción lo consideraron positivo en un 10 %. En equinos el marcaje fue considerado positivo en un 25 % por los alumnos del área de producción animal mientras que los de medicina solo 6 %. La misma tendencia fue observada para el NDF avanzado donde el 28 % de los estudiantes del área de producción calificaron el marcaje con hierro como positivo, pero solo el 9 % de los alumnos del área de medicina lo calificaron de esta manera. En tanto, el marcaje con tatuaje fue considerado positivo en cuatro de las seis especies evaluadas, pero solo se observaron diferencias en dos especies: ovi-caprino (P = 0,0295) y equino (P = 0,0006) donde el 21 % y el 37 % del área de medicina indicaron que desconocen si el tatuaje como marca es positivo o no.

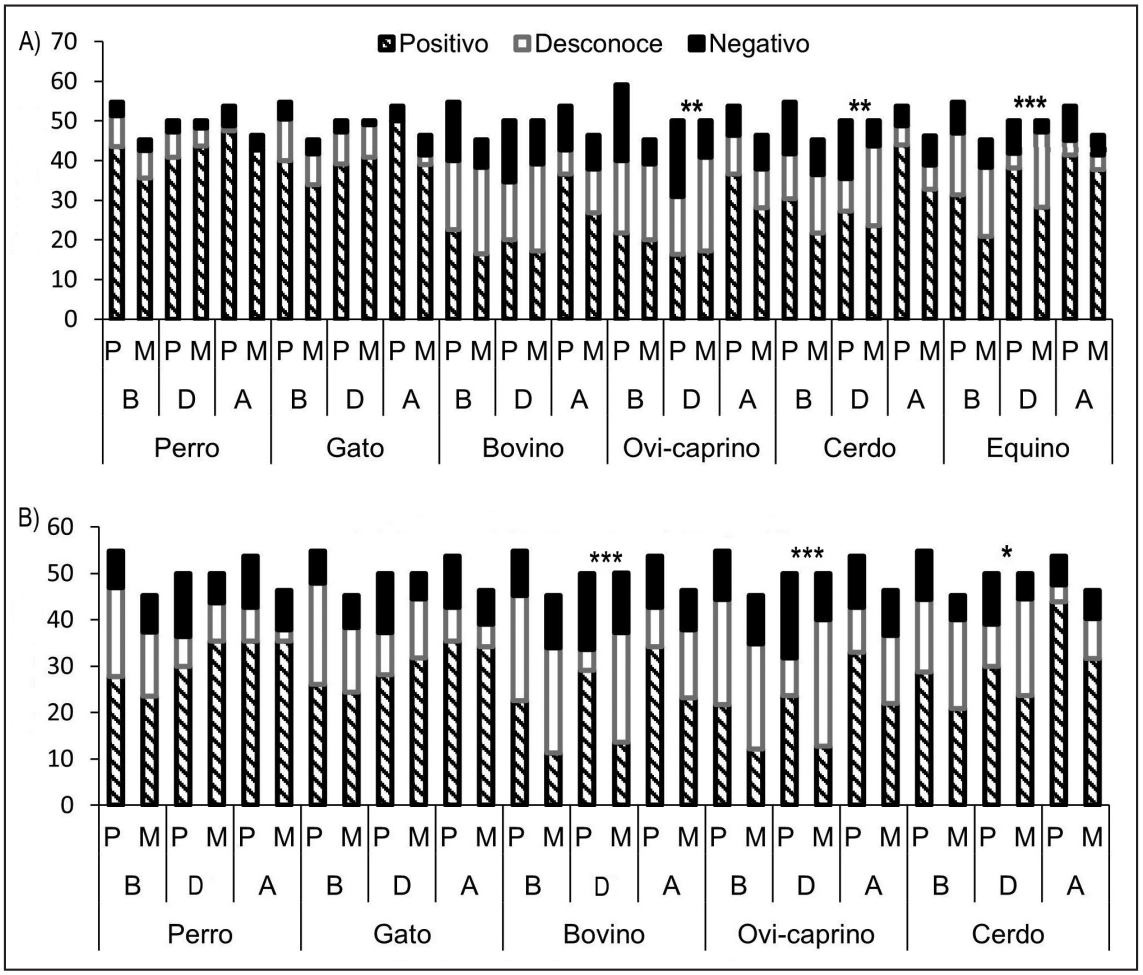


Figura. 3. Porcentaje de estudiantes de medicina veterinaria y zootecnia que consideran el procedimiento de castración en adultos (A) y en jóvenes (B) como positivo, desconoce o negativo según área de interés deseada (P: Producción y M: Medicina) y núcleo de formación (B: Básico, D: Disciplinar y A: Avanzado).
Figure 3. Percentage of veterinary medicine and animal husbandry students who consider the castration procedure in adults (A) and youngsters (B) as positive, unknown, or negative according to the desired area of interest (P: Production and M: Medicine) and training nucleus (B: Basic, D: Disciplinary and A: Advanced).

En la figura 5 se observa que el descorné en el bovino (Básico, P = 0,0008; Disciplinar, P = 0,0029) y ovi-caprino (Disciplinar, P = 0,0032), así como el descolmillé en el cerdo (Disciplinar, P = 0,0006) fueron considerados procedimientos positivos. El descorné en la especie bovina fue calificado como positivo en un 37 % por los estudiantes del NDF básico y en un 35 % por los estudiantes del NDF disciplinar mientras que los estudiantes del área de medicina lo calificaron como positivo (16 %) pero en menor proporción (24 %) que los de área de producción animal. Los estudiantes de área de producción consideran positivo el des-

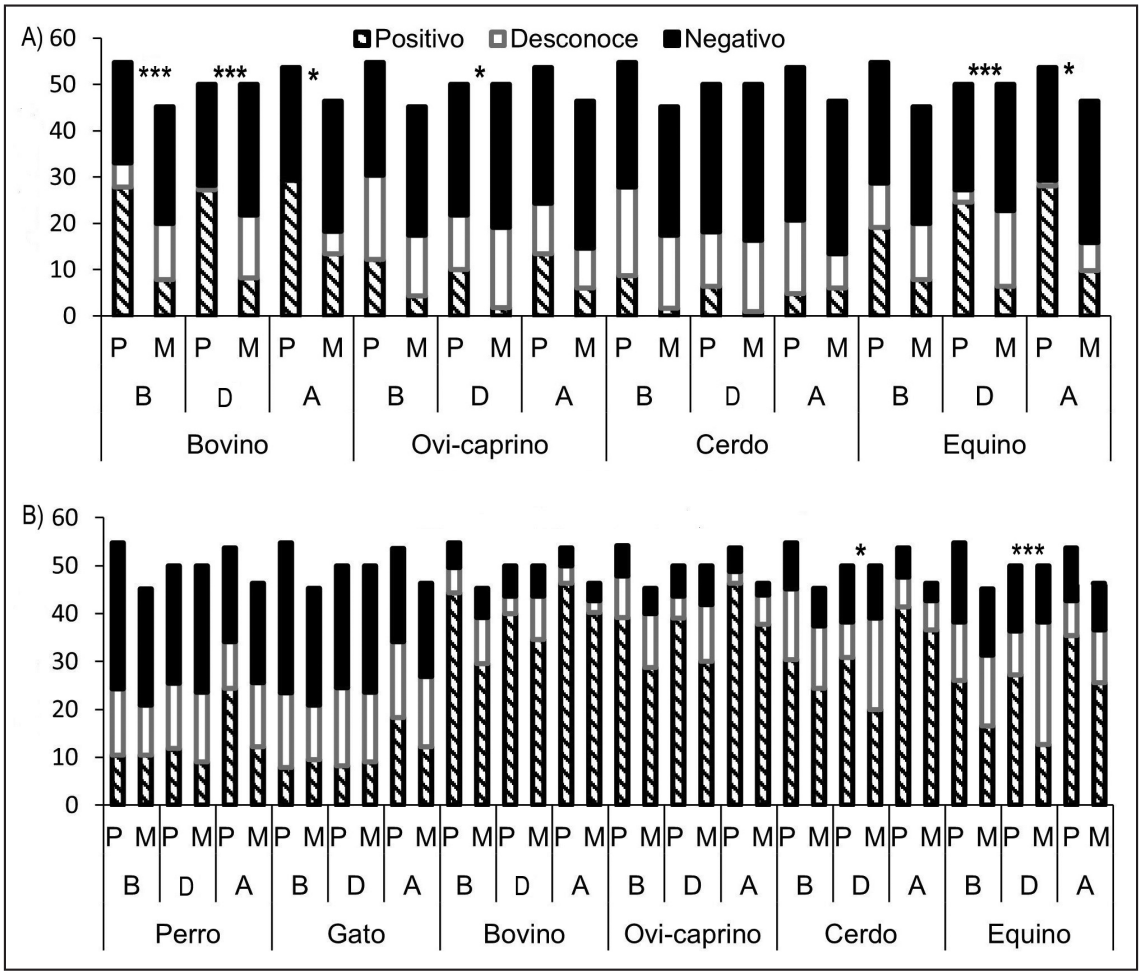


Figura 4. Porcentaje de estudiantes de medicina veterinaria y zootecnia que consideran los procedimientos de marcaje con hierro caliente (A) y con tatuaje (B), como positivos, desconoce, o negativos según área de interés deseada (P: Producción y M: Medicina) y núcleo de formación (B: Básico, D: Disciplinar y A: Avanzado).
Figure 4. Percentage of veterinary medicine and animal husbandry students who consider hot iron (A) and tattoo (B) marking procedures as positive, unknown, or negative according to the desired area of interest (P: Production and M: Medicine) and nucleus training (B: Basic, D: Disciplinary and A: Advanced).

corné en los ovi-caprinos en un 25 % mientras que los estudiantes del área de medicina consideran que desconocen si es positivo. El descolmillé en cerdos fue considerado positivo en un 37 % por los estudiantes de área de producción mientras que solo un 24 % lo calificaron de esta forma los estudiantes del área de medicina y además el 17 % de estos estudiantes indicó que desconocen. La alimentación forzada fue considerada negativa en las siete especies evaluadas y no se observaron diferencias por NDF o área de interés deseada.

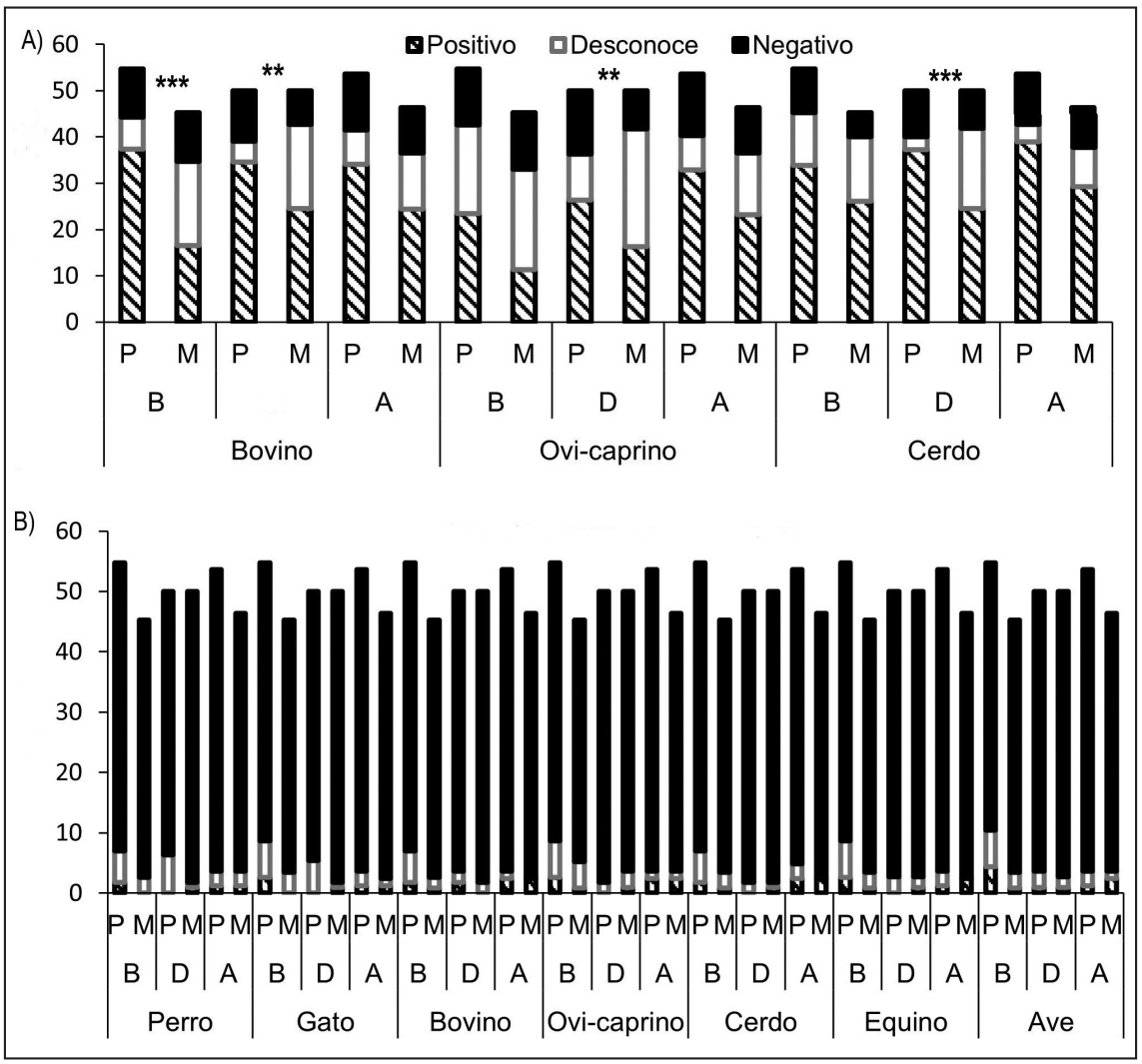


Figura 5. Porcentaje de estudiantes de medicina veterinaria y zootecnia que consideran los procedimientos de descolmillé y descorné (A) alimentación forzada o restricción de alimento (B) como positivo, desconoce, o negativo según área de interés deseada (P: Producción y M: Medicina) y núcleo de formación (B: Básico, D: Disciplinar y A: Avanzado).

Figure 5. Percentage of veterinary medicine and animal husbandry students who consider the procedures of pickling and dehorning (A) forced feeding and food restriction (B) as positive, unknown, or negative according to the desired area of interest (P: Production and M: Medicine) and core training (B: Basic, D: Disciplinary and A: Advanced).

Percepción sobre la capacidad de aprendizaje, emocional e influencia del ambiente

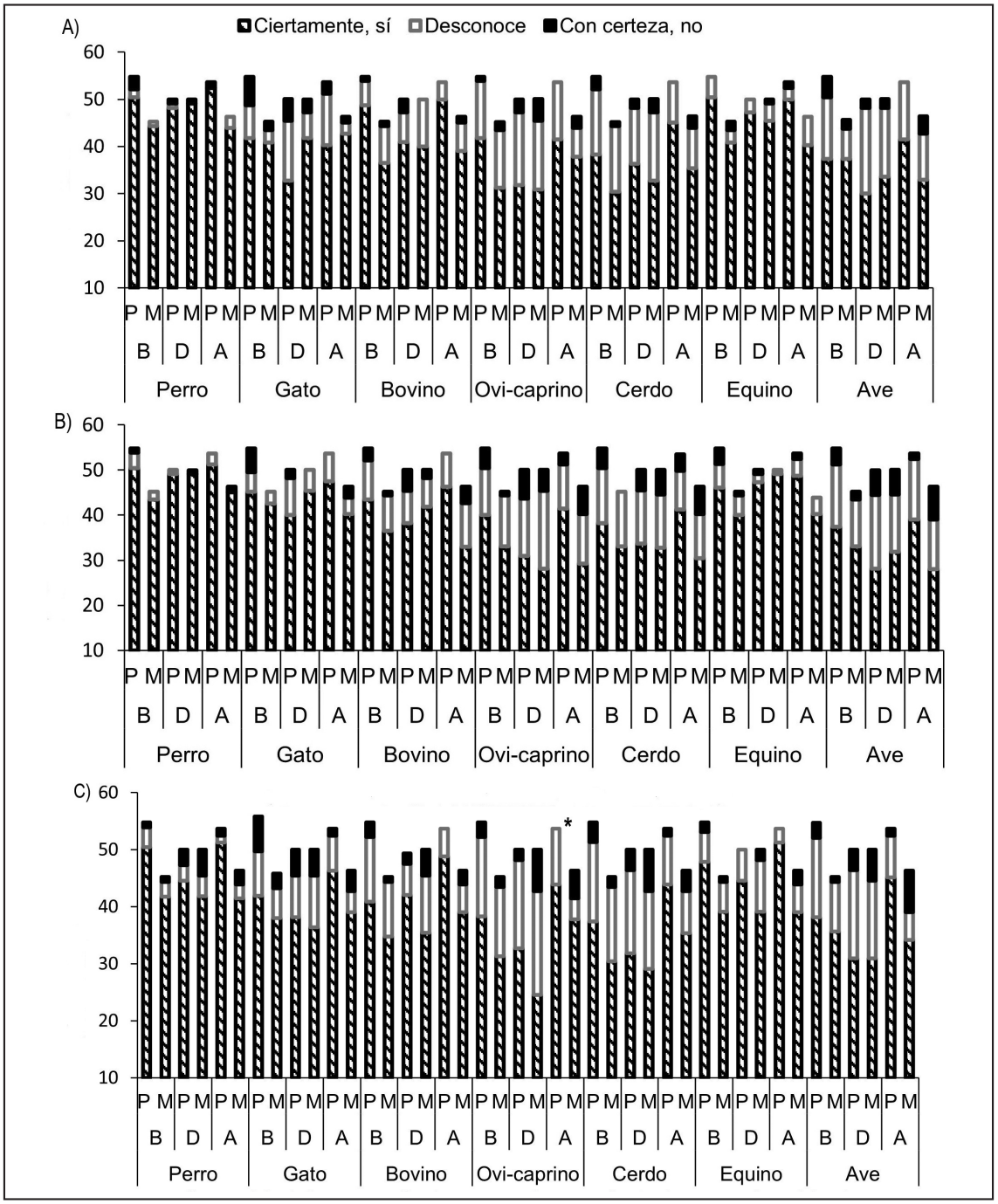
Los estudiantes de medicina veterinaria y zootecnia consideraron que las siete especies tienen capacidad de aprendizaje ($P = 0,0001$, Figura 6) pero no se mostraron diferencias por NDF o por área de interés ($P > 0,05$). Los estudiantes consideraron que las siete especies poseen emociones ($P = 0,0001$), pero no se observaron diferencias por NDF o por área de interés ($P > 0,05$). De manera similar, los alumnos consideraron que el ambiente influye en la capacidad de aprendizaje y las emociones en las siete especies ($P = 0,0001$). Los estudiantes del NDF avanzado del área de producción consideraron que el ambiente influye en la capacidad de aprendizaje y las emociones de los ovi-caprinos en un 43 % mientras que los del área de medicina indicaron en un 4 % que no influye y en un 3 % que desconocen ($P = 0,0442$).

Discusión

Los estudiantes de medicina veterinaria y zootecnia tuvieron mayor preferencia por el área de animales de producción (51 %), seguida del área de los animales de compañía (26 %). Este resultado puede ser debido a que el Estado de Tamaulipas es una región ganadera que exporta su producción a Estados Unidos de América (Peel *et al.,* 2010), generando fuentes de empleo y esto puede alentar la decisión de los estudiantes por el área de producción animal. Serpell (2004) observó también diferencias en la preferencia laboral entre los estudiantes que residen en la ciudad con respecto a los que provienen del área rural, los primeros prefieren el área de animales de compañía. Cornish *et al.* (2016) realizaron un estudio que incluyó a ocho universidades de Australia y Nueva Zelanda, de medicina veterinaria y observaron que los estudiantes tuvieron preferencias inclinadas hacia los animales de compañía. No obstante, en años más recientes en otro estudio Lloyd *et al.* (2020) mencionan que, en países como Australia y Nueva Zelanda, la mayoría de los estudiantes (57 %) desean trabajar en forma mixta (producción y animales de compañía) al finalizar sus estudios. De manera similar al presente estudio las áreas diferentes a producción animal o animales de compañía son notoriamente menos preferidas. Es importante considera que la carrera de medicina veterinaria ofertada en países europeos, así como Estados Unidos de América enfoca sus estudios desde el punto de vista médico-clínico, sin embargo, en México la carrera de medicina veterinaria incluye la parte zootécnica, esto puede influenciar la respuesta de los estudiantes.

Percepción sobre el bienestar animal

La mayoría de los estudiantes coincide en que el bienestar animal de los animales se refiere a la forma en que son tratados los animales proporcionándoles una mejor calidad de vida. En la literatura se encuentran tres definiciones de bienestar animal: La primera indica que el bienestar animal reside en términos del cuerpo y el entorno físico. El segundo concepto aborda la correlación entre la mente, los sentimientos y las emociones. El tercer concepto establece que el bienestar animal es la capacidad de los animales para poseer una vida natural (Van Beirendonck *et al.,* 2011). Los estudiantes de la FMVZ-UAT poseen en su matrícula asignaturas como Manejo y Comportamiento Animal y Seminario de Bioética, por lo cual el resultado observado puede ser debido al conocimiento sobre el Bienestar Animal que se otorga en el núcleo básico de formación en la carrera. Además de Aluja (2011) menciona que es necesario que los médicos veterinarios conozcan el comportamiento de los animales, sus bases


A)
Ciertamente, sí
Desconoce
Con certeza, no
60
50
40
30
20
10
P M P M P M

fisiológicas y neurológicas para procurarles una mejor calidad de vida a los animales, que esto incrementará la rentabilidad y productividad de las empresas pecuarias, pero además puede propiciar una mayor esperanza de vida a las especies pues se pueden evitar lesiones. Asimismo, los veterinarios al ejercer su carrera tienen una alta responsabilidad social y la incorporación del bienestar animal en su currículo puede coadyuvar el desarrollo de legislaciones y regulaciones en el país para el aprovechamiento y cuidado de los animales (Lloyd *et al.,* 2020).

Phillips y McCulloch (2005) realizaron un estudio intercultural para investigar las creencias de los estudiantes sobre la sensibilidad animal y las actitudes hacia el uso de los animales. Los estudiantes europeos y los de Estados Unidos son menos tolerantes a la crueldad hacia los animales para consumo y se preocupan más por el sufrimiento de los animales, en comparación con los estudiantes asiáticos. Por su parte, Nunes *et al.* (2011) reportaron una disminución de la empatía desde el primer año de licenciatura en diferentes áreas médicas que incluyen a la medicina veterinaria, y menciona que es debido a un fenómeno de "adaptación" con un cambio del idealismo al realismo, que implican nuevas responsabilidades y una carga de trabajo cada vez mayor. Con esto en mente, los educadores de las ciencias médicas deben considerar abordar esos factores para evitar la disminución de la empatía en los estudiantes. Durante la formación educativa los estudiantes de medicina veterinaria y zootecnia se someten a procesos que pueden resultar difíciles, como el posible malestar visceral que es inducido por presenciar cirugías, o la culpa y angustia que se genera ante la preocupación de salvar la vida del animal. Se ha observado que los estudiantes presentan una actitud distante hacia sus pacientes para hacer frente al estrés y al conflicto al que están sometidos durante el proceso (Paul y Podberscek, 2000).

Percepción de los procedimientos zootécnicos

El marcaje con hierro caliente y alimentación forzada o restrictiva fueron los procedimientos zootécnicos que desde la perspectiva de los estudiantes son negativos (no humanitarios). Levine *et al.* (2005) observaron que aquellos estudiantes que aspiran a dedicarse a trabajar con animales para consumo consideraron que los procedimientos zootécnicos son positivos en todas las especies. De manera similar, en el presente estudio los estudiantes de área de producción se mostraron a favor de los procedimientos en las especies de animales. De igual manera los resultados encontrados por Ostovi *et al.* (2016) mostraron que los estudiantes que preferían trabajar con animales de compañía se preocupaban más por el bienestar animal que los que eligieron trabajar con animales de granja, esto podría explicarse con el efecto del medio ambiente temprano (convivir desde pequeños con animales de granja). Sin embargo, según lo informado por Hazel *et al.* (2011), estudiantes de veterinaria en la Universidad de Adelaide (Australia) eligiendo trabajar con animales de granja también mostraron menos empatía por esta categoría de animales, mientras que aquellos que prefieren trabajar con la vida silvestre tenía más empatía por los animales de granja. Serpell (2004) explica que desde el punto de vista utilitario característico de la cultura del alimento animal la producción ha superado las respuestas afectivas a animales, que generalmente están relacionados con mascotas, es decir, en valorar sus niveles de afecto y percepción de utilidad y que los estudiantes están orientados por el tipo de animal y su función básica, de tal forma que las especies animales son percibidas de diferente manera. Por su parte, Degeling *et al.* (2017) evaluaron la clasificación de los temas de bienestar animal y ética (AWE, por sus siglas en inglés), donde los estudiantes de veterinaria

dieron más importancia a las competencias de AWE asociadas con la práctica clínica (como la castración y la eutanasia) que a los comportamientos profesionales (como el exceso de servicios y la cría de animales). Asimismo, Cornish *et al.* (2018) señalan que los estudiantes poseen una comprensión alta sobre el tema de eutanasia y consideran los procedimientos zootécnicos durante la explotación pecuaria importantes.

Percepción sobre la capacidad de aprendizaje, emocional e influencia del ambiente

Los estudiantes de medicina veterinaria y zootecnia consideran que la capacidad de aprendizaje está presente en las especies de mayor a menor en la siguiente jerarquía: perro > equino > gato > bovino > cerdo > ovicaprino > ave. No obstante, se observó una diferencia entre los grupos en la especie gato donde los estudiantes del área de medicina indicaron en un mayor porcentaje que éstos tienen la capacidad de presentar emoción y un 19 % de los alumnos del área de producción indicó que desconocía. Estudiantes universitarios han considerado que los perros y los gatos tienen mayores capacidades de aprendizaje en comparación con los animales de granja (Levine *et al.,* 2005). Esta opinión puede justificar el interés principal sobre el bienestar de las mascotas y en parte explica la jerarquía que se observa entre especies donde el perro y el equino fueron los mejores calificados. Sin embargo, las diferencias en la percepción de los estudiantes sobre las capacidades emocionales y de aprendizaje de los animales de compañía y animales de granja también podrían depender de la falta de conciencia del estado actual del conocimiento científico sobre las capacidades aprendizaje y emocionales de las especies domésticas. Además, un estudio sobre la actitud de los estudiantes de secundaria y universitarios hacia el bienestar animal fueron mejor calificados en mascotas que los relacionados con los animales de granja (Mazas *et al.,* 2013). Los resultados relacionados con el ganado son similares a los del IRTA (2016) donde los estudiantes de otras facultades solo estaban moderadamente preocupados por los animales de granja. Es posible que la percepción diferente de los estudiantes de veterinaria sobre el bienestar del ganado se deba al mayor tiempo que los estudiantes pasan en una granja de ganado en comparación, por ejemplo, con una granja de pollos (Ostovi *et al.,* 2016). Por esta razón, los bovinos probablemente se perciben como más sensibles que otros animales en granjas (Paul y Podberscek, 2000; Levine *et al.,* 2005). Además, existen estándares morales diferentes en las especies animales (Te Velde *et al.,* 2002), y que el interés hacia las disímiles especies aumenta con la proximidad filogenética de la especie humana (Franco y Olsson, 2014). Es así como otras investigaciones describieron que los estudiantes tienen más probabilidades de creer que el bovino y cerdo pueden pensar y son capaces de tener emociones en comparación con las aves de corral (Levine *et al.*, 2005; Ostovi *et al.,* 2016). Por lo tanto, es importante fomentar la revisión de estudios involucrados con las capacidades de aprendizaje de las diferentes especies animales. Otro estudio realizado por Hazel *et al.* (2011) en estudiantes de medicina veterinaria de la Universidad de Adelaide en Australia mostró que las actitudes positivas hacia las mascotas fueron mayores, con respecto a los insectos, animales considerados como plagas o animales para consumo.

Conclusión

Los encuestados jerarquizaron el bienestar animal como: alimentación, salud y resguardo > enseñanza del bienestar animal > miedo y estrés > emociones positivas y negativas > dolor > comportamiento natural. Los proce-

dimientos de castración, marcaje con tatuaje, descorné y descolmillado fueron considerados positivos en los animales de interés zootécnico mientras que el marcaje con hierro caliente, alimentación forzada o restrictiva fue considerado negativo. Los estudiantes con interés en el área de producción de animales de interés zootécnico indicaron mayor desconocimiento sobre el dolor de los animales, las emociones y la capacidad de aprendizaje. Finalmente, los estudiantes consideraron que los animales poseen capacidad de aprendizaje y emocional afectadas por el ambiente según la siguiente jerarquía de especie: perro > equino > gato > bovino > cerdo > ovi-caprino> ave.

Agradecimientos

A los estudiantes participantes en el presente estudio de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma de Tamaulipas.

Referencias bibliografías

Ahola JK (2015). Animal Welfare implications of beef industry practices: dehorning, castration, and branding. Proceding The XXIV Range Beef Cow Symposium, 16-19 noviembre, Loveland, Colorado, USA.

Cornish AR, Caspar GL, Collins T, Degeling C, Fawcett A, Fischer AD, Freire R, Hazel SJ, Hood J, Johnson AJ, Lloyd J, Philips CJC, Stafford K, Tzioumis V, McGreevy PD (2016). Career preferences and opinions on animal welfare and ethics: A survey of veterinary students in Australia and New Zealand. Journal of Veterinary Medical Education 43: 310-320. https://doi.org/10.3138/jvme.0615-091R2.

Cornish A, Fisher AD, Collins T, Dereling C, Freire R, Hazel SJ, Hood J, Lloyd JK, Philips CJC, Stafford KJ, Tzioumins V, McGreevey PD (2018). Ranking of production animal welfare and ethics issues in Australia and New Zealand by veterinary students. Veterinary Sciences 5: 65. https://doi.org/10.3390/vetsci5030065.

de Aluja AS (2011). Bienestar animal en la enseñanza de medicina veterinaria y zootecnia. ¿Por qué y para qué? Veterinaria México 42: 137-147.

Degeling C, Fawcett A, Collins T, Hazel S, Johnson J, Lloyd J, Philips CJC, Stafford K, Tzioumins V, McGreevy P (2017). Students' opinions on welfare and ethics issues for companion animals in Australian and New Zealand veterinary schools. Australian Veterinary Journal 95: 189-193. https://doi.org/10.1111/avj.12590.

Franco NH, Olsson IAS (2014). Scientists and the 3Rs: Attitudes to animal use in biomedical research and the effect of mandatory training in laboratory animal science. Laboratory Animals 48: 50-60. https://doi.org/10.1177/0023677213498717.

Hazel SJ, Signal TD, Taylor N (2011). Can teaching veterinary and animal-science students about animal welfare affect their attitude toward animals and human-related empathy? Journal of Veterinary Medical Education 38: 74-83. https://doi.org/10.3138/jvme.38.1.74.

IRTA (2016). Study on education and information activities on animal welfare. Educawel Contract-Sanco/2013/G3/SI2.649393. IRTA – Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries, 190 pp.

Levine ED, Mills DS, Houpt KA (2005). Attitudes of veterinary students at one US college toward factors relating to farm animal welfare. Journal of Veterinary Medical Education 32: 481-490. https://doi.org/10.3138/jvme.32.4.481.

Lloyd JKF, Collins T, Cornish AR, Degeling C, Fawcett A, Fisher AD, Freire R, Hazel SJ, Hood J, Johnson J, Phillips CJC, Stafford KJ, Tzioumis V, McGreevy PD (2020). Australian and New Zealand veterinary students' ranking of issues in aquatic animal welfare and ethics. Anthrozoös 33: 325-337. https://doi.org/10.1080/08927936.2020.1746522.

Mazas B, Fernández Manzanal MR, Zarza FJ, María GA (2013). Development and validation of a scale to assess students' attitude towards animal welfare. International Journal of Science Education 35: 1775-1799. https://doi.org/10.1080/09500693.2013.810354.

Nunes P, Williams S, Sa B, Stevenson K (2011). A study of empathy decline in students from five health disciplines during their first year of training. International Journal Medical Education 2: 12-17. https://doi.org/10.5116/ijme.4d47.ddb0.

Ostović M, Mesić Z, Mikuš T, Matković K., Pavićić Ž (2016). Attitudes of veterinary students in Croatia toward farm animal welfare. Animal Welfare 25: 21-28. https://doi.org/10.7120/09627286.25.1.021.

Paul ES, Podberscek AL (2000). Veterinary education and students' attitudes towards animal welfare. Veterinay Record 146: 269-272. https://doi.org/10.1136/vr.146.10.269.

Peel DS, Johnson RJ, Mathews KH (2010). Cow-calf beef production in Mexico. A report from the economic research service. USDA LDP-M-196-01.

Phillips CJC, McCulloch S (2005). Student attitudes on animal sentience and use of animals in society. Journal of Biological Education 40: 17-24. https://doi.org/10.1080/00219266.2005.9656004.

Serpell JA (2004). Factors influencing human attitudes to animals and their welfare. Animal Welfare 13: S145-151.

Te Velde H, Aarts N, Van Woerkum C (2002). Dealing with Ambivalence: Farmer's and cosmumers' perceptions of animal welfare in livestock breeding. Journal of Agricultural Environmental Ethics 15: 203-219. https://doi.org/10.1023/A:1015012403331.

Van Beirendonck S, Driessen B, Verbeke G, Geers R (2011). Behavior of piglets after castration with or without carbon dioxide anesthesia. Journal of Animal Science 89: 3310-3317. https://doi.org/10.2527/jas.2010-3104.

(Aceptado para publicación el 27 de agosto de 2021)

Evaluación de medidas de seguridad en el suministro de agua de riego. El caso de la comunidad de regantes Genil-Cabra

Francisco Alcon[1,*], Víctor Martínez-García[1], Margarita García-Vila[2], Erasmo López-Becerra[1,a], José Miguel Martínez-Paz[3] y Elías Fereres[2]

[1] Departamento de Economía de la Empresa. Universidad Politécnica de Cartagena. Paseo Alfonso XIII, 48. 30203 Cartagena, España
[a] Universitat Politècnica de València. Departamento de Economía y Ciencias Sociales (DECS). Facultad de Administración y Dirección de Empresas Camino de Vera, s/n Edificio 7J, 46022 Valencia, España
[2] DAUCO, Universidad de Córdoba e Instituto de Agricultura Sostenible. CSIC. Córdoba. Avda. Menéndez Pidal, s/n. 14004 Córdoba, España
[3] Departamento de Economía Aplicada. Universidad de Murcia. Facultad de Economía y Empresa. Campus de Espinardo. 30100 Murcia, España

Resumen

El éxito de la adopción de medidas encaminadas a mejorar la garantía del suministro de agua de riego, tanto desde el punto de vista de la oferta como de la demanda, depende de su aceptación por los regantes, siendo la evaluación previa a su implementación de gran utilidad para la toma de decisiones.

En este contexto, el objetivo de este trabajo es valorar los efectos de una de las medidas más utilizadas en la gestión de la oferta como es el aumento de la capacidad de almacenamiento y regulación, sobre el beneficio de los regantes. También se identifican aquellas características de los agricultores y las explotaciones que influyen en la heterogeneidad de las preferencias, y su efecto sobre la evolución temporal de la valoración. Para ello se ha utilizado la metodología de valoración contingente en la comunidad de regantes del Genil-Cabra (Córdoba, España)

Los resultados indican que los agricultores están dispuestos a pagar en media 23 €/ha y año para asegurar el suministro de agua, cifra que no cubriría los costes de la medida (38 €/ha y año). La renta anual neta y la superficie de cada tipo de cultivo, condicionada a la posibilidad de ser cultivado en secano, influyen sobre la preferencia individual de los regantes. Estos resultados, junto con la distribución espacial de las valoraciones individuales realizadas, ayudarán a los encargados de la gestión de la comunidad de regantes y el organismo de cuenca a tomar decisiones informadas sobre la adopción de medidas que permitan asegurar el suministro en el agua de riego.

Palabras clave: Valoración contingente, aceptabilidad, regadío, Córdoba.

Assessment of irrigation water security measures: The case of the Genil-Cabra Irrigation Community

Abstract

Adoption success of measures aimed at improving irrigation water supply reliability, both from the supply and demand side, depends on their acceptance by irrigators, being the evaluation prior to their imple-

* Autor para correspondencia: francisco.alcon@upct.es

Cita del artículo: Alcon F, Martínez-García V, García-Vila M, López-Becerra E, Martínez-Paz JM, Fereres E (2022). Evaluación de medidas de seguridad en el suministro de agua de riego. El caso de la comunidad de regantes Genil-Cabra. ITEA-Información Técnica Económica Agraria 118(2): 277-295. https://doi.org/10.12706/itea.2021.022

mentation very useful for decision-making. In this context, this work aims to assess the effects of one of the most widely used measures in supply management, such as the increase in storage and regulation capacity, on the irrigators' profits. It also aims to identify the farmers and farms characteristics that influence the heterogeneity of preferences, and their effect on the temporal evolution of valuation. For these purposes, the contingent valuation methodology has been used in the Genil-Cabra irrigation community (Cordoba, Spain). Results show that farmers are willing to pay on average 23 €/ha year to secure water supply, which would not cover the costs of the measure for increasing storage (38 €/ha year). The net annual income and the area of each type of crop, conditional on the possibility of being grown rainfed, influenced the individual preference of irrigators. These results, together with the spatial distribution of the individual assessments made, should help the irrigation community management and the Water Authority to make informed decisions on measures to secure irrigation water supply.

Keywords: Contingent valuation, acceptability, irrigation, Córdoba.

Introducción

En España, la agricultura de regadío se encuentra especialmente amenazada. Mientras que el uso del agua de riego se ha reducido en las últimas dos décadas (INE, 2018), la superficie regada se ha incrementado en más del 10 % (MAPA, 2019) y sigue siendo la actividad humana que más recursos hídricos emplea (INE, 2018). Ello lleva a mayores tensiones entre la oferta y la demanda de agua del regadío en muchas regiones españolas. Además, las predicciones sobre el cambio climático indican un aumento en las temperaturas y un posible descenso de las precipitaciones, fruto de una posible agudización de los fenómenos meteorológicos extremos como sequías e inundaciones (IPCC, 2020). Como consecuencia de todo ello, es esperable una menor disponibilidad de agua y mayor incertidumbre en el suministro de dotaciones adecuadas en muchas zonas regables (Leal García y Gómez Cantero, 2015; Gómez-Limón y Guerrero-Baena, 2019). Esta situación tendrá un impacto considerable en el sector agrario, dado que en España el regadío supone cerca del 60 % de la Producción Final Agraria, empleando aproximadamente un 20 % de la superficie agrícola del país. Desde el punto de vista económico, el regadío contribuye con el 75 % de la aportación del sector primario al PIB (MAPA, 2019), dado que una hectárea de regadío genera, por término medio, un margen neto 6,5 veces superior a una hectárea de secano (Colino Sueiras y Martínez-Paz, 2020).

Ante la necesidad de adaptación de la agricultura de regadío a las condiciones pronosticadas por las futuras proyecciones climáticas, es preciso adoptar medidas encaminadas a mejorar la seguridad del suministro del agua de riego. Estas pueden actuar sobre la demanda del agua, limitándola, o sobre la oferta, incrementando el volumen disponible. En España tradicionalmente han predominado las medidas que actúan sobre la oferta, basadas en grandes inversiones destinadas a medidas estructurales y trasvases (Alcon *et al.*, 2014), aunque recientemente se han considerado dentro de estas la incorporación de fuentes no-convencionales, como la reutilización de aguas residuales o la desalación. La modernización del regadío español, mejorando las infraestructuras e introduciendo sistemas de riego a presión ha reducido la demanda de muchas zonas regables. Adicionalmente, otras medidas que actúan sobre la demanda se adoptan por los propios agricultores, permitiéndoles equilibrar sus necesidades con el volumen de agua disponible por explotación (Alcon *et al.*, 2019). Entre las medidas de gestión de la demanda se incluye el riego localizado (Alcon *et al.*, 2011), las estrategias de riego deficitario encaminadas a maximizar la productividad del

agua y los mercados de agua (Alcon *et al.*, 2014), los contratos de uso o los planes de seguro contra la sequía (Guerrero-Baena *et al.*, 2019; Gómez-Limón y Guerrero-Baena, 2019; Gómez-Limón, 2020).

Independientemente del ámbito de actuación de cada medida, el éxito de esta dependerá de su aceptación por parte de los usuarios. Dicha aceptabilidad estará condicionada, entre otros aspectos, por sus costes y beneficios. Los costes de implantación de una medida son generalmente fácilmente medibles en términos monetarios. Sin embargo, conocer los beneficios derivados de aumentar la seguridad del suministro, no es una estimación directa, debido a la inexistencia de un mercado en el que se comercialice garantía del suministro de un volumen de agua como tal. Pese a que el agua tiene un precio asignado para los regantes, su coste no se ajusta a un mecanismo de mercado de asignación vía un precio, sino que se establece administrativamente a partir de tarifas públicas generalmente basadas en el principio de recuperación de costes de distribución y gestión (Colino Sueiras y Martínez-Paz, 2007).

En la literatura se recogen numerosos trabajos en los que se analizan los costes y los beneficios asociados a la demanda de agua de riego a través de la adopción de medidas que actúan sobre la oferta, incrementando así el volumen del recurso disponible. Alcon *et al.* (2014) evaluaron la aceptabilidad de los agricultores de distintos tipos de medidas para incrementar la garantía del suministro, encontrando menor aversión hacia aquellas que actúan sobre la oferta, como trasvases o utilización de aguas regeneradas, frente a otras que actúan sobre la demanda. Bell *et al.* (2014a) estudiaron la aceptabilidad de los agricultores por aumentar la garantía del suministro mediante mejoras en la red de distribución, financiándose estas mediante un precio del agua más alto que permita establecer un sistema de distribución basado en la recuperación de costes. Guerrero-Baena *et al.* (2019) clasifican a los agricultores de una Comunidad de Regantes (CR) según sus características socioeconómicas y su nivel de aceptación de la construcción de un embalse. Tang *et al.* (2013) estudian el valor económico del agua de riego, con el fin de conocer la DAP por el uso de esta y poder proponer medidas para mejorar la garantía del suministro. Por otro lado, Mesa-Jurado *et al.* (2012) identificaron la existencia de una demanda por mejorar la garantía de suministro de agua de riego, descubriendo la existencia de valores de no-mercado asociados con dicha mejora en condiciones de escasez, sin especificar las medidas necesarias para su consecución.

En estos trabajos también se han estudiado las características de los agricultores o de las explotaciones que influyen en la heterogeneidad de las preferencias por la demanda de agua. Entre otras, la edad, la renta, el tamaño de la explotación o la percepción del consumo son características que pueden influir sobre la demanda de medidas de gestión del agua de riego. Sin embargo, no se ha tenido en cuenta la influencia de variables relacionadas con el tipo de cultivo condicionada a la posibilidad de que este pueda ser cultivado en secano.

En este contexto, el objetivo de este trabajo es valorar los efectos de una medida de gestión del agua de riego que actúa sobre la oferta mejorando la garantía del suministro de agua a los regantes. Dicha medida se corresponde con la construcción de una infraestructura de almacenamiento de agua que permita almacenar excedentes de agua durante la primavera para suministrar mayores recursos en verano que en la situación actual. Así mismo, se identifican aquellas características de los agricultores y de las explotaciones que influyen en la heterogeneidad de las preferencias, además de su efecto sobre la evolución temporal de la valoración. Los beneficios de dicha medida, estimados

mediante valoración contingente, han sido comparados con los costes totales a lo largo de la vida útil del embalse, mediante un análisis financiero de inversiones. Finalmente, se estudió la evolución de la demanda mediante la cartografía de cultivos.

Este trabajo contribuye al estudio de la heterogeneidad de las preferencias de los agricultores frente a la aceptación de medidas para garantizar el suministro actuando desde la oferta, añadiendo la tipología de cultivos condicionada a la posibilidad de que estos puedan ser cultivados en secano, como un factor importante en la valoración de dichas medidas. Además, la inclusión de esta variable relacionada con el tipo de cultivos permite conocer las variaciones en el tiempo de la valoración de la medida propuesta, si se cuenta con una cartografía de los cultivos adecuada. Los resultados obtenidos permiten a los gestores del agua tomar decisiones ex-ante para maximizar el beneficio derivado del uso del recurso.

Material y métodos

Caso de estudio

El área de estudio es la Colectividad de Santaella, situada dentro de la Comunidad de Regantes (CR) Genil-Cabra, en la provincia de Córdoba. La zona tiene un clima típico Mediterráneo con una precipitación media anual en torno a los 600 mm concentrada entre octubre y abril, y una evapotranspiración anual en torno a 1.300 mm (García-Vila *et al.*, 2008). La CR Genil-Cabra se constituyó en 1991 al amparo del aprovechamiento de las aguas del río Genil a través del embalse de Iznájar, con una superficie inicial de 6.900 ha (Lorite *et al.*, 2004), ampliada en 2015 hasta alcanzar las 15.300 ha actuales (Carmona y Ruiz, 2010). La colectividad está dividida en 3.514 parcelas, siendo el tamaño medio de la parcela de 2,03 ha y el número de parcelas promedio por agricultor de 5,95 (Tabla 1). Los principales cultivos de esta son el olivo, el girasol, el trigo y los cultivos hortícolas (Lorite *et al.*, 2012; Guerrero-Baena *et al.*, 2019). Para identificar la necesidad de agua de riego del cultivo sobre la demanda de una mayor garantía del abastecimiento, se distinguió entre aquellos cultivos que podrían producir en secano (Sup_S) y los que no son viables (Sup_R), los cuales ocupan un 75 % y 25 % de la superficie agrícola de la colectividad, respectivamente. (Tabla 1).

Tabla 1. Características de la comunidad de regantes.
Table 1. Irrigation community characteristics.

Variable	Descripción	Valor
Tamaño medio de parcela (ha)	Superficie media de las parcelas de la colectividad	2,03
Número de parcelas promedio por agricultor	Cantidad media de parcelas de cada miembro de la colectividad	5,95
Superficie media por agricultor (ha)	Media de la superficie de cada agricultor	5,88
Superficie en la CCRR (ha)	Cultivos de regadío (*Sup_R*)	899
	Cultivos de secano o regadío (*Sup_S*)	2.571
	Superficie de cultivo total	3.470

El sistema tarifario del agua establecido en la CR es binómico: una parte corresponde a un componente fijo (por hectárea), destinado a sufragar la gestión y el mantenimiento de la infraestructura de la CR; la otra parte es variable en función del consumo de cada agricultor, y se destina a sufragar el gasto energético del bombeo del agua (Lorite *et al.*, 2012). El componente fijo asciende a 147,5 €/ha, mientras que el variable oscila en torno a 0,042 €/m³ (Guerrero-Baena *et al.*, 2019).

La CR ha atravesado severos problemas de abastecimiento desde su inicio. La dotación media entre 1996-2015 ha estado en torno a 2.500 m³/ha año, mientras que la concesión es de 5.000 m³/ha año (Guerrero-Baena *et al.*, 2019). Estos bajos valores de garantía volumétrica se deben a las restricciones impuestas por el organismo regulador, la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir (CHG), respecto al umbral crítico de caudal del río Genil y al abastecimiento de otros usos o asignaciones con mayor prioridad.

Ante esta situación, la CR se planteó la construcción de tres embalses de regulación que le permitiesen aumentar su capacidad de almacenamiento para los periodos en los que hay restricciones y así garantizar a cada regante 3.000 m³/ha anuales a largo plazo, 500 m³/ha por encima de la dotación media recibida y reduciendo la variabilidad interanual. El coste de esta inversión ascendía a 27 M€, recayendo sobre los regantes el pago de 5,4 M€ y el mantenimiento de la infraestructura, lo cual estimó la CR en un sobrecoste de 38 €/ha año durante la vida útil del proyecto (Guerrero-Baena *et al.*, 2019).

Valoración contingente

Para cuantificar en términos monetarios los beneficios percibidos por los regantes de la mejora en la garantía del suministro de agua derivada de la posible construcción de los embalses, se ha utilizado el método de Valoración Contingente (VC). La VC permite cuantificar el valor de bienes y servicios carentes de mercado, midiendo en unidades monetarias los cambios en el nivel de bienestar individual provocados por variaciones de cantidad o calidad en un bien o servicio (Mitchell y Carson, 1989).

La VC se basa en mercados hipotéticos donde el bien o servicio a evaluar es intercambiado por un precio dado, como si se tratase de cualquier producto en el mercado. El instrumento de mercado es la encuesta, donde el encuestador representa la parte ofertante y el encuestado a la parte demandante por un bien o servicio que supone un cambio en su nivel de bienestar. El encuestado declara sus preferencias acerca del bien o servicio presentado, indicando su disposición a pagar (DAP) por adquirirlo.

Para conocer la DAP se ha utilizado el formato de elección dicotómica doble. Con este formato se le pregunta al encuestado si está dispuesto a pagar (aceptar) una cantidad concreta de dinero (bid1) por un cambio en la cantidad o calidad del bien o servicio, siendo esta elección dicotómica (acepta-no acepta). Posteriormente, en base a la respuesta, se presenta al encuestado un segundo precio (bid2), con una cantidad de dinero diferente, la cual será superior (inferior) si acepta (rechaza) el bid1. El uso de este modelo presenta una serie de ventajas frente al formato de elección única (Knapp *et al.*, 2018), como un menor número de respuestas requeridas y una reducción del sesgo estratégico. Este sesgo suele producirse cuando los encuestados ofrecen respuestas no coincidentes con su verdadera valoración, según crea que su respuesta será tenida en cuenta, dando una DAP más baja (López-Becerra y Alcon, 2021).

La ecuación para la aplicación del modelo de elección dicotómica doble es definida como (Haab y McConell, 2002):

$$DAP_{ij} = X_{ij}\beta' + \varepsilon_{ij} \quad (1)$$

Donde DAP_{ij} representa la disposición a pagar del individuo *j* para el *bid i* (*i* = 1, 2); X_{ij} es un vector de características sociodemográficas del individuo; β' es el correspondiente vector de coeficientes estimados; y ε es el término de error[2]: εi ~ N (0, σ_i^2).

Por ello, la DAP quedará definida en intervalos en función de las respuestas a los precios ofrecidos, correspondiendo los extremos de los intervalos con el *bid1* (B^1) y el *bid2* (B^2) De este modo, se pueden definir cuatro intervalos de DAP (Alberini *et al.*, 2003):

DAP ≥ B^2	El encuestado acepta ambos precios B^i
$B^1 \leq DAP \leq B^2$	El encuestado acepta el precio de salida B^1 pero rechaza el siguiente B^2
$B^2 \leq$ DAP < B^1	El encuestado rechaza el precio de salida B^1 pero acepta el siguiente B^2
DAP < B^2	El encuestado rechaza ambos precios B^i

Tomando en cuenta la probabilidad de observar cada una de las posibles elecciones, la j-ésima contribución a la función de probabilidad puede ser especificada como (Haab y MacConnell, 2002):

$$\begin{aligned} L_j\left(\mu|B^i\right) &= \Pr\left(\mu_1+\varepsilon_{1j} > B^1, \mu_2+\varepsilon_{2j} \geq B^2\right)^{YY} \\ &\times \Pr\left(\mu_1+\varepsilon_{1j} \geq B^1, \mu_2+\varepsilon_{2j} < B^2\right)^{YN} \\ &\times \Pr\left(\mu_1+\varepsilon_{1j} \left\langle B^1, \mu_2+\varepsilon_{2j} \right\rangle B^2\right)^{NY} \\ &\times \Pr\left(\mu_1+\varepsilon_{1j} < B^1, \mu_2+\varepsilon_{2j} < B^2\right)^{NN} \end{aligned} \quad (2)$$

Donde μ_1 y μ_2 son las medias para B^1 y B^2, respectivamente, e *YY* = 1 para una respuesta "sí-sí", *YN* = 1 para una respuesta "sí-no", *NY* = 1 para una respuesta "no-sí" y *NN* = 1 para una respuesta "no-no", 0 en cualquier otro caso.

La función de probabilidad se estima usando un modelo probit bivariante, a través del método de máxima verosimilitud. Si se define $\Phi\varepsilon_1\varepsilon_2(.)$ como la función de distribución acumulada de una normal estándar bivariante con media μ_1 cero, varianza σ^2 unitaria, la j-ésima contribución a la función de probabilidad probit bivariante se define como sigue (Ecuación 3):

$$Lj\left(\mu|B^i\right) = \Phi_{\varepsilon 1\varepsilon 2}\left(d_{1j}\left(\frac{B^1-\mu_1}{\sigma^2}\right)d_{2j}\left(\frac{B^2-\mu_2}{\sigma^2}\right)d_{1j}d_{2j}\rho\right) \quad (3)$$

Donde μ_{1j} = 1 si el individuo está dispuesto a pagar por B^1, y 0 en caso contrario; μ_{2j} = 1 si el individuo está dispuesto a pagar por B^2, y 0 en caso contrario; $d_{1j} = 2\mu_{1j} - 1$ y $d_{2j} = 2\mu_{2j} - 1$ (Haab y MacConnell, 2002), siendo ρ es el coeficiente de correlación.

A partir de estos resultados, se puede estimar la DAP media, la cual se obtienen a partir del exponencial del negativo del cociente entre el término constante y el coeficiente asociado al B^i.

$$DAP\ media = \exp\left(\frac{-\overline{X}\hat{\beta}_i'}{\hat{\beta}_{i0}'}\right) \quad (4)$$

Donde χ es un vector fila k × 1 que contiene los valores medios de las variables explicativas, incluyendo 1 para el término constante; $\hat{\beta}_i'$ es un vector columna k-1 × 1 de los coeficientes estimados, $\hat{\beta}_{i0}'$ es el coeficiente asociado a B^i; y $\hat{\sigma}_i^2$ se corresponde con la varianza estimada. Los intervalos de confianza en torno a la DAP media son estimados mediante el conocido como *Delta Method*, el cual permite derivar un aproximado de la distribución de probabilidad para una función de un estimador estadístico asintóticamente normal a partir del conocimiento de la limitación de varianza, obteniéndose de esta forma intervalos simétricos (Oehlert, 1992; Whitehead, 2016).

Toma de datos

La toma de datos para la aplicación de la VC se realizó a través de entrevistas personales a agricultores durante los meses de junio y julio de 2013, año base del trabajo, utilizando un cuestionario estructurado. Dicho cuestionario constaba de tres bloques relacionados con las características del agricultor, el escenario y las preguntas de valoración y las características socioeconómicas del agricultor y de su explotación. El escenario de valoración planteaba una situación en la cual el agricultor recibiría una cantidad de agua garantizada en el largo plazo de 3.000 m³/ha (500 m³/ha por encima de la dotación media recibida). Para esta dotación se planteaba la construcción de un embalse que permitiera almacenar agua en los periodos de mayor caudal del río, donde no hubiera restricciones. El escenario de valoración propuesto era coincidente con el debate establecido dentro de la CR, y por lo tanto conocido por todos los regantes. También era conocido por los regantes que, en situaciones extremas, por ejemplo, en periodo de sequía, la garantía de suministro se suele ver comprometida. Tras presentar el escenario de valoración, se les pregunta a los agricultores, que actualmente pagan por el mantenimiento de una determinada infraestructura de distribución del agua de riego, si estarían dispuestos a pagar un precio mayor por un cambio en dicha infraestructura que repercuta sobre la garantía del suministro. Es decir, que se plantea la disposición subjetiva a pagar más (DAPM) (Colino Sueiras y Martínez-Paz, 2007) por garantizar un volumen mínimo disponible superior a la dotación media recibida desde la puesta en riego. La pregunta realizada al entrevistado era si estaba dispuesto a pagar una tasa adicional a los gastos de la comunidad para la construcción y mantenimiento de dicho embalse. Mediante la realización de un pretest a 20 agricultores y utilizando la pregunta de valoración en formato abierto, se determinaron los tres precios de partida. Los precios de partida fueron asignados de forma aleatoria a cada encuestado. En función de la respuesta del entrevistado, un precio mayor (menor) fue ofrecido en función de si la primera respuesta fue positiva (negativa). La Figura 1 recoge los precios ofrecidos a los agricultores en función de sus respuestas.

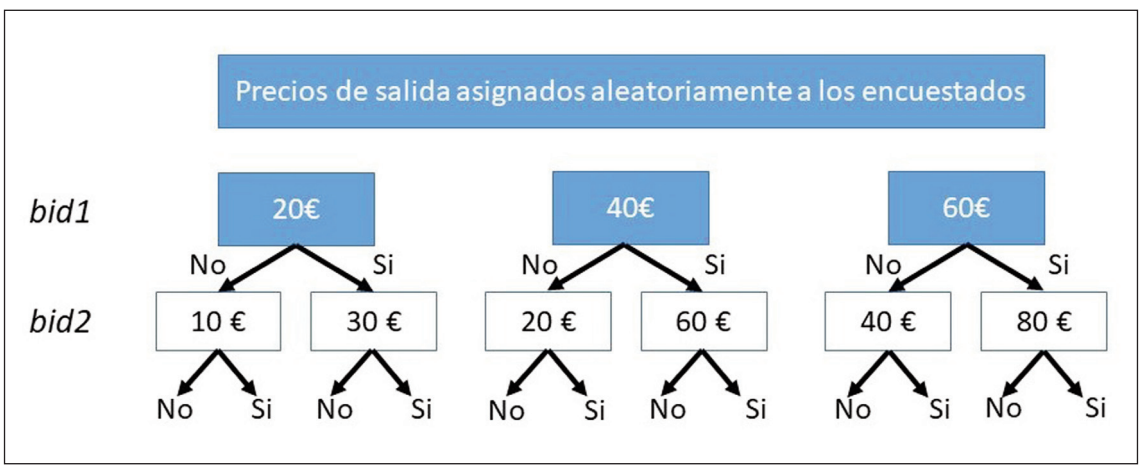


Figura 1. Esquema de precios para la aplicación del modelo de elección dicotómica doble.
Figure 1. Pricing scheme for the double bounded dichotomous choice model.

Evolución temporal de la disposición al pago

Para el estudio de la evolución temporal de la valoración de la medida, se ha obtenido la distribución espacial de los cultivos a partir de la cartografía de la zona, tanto para el año base 2013, situación en la que se cuantificaron las preferencias de los regantes, como para 2016 y 2019. Dicha cartografía ha sido obtenida mediante teledetección, realizando una clasificación supervisada en una imagen satélite multiespectral. La fuente empleada para esta cartografía en el año 2013 es el satélite Landsat 8, mientras que para 2016 y 2019 se ha empleado el satélite Sentinel 2, el cual cuenta con una mejor resolución espacial y cuyas imágenes se encuentran disponibles.

El método de clasificación empleado es el Random Forest, ya que de acuerdo con los trabajos de Du *et al.* (2015) y Rodriguez-Galiano *et al.* (2012), mejora la precisión de la clasificación de usos del suelo respecto a otros métodos. La creación de áreas de entrenamiento y validación de la clasificación ha sido realizada a partir de la fotointerpretación de las ortofotografías del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA, 2020) para los años 2013, 2016 y 2019, tomadas para el área de estudio en días próximos a las imágenes satélite y momento de la toma de datos.

Caracterización de la muestra

La información muestral se obtuvo a través de entrevistas personales realizadas a agricultores aleatoriamente elegidos del censo de la CR, obteniéndose 100 cuestionarios válidos para el análisis. Considerando la población de 590 agricultores que componen el total de la Colectividad de Santaella, área de estudio de este trabajo, y para un nivel de confianza del 95 %, la muestra de 100 encuestados arroja un error del 8,94 % para proporciones intermedias, y de 5,36 % para proporciones extremas.

En la Tabla 2 se recoge una descripción de las características de la muestra, en la que se puede apreciar que predominan los individuos de edad avanzada y gran experiencia en la agricultura, con bajo nivel de estudios y de renta. Pese a los acusados déficits de agua en relación a la concesión que ha experimentado la CR desde sus inicios a mediados de la

Tabla 2. Características de la muestra.
Table 2. Sample characteristics.

Variable	Descripción	Media/Valor	Desv. Std.
Edad (%)	Edad de los encuestados	61,36	10,82
Experiencia (años)	Experiencia como agricultor	43,21	15,77
Renta (€)	Renta anual neta	16.560	10.841
Nivel de estudios (%)	Sin estudios	32	–
	Graduado escolar	37	–
	BUP/Bachillerato/FP	19	–
	Universitarios	12	–
Seguridad en el abastecimiento (%)	Necesidades hídricas cubiertas en las últimas 10 campañas	70	–

década de 1990, el 70 % de los encuestados manifiesta no haber tenido problemas en el abastecimiento durante las últimas 10 campañas. Ello puede explicarse porque los principales cultivos de la muestra son los cereales (44 %) y el olivo (24 %), si bien los cultivos hortícolas están presentes en el 32 % de la superficie. La superficie total de las explotaciones de la muestra supone un 50,2 % de la extensión total de la CR.

Resultados

Análisis de la disposición al pago

Del análisis de la DAPM binaria de los agricultores por la implantación de un embalse que permita garantizar un suministro de agua de 3.000 m³/ha y año a los regantes en el largo plazo refleja que casi la mitad de los encuestados (47 %) están dispuestos a pagar un sobreprecio en la tarifa del agua. Entre los agricultores que no están dispuestos a asumir este sobrecoste hay que distinguir entre quienes realmente no valoran un incremento en la garantía del agua de riego (ceros reales) de aquellos que no participan en el mercado hipotético (ceros protesta). Estos últimos no manifiestan sus verdaderas preferencias al no participar en el mercado propuesto. Es decir, su respuesta no se corresponde con una nula valoración del incremento de garantía del suministro propuesto, sino con una negativa a participar en el ejercicio de valoración, por lo que son excluidos del análisis (Perni *et al.*, 2020). Han sido considerados ceros protesta aquellos que manifestaron no creer que la medida aumente la garantía del suministro o por desconfianza en la administración de la CR. De esta manera, entre los 53 ceros, se distinguen 30 ceros reales y 23 ceros protesta. Con estas consideraciones, el 61 % de los participantes en el mercado hipotético acepta una DAPM por la implantación de la medida, mientras que el 39 % no está dispuesto a contribuir para su implantación.

Dada la elevada proporción que suponen los ceros protesta sobre la muestra, se han analizado las características de los agricultores que hayan podido tener un efecto sobre dar una respuesta real o una protesta a través de un modelo logit (Perni *et al.*, 2011). Únicamente ha resultado significativa la variable que recoge la percepción del agricultor sobre si ha tenido sus necesidades de agua cubiertas en las últimas 10 campañas o si, por el contrario, ha recibido menos volumen del que necesitaba. De hecho, se aprecia una relación significativa entre dicha variable y la variable protesta ($Chi^2 = 4{,}09$; $p < 0{,}05$), de ahí que aquellos agricultores que manifiestan haber tenido sus necesidades hídricas cubiertas en los últimos 10 años no estuvieran dispuestos a participar en el mercado hipotético propuesto.

A partir de los encuestados que han participado en el mercado hipotético, se ha estimado la función de demanda subyacente por la garantía de suministro, considerando que la respuesta al segundo precio está condicionada por la respuesta dada al primer precio. Por tanto, se realiza la estimación conjunta de dos funciones de demanda, de modo que la variable explicada de cada una de ellas es la respuesta del encuestado acerca de su DAPM en cada pregunta de valoración.

La función estimada a través del modelo probit bivariante inicial incluye en su modelización variables como el consumo anual de agua del agricultor, el sistema de riego empleado, la sensibilidad al déficit hídrico de sus cultivos (estimada por el indicador K_y de las funciones de producción respecto al agua; Doorenbos y Kassam, 1979), la edad, los años de experiencia en la agricultura o el nivel de estudios (Modelo 1). Para prevenir cualquier tipo de sesgo estratégico por el cual la función de utilidad difiera de la primera, se ha procedido a restringir los coeficientes de ambas funciones siguiendo la técnica propuesta por Cameron y Quiggin (1994). A partir de este

modelo y siguiendo un procedimiento de exclusión de la variable menos significativa paso a paso se obtiene el Modelo 2, que recoge la función de utilidad subyacente a los dos precios ofrecidos a los demandantes. Otro tipo de sesgo que se puede dar en un modelo dicotómico doble es el llamado efecto anclaje, bajo el cual el precio de salida condiciona la DAPM final del encuestado. Para constatar que no se haya producido este tipo de sesgo, en el Modelo 3 se ha introducido el precio de salida como variable explicativa en la ecuación que explica el segundo precio de acuerdo con Whitehead (2002). Además, para garantizar la no negatividad de las variables bid1 y bid2, para la realización de los modelos, estas variables se han transformado a logaritmos naturales de los precios (*lnbid1* y *lnbid2*). Los modelos probit bivariantes estimados para identificar la DAPM y la heterogeneidad de las preferencias de los agricultores vienen recogidos en la Tabla 3.

El contraste de las diferencias entre los logaritmos de verosimilitud (*LL*) de los modelos, *LR test*, indica que el Modelo 2 es el que mejor se ajusta a la demanda, dado que la inclusión de variables no significativas o del efecto anclaje no mejora el modelo con un nivel de significación del 5 %.

Los coeficientes estimados para los *bids* en los dos modelos son negativos, reflejando que las DAPM elevadas no son deseadas por los usuarios. Esto supone una relación inversa entre los precios presentados y las elecciones de los encuestados, de modo que cuanto mayor es el precio propuesto al encuestado (*lnbid*), menor será la disponibilidad a aceptarlo. Las variables *Sup_S* y *Sup_R* son significativas y muestran coeficientes positivos. Es decir, que, a mayor superficie de la explotación, mayor DAPM. El aumento de esta probabilidad por cada unidad de superficie, medido mediante la utilidad marginal de cada variable, es superior en aquellos cultivos que requieren ser cultivados en régimen de regadío (*Sup_R*) que en aquellos que pueden cultivarse tanto en secano como en regadío (*Sup_S*). El coeficiente de la variable *renta* también indica que esta también influye de forma positiva y directa sobre la aceptación del *bid* propuesto.

La DAPM media asociada al formato cerrado de valoración contingente se ha obtenido de acuerdo a los coeficientes del Modelo 2, que al encontrarse restringidos coincide para ambos *bids*. La cantidad de dinero que los regantes de la CR están dispuestos a pagar por mejorar la garantía de suministro en el largo plazo asciende a 23,03 €/ha y año (IC: 11,08-31,51). Estos resultados del modelo dicotómico doble son similares a los obtenidos utilizando un formato de valoración abierto en el que la DAPM media es de 18,01 €/hectárea y año (IC: 13,48-22,1) (Tabla 4). La distribución de la densidad de la DAPM muestra las preferencias de los agricultores por valores no elevados, siendo el valor modal 0, fruto de la escasa valoración de la medida.

Los resultados ponen de manifiesto que los regantes de la CR están dispuestos a pagar 23,03 €/ha y año para la construcción del embalse, siendo escasa la diferencia entre el resultado del modelo dicotómico doble y el modelo abierto.

Análisis financiero

Para poder conocer la viabilidad de la inversión necesaria para garantizar el suministro de agua ofrecido en el escenario de valoración, se ha realizado un análisis financiero que evalúe de forma conjunta, tanto los cobros (costes) como los pagos (beneficios) derivados de la medida de garantía de suministro propuesta. El coste de la construcción de los embalses propuestos ascendía a 5,4 millones de euros para la Comunidad de Regantes. Se considera que esta inversión tiene una vida útil de 20 años, unos costes de manteni-

Tabla 3. Modelos probit bivariantes estimados.
Table 3. Estimated bivariate probit models.

Variables	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3
Probit 1			
lnbid1	-0,76**	-0,76**	-0,85**
Consumo	0,00	–	–
Sist. Riego	0,04	–	–
Edad	-0,1	–	–
Experiencia	0,01	–	–
Nivel estudios	-0,02	–	–
Ky_m	-2,33	–	–
sup_R	0,01	0,02*	0,02*
Sup_S	0,01	0,01*	0,01*
renta	0,00**	0,00***	0,00***
Constante	4,01*	1,45	1,88*
Probit 2			
lnbid1	–	–	-0,09
lnbid2	-0,76**	-0,76**	-0,85**
Consumo	0,00	–	–
Sist. Riego	0,04	–	–
Edad	-0,1	–	–
Experiencia	0,01	–	–
Nivel estudios	-0,02	–	–
Ky_m	-2,33	–	–
sup_R	0,01	0,02*	0,02*
Sup_S	0,01	0,01*	0,01*
renta	0,00**	0,00***	0,00**
Constante	4,01*	1,45	1,88*
ρ	0,34	0,38	0,47
LL	-85,21	-86,85	-85,48
AIC	194,42	185,7	184,96
N	77	77	77
LR test rho = 0 Chi²	1,42	1,74	1,97

Nivel de significación * $P < 0,05$; ** $P < 0,01$; *** $P < 0,001$.

Tabla 4. Disposición a Pagar Más (DAPM) por la construcción del embalse para mejorar la garantía del suministro de agua (€/ha/año).
Table 4. Willingness to pay for the construction of the reservoir to improve water supply reliability (€/ha year).

		Valor	Intervalo de confianza (95%)	Desv. Std.
	Formato cerrado			
Modelo 2	DAPM Media (€)	23,03	11,08-31,5	6,11
	Formato abierto			
Muestra	DAPM Media (€)	18,1	13,48-22,71	2,32

miento estimados de 16,94 €/ha y año y una tasa de descuento del 7 %. Bajo estas consideraciones, el coste anual asciende a 38 €/ha. Del análisis conjunto de cobros (siendo estos la aceptabilidad de la medida por parte de los agricultores, representada como DAPM) y pagos a lo largo de la vida útil de proyecto se obtiene un Valor Actual Neto de la inversión negativo (–3,8 millones de euros), lo cual indica la no viabilidad de la nueva infraestructura en las condiciones de éste estudio. Además, esta incumpliría los principios de sostenibilidad económica de la Directiva Marco de Agua (DMA). Estos resultados coinciden con los descritos por Guerrero-Baena *et al.* (2019) para la misma CR y por Mesa-Jurado *et al.* (2012) para la subcuenca del río Guadalbullón, la cual, al igual que la Colectividad de Santaella, también se encuentra dentro de la cuenca hidrográfica del Guadalquivir.

La obtención de una ganancia neta negativa derivada de la implantación de la medida, se da en un contexto donde la mayoría de regantes (70 %) manifiesta no haber tenido problemas de abastecimiento de agua en los últimos años, la renta anual neta de estos es muy baja, y además se ha producido una expansión de un cultivo con bajos requerimientos hídricos e ingresos sostenidos como es el olivar (Roldán-Casas *et al.*, 2013).

Evolución de la disposición al pago entre 2013 y 2019

Los cambios en la extensión de cada tipo de cultivo en la Colectividad de Santaella han sido medidos, con el fin de comprobar si ha habido cambios en la superficie que ocupa cada grupo de cultivos que puedan repercutir en cambios sustanciales sobre la DAPM y, en consecuencia, sobre la aceptabilidad por la implantación de la medida. Una de las limitaciones de este trabajo es asumir unas preferencias estables y estáticas para un periodo de 6 años, dado que las preferencias de los agricultores también podrían estar influenciadas por cambios acontecidos en otras variables externas como el nivel de renta.

Se han realizado clasificaciones supervisadas para los años 2013, 2016 y 2019, con las que determinar la superficie de cada tipo de cultivo dentro de cada una de las 3.514 parcelas de la Colectividad. Para ello se han creado 4 clases de cultivos asociadas a la expresión espacial del Modelo 2 y compatibles con las imágenes de Landsat 8 y Sentinel 2. Para la creación de las áreas de entrenamiento y validación, se han seleccionado aleatoriamente un 60 % de los pixeles para entrenamiento y un 40 % para validación, a partir de digitalizar distintas parcelas de cada ortofoto del

PNOA. La evaluación de la precisión de la clasificación realizada mediante una matriz de confusión muestra unos valores kappa de porcentaje de acierto en la clasificación del 90 % en 2013, 87 % en 2016 y 85 % en 2019, pudiendo así asociar el cultivo existente a cada pixel. A través de una estadística zonal obtiene una cartografía del parcelario por cultivos que permite cartografiar la DAPM.

Del análisis de la evolución de los cultivos en el periodo 2013-2019 se aprecia un crecimiento sostenido del olivar frente al resto de cultivos no permanentes, que pese a sus fluctuaciones, mantienen cierta estabilidad en su distribución. En el caso de los cereales de verano, su extensión es ligeramente mayor, mientras que los cereales de invierno y los hortícolas son menores, al haber perdido superficie respecto al olivar o los cereales de verano (Tabla 5).

Para la integración del efecto las variables empleadas en el Modelo 2 en la distribución espacial de la DAPM, la variable *Sup_S* recoge el cultivo del olivar y los cereales, mientras que los cultivos hortícolas se corresponden con la variable *Sup_R*. Bajo estas consideraciones, la DAPM de cada parcela ha sido reestimada, utilizando el *Delta Method,* y trasladada al parcelario de la CR. A pesar de que un pequeño número de parcelas destaca con una DAPM notablemente superior a la obtenida para el año 2013, tanto el número de estas parcelas como el valor de la DAPM, en general, se ha ido reduciendo con el paso del tiempo debido a los cambios de cultivo, no apreciándose diferencias significativas en los valores de la DAPM a lo largo del tiempo (ANOVA *p*valor < 0,05) representados en la Tabla 5 y Figura 2.

Discusión

Del análisis de la demanda de los agricultores de una CR por obtener una garantía de suministro en el largo plazo de 3.000 m³/ha y año, cabe destacar que a pesar de los déficits de agua que ha experimentado la CR desde la puesta en riego, el 70 % de los regantes entrevistados manifieste no haber tenido problemas para cubrir sus necesidades de agua en las últimas 10 campañas, lo cual ha podido influir de manera significativa en el elevado número de 0 protesta. Por otro lado, entre los encuestados que aceptaron participar en el mercado hipotético pro-

Tabla 5. Evolución de los cultivos y la Disposición a Pagar Más (DAPM) en la Colectividad de Santaella.
Table 5. Evolution of crops and willingness to pay for storage (DAPM) in the Santaella Community.

	Superficie (ha)		
	2013	2016	2019
Cereales de verano	1.122,8	569,3	1.333,3
Cereales de invierno	1.218,8	1.564,0	932,4
Olivos	2.952,2	3.159,4	3.480,9
Hortícolas	1.624,3	1.625,3	1.171,3
DAPM (€/ha)	49,44	49,88	49,79

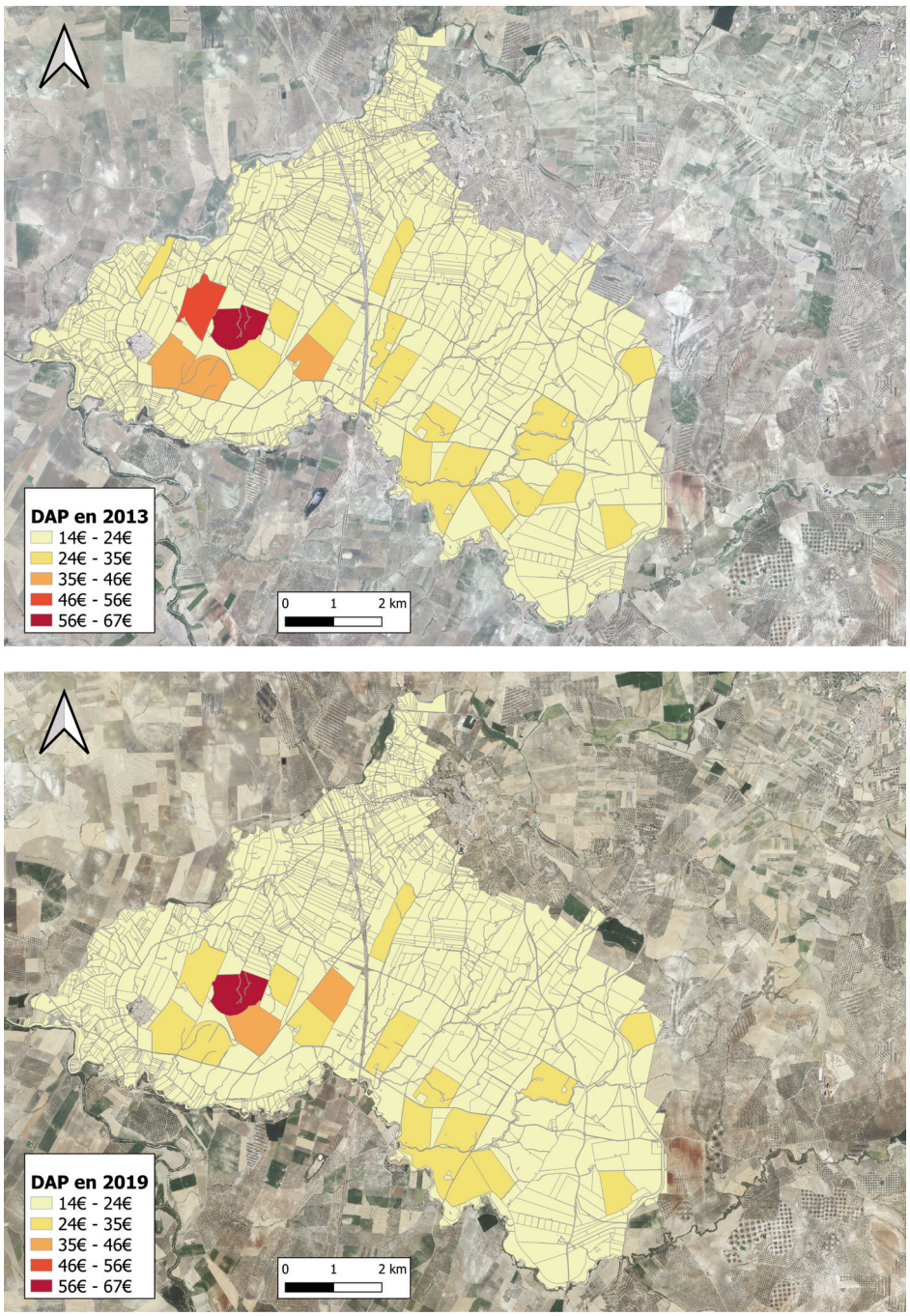


Figura 2. Disposición a Pagar Más (DAPM) transferida al parcelario de la Colectividad de Santaella en 2013 y 2019.
Figure 2. Willingness to pay more depicted in the Santaella Community map in 2013 and 2019.

puesto, un 38,9 % de los encuestados no valoró la garantía de suministro ofrecida. Esta situación podría estar relacionada con la ausencia de problemas en el abastecimiento y, además, por el gran número de agricultores de la muestra con una renta anual neta igual o inferior a 6.000 €, dada la influencia de la variable *renta* sobre la DAPM.

Los resultados obtenidos concuerdan con los obtenidos en los dos trabajos realizados recientemente sobre gestión del agua de riego en la colectividad de Santaella. Guerrero-Baena *et al.* (2019), además de reportar también una elevada cantidad de ceros reales, identificaron tres grupos de agricultores según su valoración de la construcción del embalse y características socioeconómicas, siendo el grupo mayoritario el de aquellos que no valoran la medida propuesta. Además, también identifican una cierta influencia del tipo de cultivo sobre la probabilidad de aceptar una mayor DAPM, mediante la percepción que tiene el agricultor respecto a si su consumo de agua se encuentra por encima o por debajo del consumo medio que realizan el resto de agricultores. En el segundo, Villanueva y Glenk (2021) analizan las preferencias de los regantes respecto a las distintas medidas para mejorar la garantía del suministro del agua de riego. Dichos autores también encuentran una baja valoración de la construcción de embalse, siendo las opciones más valoradas las relacionadas con la mejora de las infraestructuras y con la creación de cuentas de almacenamiento de agua. También señalan que variables como la edad, renta anual, formación, percepción del consumo o la predominancia de cultivos con bajas necesidades hídricas influyen sobre las preferencias de los agricultores.

La heterogeneidad en la DAPM obtenida en este trabajo en el Modelo 2 queda reflejada en la cartografía de cultivos sobre el parcelario, donde en los distintos años se aprecia una elevada heterogeneidad, causada tanto por la extensión de la parcela como por los diferentes efectos marginales de cada tipo de cultivo, ya que una hectárea de superficie de cultivos hortícolas hace aumentar la DAPM un 57 % más que una hectárea de cereales u olivo. La evidente expansión del olivar, un cultivo con baja demanda de riego, frente al resto de cultivos ha hecho que, tanto en 2016 como en 2019, la demanda por la implantación de la medida no sea diferente a la demanda del año 2013. En todo caso, podría cuantificarse el aumento de los ingresos en el olivar por la adición de los 500 m^3/ha a la dotación de 2500 m^3/ha, basándonos en la función de producción de Moriana *et al.* (2003). Dependiendo del nivel de intensificación del olivar, el incremento productivo variaría entre menos de 25 kg/ha de aceite hasta un máximo de unos 100 kg/ha de aceite para nuevas plantaciones superintensivas. En cualquier caso, los ingresos adicionales superarían los 22 €/ha que los encuestados están dispuestos a pagar por la garantía adicional de suministro.

Las diferencias en la valoración de la medida podrían indicar la necesidad de otro tipo de vehículo de pago, como pudiera ser el cobro de una tarifa volumétrica, el cual se ha mostrado como preferido en otros trabajos obteniendo DAPM positivas que superan los gastos de las medidas propuestas (Rigby *et al.*, 2010; Alcon *et al.*, 2014; Knapp *et al.*, 2018; Alcon *et al.*, 2019). La implementación de una tarifa fija en función de la superficie no siempre es un instrumento de pago bien aceptado por los agricultores, como muestran Tang *et al.* (2013), que si bien también han obtenido valores de disposición al pago positivos, estos han sido insuficientes para cubrir los costes de la medida. El uso de un sistema tarifario binómico, con tramos en función del consumo, podría hacer que aquellos agricultores que más se beneficiasen de la medida al demandar más agua, asumieran mayor coste por la misma.

La estabilidad en el tiempo de las preferencias declaradas es coincidente con las estimaciones realizadas por Lew y Wallmo (2017)

y Skourtos *et al.* (2010), salvo que se produzca algún tipo de fenómeno extremo atípico que pueda provocar un cambio repentino en estas (Bliem *et al.*, 2012), situación no acontecida en la zona de estudio.

No obstante, a pesar de que los resultados son coherentes con la literatura y los trabajos previos en la zona de estudio, este trabajo presenta una serie de limitaciones como el tamaño muestral, que puede limitar la fiabilidad de las estimaciones. Por otro lado, la determinación de las áreas de entrenamiento y validación mediante fotointerpretación de imágenes de alta resolución implica la asunción de pequeños errores, bien por variaciones en la cobertura del suelo en los días de diferencia entre la imagen fotointerpretada y la del sensor multiespectral empleado para la clasificación, o bien por una errónea interpretación de la ortofoto. Finalmente, la asunción de unas preferencias estables y estáticas para un periodo de 6 años podría estar influenciada por cambios en los niveles de renta de los agricultores no recogidos en el modelo.

Conclusiones

Para que una medida destinada a mejorar la garantía de suministro del agua de riego tenga éxito en su implantación, es vital conocer que valoración hacen de esta los usuarios, así como de los factores que intervienen en su heterogeneidad. En condiciones de escasez, las medidas orientadas a actuar sobre el lado de la oferta han sido históricamente consideradas como las más efectivas y socialmente aceptadas al no implicar una gestión adicional a los usuarios. Sin embrago, en la actualidad, la valoración de estas medidas, aun pudiendo ser necesarias y compatibles para la implantación de medidas que actúen sobre la demanda, con elevados costes de inversión, no son tan valoradas.

La disposición a pagar más por incrementar la garantía de suministro del agua de riego en el largo plazo es de 23,03 €/ha y año, una cantidad notablemente inferior al coste de la medida (38 €/ha año) y los resultados indican que los beneficios de la medida se mantienen constantes a lo largo del tiempo. En el caso de la CR estudiada, parece que las restricciones en la dotación recibida por los agricultores desde la puesta en riego (un 50 % de media respecto a la concesión, y aún menos en ciertos años de sequía al principio del periodo) han llevado al establecimiento de un patrón de cultivos estable y muy adaptado al nivel de suministro de agua de riego. Ello hace que, sin la introducción de nuevos cultivos con mayor demanda hídrica, como podría ser el almendro, no haya un interés genuino por aumentar la garantía en el suministro de agua. Un cambio en el patrón de cultivos hacia otros de mayores requerimientos hídricos podría cambiar la actitud de los regantes y afectar a la gestión de los recursos hídricos.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido realizado bajo el Proyecto SIRRIMED (FP7-FOOD-CT-2009-245159), financiado por la Comisión Europea, y el Proyecto 20912/PI/18 de la Fundación Séneca-Agencia de Ciencia y Tecnología de la Región de Murcia.

Referencias bibliográficas

Alberini A, Boyle K, Welsh M (2003). Analysis of contingent valuation data with multiple bids and response options allowing respondents to express uncertainty. Journal of Environmental Economics and Management 45(1): 40-62. https://doi.org/10.1016/S0095-0696(02)00010-4.

Alcon F, de Miguel MD, Burton M (2011). Duration analysis of adoption of drip irrigation technology in southeastern Spain. Technological Forecasting and Social Change 78(6): 991-1001. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2011.02.001.

Alcon F, Tapsuwan S, Brouwer R, de Miguel MD (2014). Adoption of irrigation water policies to guarantee water supply: A choice experiment. Environmental Science & Policy 44: 226-236. https://doi.org/10.1016/j.envsci.2014.08.012.

Alcon F, Tapsuwan S, Brouwer R, Yunes M, Mounzer O, de-Miguel MD (2019). Modelling farmer choices for water security measures in the Litani river basin in Lebanon. Science of the Total Environment 647: 37-46. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.410.

Bell AR, Shah MAA, Ward PS (2014). Reimagining cost recovery in Pakistan's irrigation system through willingness-to-pay estimates for irrigation water from a discrete choice experiment. Water Resources Research 50: 6679-6695. https://doi.org/10.1002/2014WR015704.

Bliem M, Getzner M, Rodiga-Laßnig P (2012). Temporal stability of individual preferences for river restoration in Austria using a choice experiment. Journal of Environmental Management 103: 65-73. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.02.029.

Cameron TA, Quiggin J (1994). Estimation using contingent valuation data from a "dichotomous choice with follow-up" questionnaire. Journal of Environmental Economics and Management. https://doi.org/10.1006/jeem.1994.1035.

Carmona MA, Ruiz N (2010). La ampliación de la comunidad de regantes del Genil-Cabra (colectividad Santaella): un modelo de asesoramiento al regante. Boletín Trimestral de Información Al Regante 13: 2-3.

Colino Sueiras J, Martínez-Paz JM (2007). Productividad, disposición al pago y eficiencia técnica en el uso del agua: La horticultura intensiva de la Región de Murcia. Economía Agraria y Recursos Naturales 7(14): 109-125. https://doi.org/10.7201/earn.2007.14.06.

Colino Sueiras J, Martínez-Paz JM (2020). Sector Agrario. En: Lecciones de Economía Española, 15ª Ed (Ed. García-Delgado JL, Myro R), pp. 167-184. Civitas Thomson Reuters, Madrid, España.

Doorenbos J, Kassam AH (1979). Yield response to water. Estudio de Riego y Drenaje 33. Organización de las Naciones Unidades para la Agricultura y la alimentación, Roma, Italia.

Du P, Samat A, Waske B, Liu S, Li Z (2015). Random forest and rotation forest for fully polarized SAR image classification using polarimetric and spatial features. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 105: 38-53. https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2015.03.002.

García-Vila M, Lorite IJ, Soriano MA, Fereres E (2008). Management trends and responses to water scarcity in an irrigation scheme of Southern Spain. Agricultural Water Management 95: 458-468. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2007.11.009.

Gómez-Limón JA, Guerrero-Baena MD (2019). Diseño de un seguro indexado para la cobertura del riesgo de sequía hidrológica en la agricultura de regadío. Agua y Territorio 13: 79-92. https://doi.org/10.17561/at.13.4057.

Gómez-Limón JA (2020). Hydrological drought insurance for irrigated agriculture in southern Spain. Agricultural Water Management 240: 106271. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106271.

Guerrero-Baena MD, Villanueva AJ, Gómez-Limón JA, Glenk K (2019). Willingness to pay for improved irrigation water supply reliability: An approach based on probability density functions. Agricultural Water Management. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.02.027.

Haab TC, McConnell KE (2002). Valuing environmental and natural resources: The econometrics of non-market valuation. Edward Elgar Publishing, Cheltenham, Reino Unido.

INE (2018). Estadística sobre el uso del agua. Instituto Nacional de Estadística. Disponible en: https://www.ine.es/uc/KFMQdZ2K (consultado: 25 abril 2020).

IPCC (2020). Report on Climate Change and Land. The Intergovernmental Panel on Climate Change. 44 p. Disponible en: www.ipcc.ch (consultado: 25 abril 2020).

Knapp T, Kovacs K, Huang Q, Henry C, Nayga R, Popp J, Dixon B (2018). Willingness to pay for irrigation water when groundwater is scarce. Agricultural Water Management 195: 133-141. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.10.013.

Leal García D, Gómez Cantero J (2015). Implicaciones del cambio climático en la transición hacia un modelo productivo de futuro. Panorama Social 21: 101-114.

Lew DK, Wallmo K (2017). Temporal stability of stated preferences for endangered species protection from choice experiments. Ecological Economics 131: 87-97. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2016.08.009.

López-Becerra EI, Alcon F (2021). Social desirability bias in the environmental economic valuation: An inferred valuation approach. Ecological Economics 184: 106988. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2021.106988.

Lorite IJ, Mateos L, Fereres E (2004). Evaluating irrigation performance in a Mediterranean environment: I. Model and general assessment of an irrigation scheme. Irrigation Science 23(2): 77-84. https://doi.org/10.1007/s00271-004-0095-9.

Lorite IJ, García-Vila M, Carmona MA, Santos C, Soriano MA (2012). Assessment of the irrigation advisory services' recommendations and farmers' irrigation management: a case study in Southern Spain. Water Resources Management 26(8): 2397-2419. https://doi.org/10.1007/s11269-012-0023-3.

MAPA (2019). Anuario de estadística 2019. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid, España.

Mesa-Jurado MA, Martin-Ortega J, Ruto E, Berbel J (2012). The economic value of guaranteed water supply for irrigation under scarcity conditions. Agricultural Water Management 113: 10-18. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2012.06.009.

Mitchell RC, Carson RT (1989). Using surveys to value public goods: the contingent valuation method. RFF press, New York, USA. 484 pp. https://doi.org/10.4324/9781315060569.

Moriana A, Orgaz F, Pastor M, Fereres E (2003). Yield responses of a mature olive orchard to water deficits. Journal of the American Society for Horticultural Science 128(3): 425-431.

Oehlert GW (1992). A note on the delta method. American Statistician 46(1): 27-29. https://doi.org/10.1080/00031305.1992.10475842.

Perni A, Martínez-Carrasco F, Martínez-Paz JM (2011). Economic valuation of coastal lagoon environmental restoration: Mar Menor (SE Spain). Ciencias Marinas 37(2): 175-190. https://doi.org/10.7773/cm.v37i2.1889.

Perni A, Barreiro-Hurlé J, Martínez-Paz JM (2020). When policy implementation failures affect public preferences for environmental goods: implications for economic analysis in the European water policy. Ecological Economics 169: 106523 https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2019.106523.

PNOA (2020). Plan Nacional de Ortofotografía Aérea. Ortofotos digitales de los vuelos PNOA. Madrid: Ministerio de Fomento. Disponible en: https://pnoa.ign.es/ (Consultado: 25 abril 2020)

Rigby D, Alcon F, Burton M (2010). Supply uncertainty and the economic value of irrigation water. European Review of Agricultural Economics 37(1): 97-117. https://doi.org/10.1093/erae/jbq001.

Rodriguez-Galiano VF, Ghimire B, Rogan J, Chica-Olmo M, Rigol-Sanchez JP (2012). An assessment of the effectiveness of a random forest classifier for land-cover classification. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 67: 93-104. https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2011.11.002.

Roldán-Casas JA, Dios-Palomares R, Martínez-Paz JM (2013). Spatial integration of the European olive oil market. ITEA-Información Técnica Económica Agraria 109: 458-475. https://doi.org/10.12706/itea.2013.028.

Skourtos M, Kontogianni A, Harrison PA (2010). Reviewing the dynamics of economic values and preferences for ecosystem goods and services. Biodiversity and Conservation 19(10): 2855-2872. https://doi.org/10.1007/s10531-009-9722-3.

Tang Z, Nan Z, Liu J (2013). The willingness to pay for irrigation water: A case study in Northwest China. Global Nest Journal 15(1): 76-84. https://doi.org/10.30955/gnj.000903.

Villanueva AJ, Glenk K (2021). Irrigators' preferences for policy instruments to improve water supply reliability. Journal of Environmental Management 280: 111844. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111844.

Whitehead JC (2002). Incentive incompatibility and starting-point bias in iterative valuation questions. Land Economics 78(2): 285-297. https://doi.org/10.2307/3147274.

Whitehead JC (2016). Plausible responsiveness to scope in contingent valuation. Ecological Economics 128: 17-22. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2016.03.011.

(Aceptado para publicación el 17 de junio de 2021)

Rioja *versus* Ribera del Duero. Recursos y estrategias

Juan Ramón Ferrer

Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica, Alimentaria y de Biosistemas. Departamento de Economía Agraria, Estadística y Gestión de Empresas. Campus Ciudad Universitaria, Avenida Puerta de Hierro, 2-4. 28040 Madrid, España

Resumen

Rioja y Ribera del Duero, son dos de las denominaciones de origen de vino más importantes de España, considerando el valor en euros de su producción anual, así como el prestigio de sus bodegas y vinos. Las bodegas de ambas denominaciones de origen compiten en el mercado globalizado aprovechando sus recursos y capacidades distintivas y desarrollando estrategias que les permiten diferenciarse y ganarse un lugar en el mercado. No obstante, lo que continúa sin conocerse es cuáles son estos recursos y capacidades diferenciadoras y cuáles son las estrategias que caracterizan a cada uno de estos modelos exitosos de competencia. El presente artículo afronta el análisis desde un punto de vista novedoso: desde el estudio de sus recursos y capacidades, y su interacción con la estrategia. En los recursos y capacidades nos centramos en la innovación y en la estrategia en el modelo de Robinson y Pearce. Mediante el análisis de 69 bodegas de estas dos denominaciones de origen los resultados muestran como la situación competitiva y los recursos influyen sobre la estrategia que desarrollan las bodegas, se constata como las bodegas combinan recursos y estrategias, y como equilibran su posición competitiva desarrollando estratégicamente aquellos recursos en los que son menos competitivos.

Palabras clave: Entorno competitivo, innovación, sector del vino, ventaja competitiva.

Rioja *vs.* Ribera del Duero Resources and strategies

Abstract

Rioja and Ribera del Duero are two of the most important wine PDOs in Spain considering the value in euros of their annual production, as well as the prestige of their wineries and wines. The wineries of both PDOs compete in the globalized market, taking advantage of their distinctive resources and capacities, and developing strategies that allow them to differentiate themselves and earn a place in the market. However, what remains unknown are what are these differentiating resources and capabilities, and what are the strategies that characterize each of these successful competition models. This article addresses the analysis from a novel point of view, from the study of its resources and capabilities and its interaction with the strategy. With respect to resources and capabilities we focus on innovation, and on strategy in the Robinson and Pearce model. Through the analysis of 69 wineries of these two PDOs, the results show how the competitive situation and resources influence the strategy developed by the wineries. It is verified how the wineries combine resources and strategies, and how they balance their competitive position by strategically developing those resources in those that are less competitive.

Keywords: Competitive environment, innovation, wine sector, competitive advantage.

* Autor para correspondencia: juanramon.ferrer@upm.es

Cita del artículo: Ferrer JR (2022). Rioja *versus* Ribera del Duero. Recursos y estrategias. ITEA-Información Técnica Económica Agraria 118(2): 296-317. https://doi.org/10.12706/itea.2021.024

Introducción

De las diferentes Denominaciones de Origen Protegidas (DOP) de vino en España, Rioja y Ribera de Duero son las que mayor valor generan (MAPA, 2020), disponiendo cada una de ellas de una evolución y de unas señas de identidad diferenciadas. Las bodegas de ambas DOP compiten en el mercado nacional y global, aprovechando sus recursos y capacidades distintivas y desarrollando las estrategias más adecuadas que les permitan alcanzar la ventaja competitiva.

Sin embargo, el análisis de cuáles son los recursos diferenciados de ambas DOP y qué estrategias empresariales utilizan es un elemento que no ha sido estudiado y que es el objeto de este artículo. En concreto, este estudio plantea dos objetivos: en primer lugar, conocer si las estrategias genéricas de costes y de servicio, que puedan seguir las bodegas de Rioja y Ribera del Duero, están relacionadas con el mejor desempeño financiero, en segundo lugar, determinar si las bodegas de Rioja y Ribera del Duero, que tienen una mejor dotación de recursos de innovación alcanzan un mejor desempeño financiero. Para ello se ha llevado a cabo un estudio con 69 bodegas de ambas DOP, analizando el recurso innovación, el entorno competitivo, las estrategias, y la relación de estas últimas con el resultado empresarial, con la ventaja competitiva (Simon-Elorz *et al*., 2015).

El estudio de cómo la empresa obtiene su ventaja competitiva tiene básicamente dos escuelas de pensamiento: la primera enfatiza las características del sector en la que se ubica la empresa y sostiene que ésta debe seleccionar su lugar (su posición) en el mercado, y que del acierto en su elección redundará su ventaja competitiva y rentabilidad (Porter, 1985). La segunda escuela de pensamiento se centra en el análisis individual de cada entidad, focalizándose en los recursos y capacidades de la empresa (Barney, 1991).

La Teoría de Recursos y Capacidades (RBV) (Barney, 1991) basa la ventaja competitiva en los activos disponibles para la empresa y el uso que hace de los mismos. Para ello, la empresa debe lograr una disposición o uso exclusivo en el tiempo de uno o más de estos recursos y sus competidores no deben ser capaces de imitarlos.

Diferentes estudios han analizado parcialmente los recursos y las capacidades como factores explicativos del éxito empresarial en la industria del vino. Desde el punto de vista de RBV (entre otros, Chong, 2014; Galati *et al*., 2014; Duarte y Bressan, 2016; Clavel *et al*., 2017) y desde el punto de vista de la estrategia (entre otros, Bardají *et al.*, 2014; Simon-Elorz *et al*., 2015).

Sin embargo, no es habitual que los estudios utilicen la visión sinérgica, que aúna recursos y capacidades con estrategia como factores explicativos del desempeño empresarial. Entre las excepciones, desde el trabajo inicial de Spanos y Lioukas (2001), varios estudios analizan el desempeño empresarial combinando el RBV y los enfoques estratégicos en diferentes sectores (por ejemplo, Ruiz Ortega, 2010; Chuang y Lin, 2017).

Los elementos innovadores de este artículo se encuentran en la interacción entre recursos y estrategias, y como unos y otros se compensan en la empresa, en la búsqueda de la ventaja competitiva. Para ello se utiliza el modelo estratégico de Robinson y Pearce, enfocado en el sector vitivinícola español y se distingue entre Rioja DOP y Ribera del Duero DOP. Entre los diferentes recursos y capacidades, se ha elegido la innovación, por su gran importancia en el desempeño empresarial (OECD, 2015; Nuebling *et al*., 2016). El estudio de las relaciones entre variables se realizará mediante regresión bayesiana y sus diferencias mediante la prueba U de Mann Whitney.

Estudio del caso

España es el primer país del mundo en superficie de viña y el tercer productor de vino (OIV, 2020). Durante muchos años, y todavía ahora, gran parte del vino que se elaboraba en España ha sido vendido a granel a bajos precios con diferentes destinos, alrededor del 33 % de su volumen en 2019 (OEMV, 2020). El desarrollo de las DOP ha intentado valorizar el vino producido mediante la asignación de enseñas de calidad y de origen geográfico. Las primeras denominaciones de origen en España, Rioja y Jerez, se oficializan en 1933 con el Estatuto del Vino, aunque algunas tienen estructuras anteriores, por ejemplo Rioja desde 1925 (Fernández y Pinilla, 2014). El desarrollo de las DOP, ha permitido disminuir los costes de transacción del producto, el aumento de la calidad y el incremento del precio medio del vino tanto en el mercado interior como en el exterior, en este último caso en un posicionamiento de bajo precio con respecto a otros países productores (Fernández y Pinilla, 2014).

En España en la actualidad hay tres DOP que ocupan los primeros puestos en cuanto valor generado, según datos de la Campaña 18/19, siendo por este orden: Rioja, 988 millones de euros; Cava, 733 millones de euros, y Ribera del Duero, 288 millones de euros (MAPA, 2020). Cava es una denominación con un carácter amplio desde el punto de vista de origen geográfico, desarrollándose en distintas denominaciones de origen de vino y orientado a un producto muy específico, el vino espumoso.

Con el objeto de estudiar cuáles son las diferencias entre las dos DOP españolas más importantes, definidas dentro de un ámbito geográfico, se van a analizar las principales magnitudes de las DOP Rioja y Ribera del Duero. Para ello se utiliza la información del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, serie de datos de 2001 a 2019 (MAPA, 2020). En la tabla 1.1 puede observarse el valor interior y exterior de ambas DOP y su comparación con el total nacional. Es de destacar, que ambas DOP suponen alrededor del 30 % del valor total nacional, el mayor peso de Rioja, que triplica los valores totales de Ribera del Duero, y como Rioja tiene un mayor desempeño en el mercado exterior mientras que Ribera del Duero lo hace en el mercado interior. La aportación a la exportación española de vino es muy diferente en ambas DOP. La DOP Rioja representaba el 16,4 % del vino exportado embotellado en la campaña 2000-01, porcentaje que sube hasta el 20,8 % en la campaña 2018-19. Mientras que Ribera del Duero suponía el 0,3 % en la campaña 2000-01 y el 1,6 % en la campaña 2018-19 (MAPA, 2020).

Tabla 1.1. Valor económico del mercado interior y exterior de Rioja, Ribera del Duero y el conjunto de las DOP de España en la campaña 2018-19, en millones de euros y porcentaje sobre el total.
Table 1.1. Economic value of the internal and external market of Rioja, Ribera del Duero and all the PDOs of Spain in the 2018-19 season, in millions of euros and percentage of the total.

	Mercado interior		Mercado exterior		Mercado total	
	(10^6 €)	(%)	(10^6 €)	(%)	(10^6 €)	(%)
Rioja	529	22,1	459	28,7	988	24,8
Ribera del Duero	207	8,7	81	5,1	288	7,2
España DOP	2.389	100	1.597	100	3.986	100

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos MAPA (2020).

Según los datos del MAPA (2020), en la campaña 2000-01, Ribera del Duero tenía una superficie de 15.251 ha, por 57.626 ha de la Rioja, y el conjunto de España disponía de 673.626 ha asignadas a las diferentes denominaciones de origen. En la campaña 2018-19 se registraron 23.314 ha en Ribera, 66.239 ha en Rioja y 648.631 ha en el conjunto de las denominaciones de origen de España. Los datos de la evolución de ambas DOP y el total nacional se presentan en la tabla 1.2., cabe destacar el crecimiento de la superficie de Ribera del Duero con un 52,9 %, mientras que Rioja lo hacía en un 14,9 % y el conjunto de las denominaciones de origen de España decrecía un 3,7 %.

Por otra parte, ese mayor impulso de Ribera del Duero en este periodo se constata en el mayor crecimiento de viticultores (aumento del 6,8 % en Ribera del Duero *versus* la disminución del 22,7 % en Rioja) y en un mayor aumento del número de bodegas (146,9 % en Ribera del Duero contra una disminución del 75,3 % en Rioja). Únicamente en lo que respecta a volumen de vino calificado se ha observado una pauta de comportamiento distinto, como se refleja con más detalle en la figura 1. En Rioja, el volumen de vino calificado en este periodo aumenta de forma global, pero de una manera más ostensible en los últimos tres años alcanzando su máximo en la campaña 18-19. Mientras que, en

Tabla 1.2. Incremento porcentual de las principales magnitudes de Rioja, Ribera del Duero y el conjunto de las DOP de España en el periodo 2000-01 a 2018-19.
Table 1.2. Percentage increase in the main figures for Rioja, Ribera del Duero and the whole of Spain's PDOs in the period 2000-01 to 2018-19.

	Rioja (%)	Ribera del Duero (%)	España DOP (%)
Superficie (ha)	14,9	52,9	-3,7
Viticultores	-22,7	6,8	-28,3
Bodegas	-75,3	146,9	-29,2
Vino calificado (hl)	10,8	-16,9	-1,9
Volumen de vino vendido interiormente (hl)	20,5	182,5	7,2
Volumen de vino vendido en la exportación (hl)	90,6	732,4	25,3

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos MAPA (2020), serie 2000-01 a 2008-19.

Ribera del Duero se puede destacar como en los últimos tres años se produce un acusado descenso, desde un máximo alcanzado en la campaña 16-17.

Así, parece constatarse como ha habido una diferente política de gestión del volumen de vino calificado. Ribera del Duero DOP presenta una contención del volumen calificado, a pesar de haber aumentado todos los recursos utilizados para ello, ver tabla 1.2., más recursos para la misma producción. Sin embargo, Rioja incrementa el volumen de vino calificado, aunque la cuantía de sus recursos no haya aumentado. En el periodo de 2000-01 a 2018-19, y derivado del tratamiento de los datos publicados por el MAPA (2020), se calcula que el volumen medio de vino calificado ha sido de 43,37 hl/ha en Rioja, por 26,51 hl/ha en Ribera del Duero, cuando la media nacional se situaba en 18,45 hl/ha.

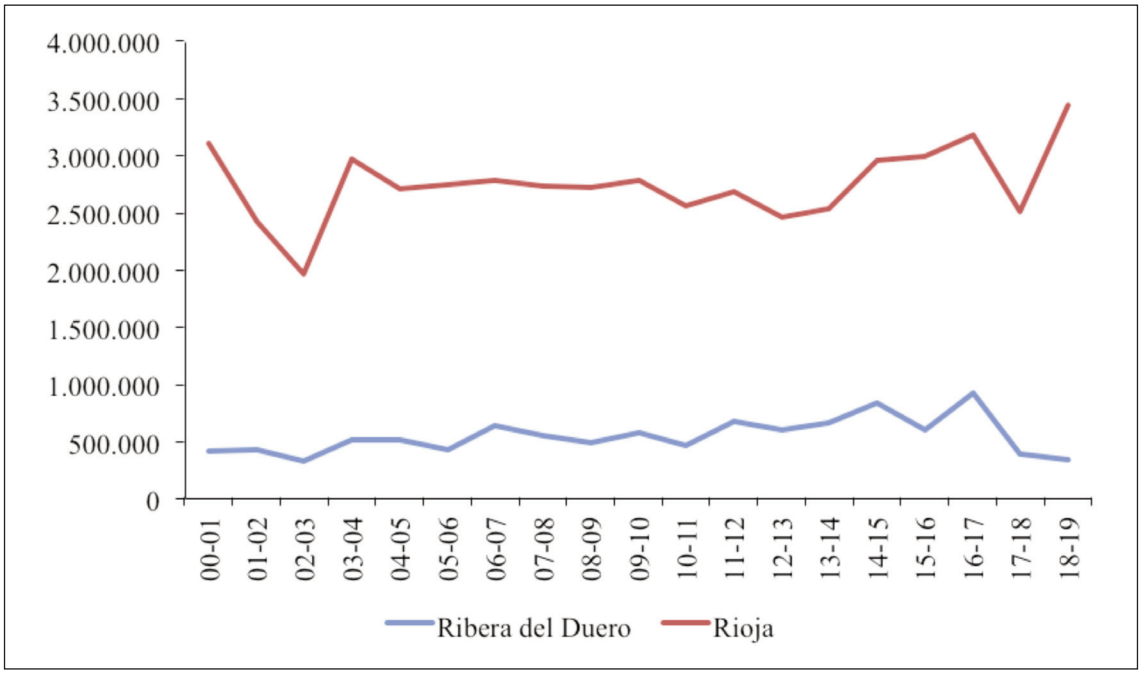


Figura 1. Evolución del volumen vino calificado (hl) en Rioja y Ribera del Duero 2000-01 a 2018-19.
Fuente: Elaboración propia a partir de los datos MAPA (2020), serie 2000-01 a 2008-19.
Figure 1. Evolution of qualified wine volume (hl) in Rioja and Ribera del Duero 2000-01 to 2018-19.

Los precios de exportación de los vinos en este periodo también han tenido una diferente evolución. La figura 2 muestra los precios de los diferentes vinos de las distintas DOP obtenidos en la exportación. Se ha utilizado la referencia del mercado de exportación al disponer de una serie completa de datos, 2007-08 a 2018-19, circunstancia que no ha sido posible obtener para el mercado interior. Puede observarse como en el periodo estudiado los precios de exportación Ribera de Duero son destacadamente más altos que en Rioja y la media nacional.

Otro elemento que merece la pena evaluar es la evolución del valor total de la producción en ese tiempo y las ratios del valor generado por unidad de recurso utilizado. La serie disponible en el MAPA es corta y solo se disponen de los tres últimos años, 20016-17, 2017-18 y 2018-19, al tratarse de una serie corta resulta arriesgado establecer conclusiones definitivas que pueden estar sesgadas por una buena o mala campaña. En la tabla 2, en la evolución del valor de las DOP, destaca el descenso en ambas DOP, siendo especialmente patente en Ribera del Duero en el último año.

El resto del trabajo se organiza como sigue: el marco teórico e hipótesis se presentan en la sección Material y métodos, junto con la descripción de la muestra, las variables analizadas y la metodología utilizada. En la siguiente sección se muestran los resultados, posteriormente se realiza la discusión, y en la última se presentan las conclusiones.

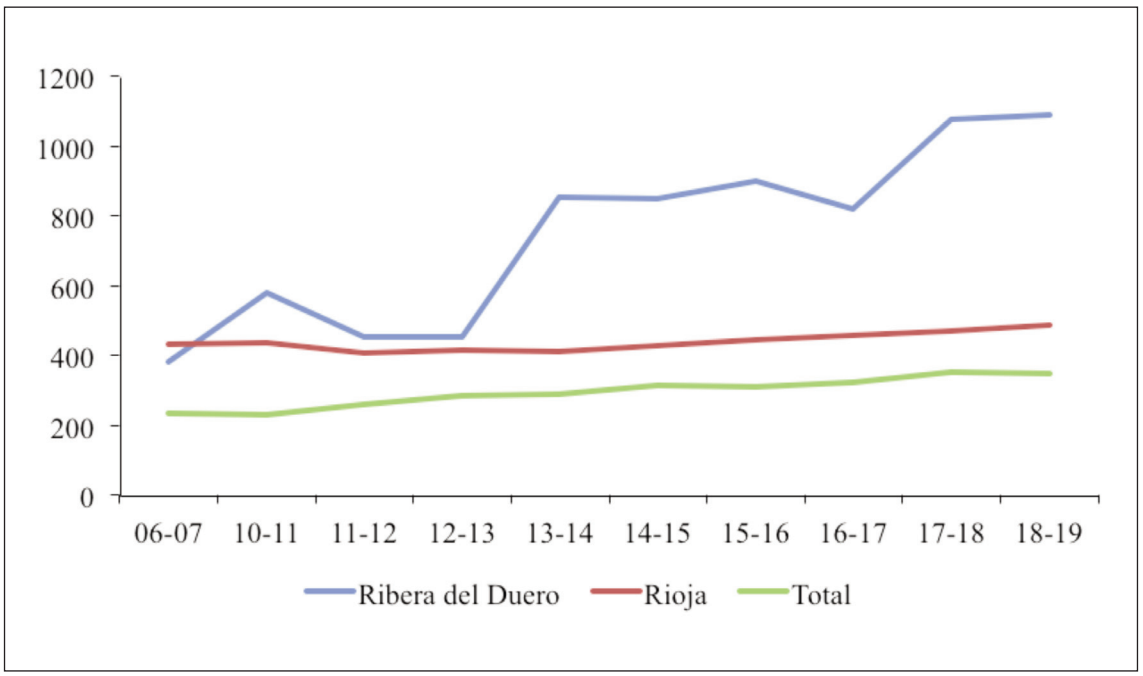


Figura 2. Evolución de los precios de exportación del vino DOP, Rioja Ribera del Duero y la media de las DOP de España. 2006-07 a 2018-19. Euros/hl.

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos MAPA (2020), serie 2000-01 a 2008-19.

Figure 2. Evolution of the export prices of PDO wine, Rioja Ribera del Duero and the average of Spanish PDOs. 2006-07 to 2018-19. Euros/hl.

Tabla 2. Valor de la producción en euros en Rioja, Ribera del Duero y el conjunto de las DOP de España en el periodo 2016-17 a 2018-19.
Table 2. Value of production in euros in Rioja, Ribera del Duero and all the PDOs of Spain in the period 2016-17 to 2018-19.

DOP	Campaña 16-17	Campaña 17-18	Campaña 18-19	Media del periodo 16-17 a 18-19
Ribera del Duero	403.883.122	381.220.374	287.919.443	357.674.313
Rioja	1.014.242.083	997.803.030	988.153.761	1.000.066.291
España	4.184.263.725	4.301.964.479	3.985.946.504	4.157.391.569

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos MAPA (2020), serie 2000-01 a 2008-19.

Material y métodos

Marco teórico e hipótesis

Los dos principales enfoques teóricos que explican cómo las empresas logran un mejor resultado que sus competidores, la ventaja competitiva, son los recursos y capacidades (Barney, 1991) y la estrategia de la ventaja competitiva (Porter, 1985).

Recursos y capacidades (RBV)

Esta teoría centra en la disposición de ciertos recursos y las capacidades, la clave para lograr una ventaja competitiva (Barney, 1991). Los recursos son todos factores disponibles que controla la empresa y que se convierten en productos o servicios finales mediante el uso de una amplia gama de otros activos y mecanismos disponibles para la empresa. Las capacidades se desarrollan con el tiempo, basadas en interacciones complejas entre los recursos disponibles (Amit y Schoemaker, 1993). Los recursos y capacidades de que dispone la empresa no son en sí mismos un elemento estratégico y fundamental que asegure el logro de una ventaja competitiva. Para su obtención se deben cumplir tres condiciones: establecer la ventaja competitiva, mantener la ventaja competitiva y apropiarse de los beneficios que de ella se deriven. Para satisfacer estas tres condiciones, los recursos deben ser escasos y relevantes, y deben ser duraderos, intransferibles y no replicables (Grant, 2010).

Estrategia

Para la empresa, una estrategia es un plan que determina los objetivos (Brenes *et al*., 2014), integra políticas y las secuencias de acción más relevantes (Mintzberg *et al*., 2009) y contempla qué mercados abastecer y con qué productos. A pesar de ser criticado, el modelo de Porter (1985) sigue siendo el modelo de referencia para analizar la estrategia empresarial (Brenes *et al*., 2014; Islami *et al*, 2020). Porter (1985) sostiene que, para obtener una ventaja competitiva, la empresa debe elegir entre dos opciones estratégicas, liderazgo en costes o liderazgo en diferenciación. El liderazgo en costes se centra en la producción de bienes de bajo coste para satisfacer a los clientes sensibles al precio (Soltanizadeh *et al*., 2016). La diferenciación se centra en ofrecer productos y servicios diferentes y únicos en la industria, pero a una amplia gama de clientes relativamente insensibles al precio (Soltanizadeh *et al*., 2016). Las dos estrategias pueden llevar a la ventaja competitiva y la literatura señala situaciones de éxito en ambas tipologías. La estrategia de diferenciación se ha referenciado como la estrategia estrella, en el contexto de la industria alimentaria en Italia, Curzi y Olper (2012) sostienen que las estrategias de diferenciación influyen en la capacidad de las empresas para desarrollar su actividad externa. Además, con base en la actividad empresarial en Colombia, Kugler y Verhoogen (2008) revelan que para llevar a cabo buenas prácticas en calidad se necesitan empleados altamente cualificados, estableciendo una relación positiva entre la inversión en insumos y la calidad y precio de los productos. Sin embargo, la realidad muestra muchos ejemplos de empresas que aumentan su presencia en el mercado internacional a través de las estrategias de costes (Bardají *et al*., 2014; Simon-Elorz *et al*., 2015).

Aunque el modelo de Porter tenga un papel preponderante en la definición de las estrategias a través de las dos clásicas de diferenciación y costes, existen diferentes modelos que amplían esa visión e introducen más tipos de estrategias genéricas, entre ellos se encuentra el modelo de Robinson y Pearce (1988), que define cuatro estrategias genéricas, eficiencia, servicio, innovación y marketing. El modelo asigna eficiencia a costes, servicio a diferenciación, dejando fuera del modelo de Porter, innovación y marketing (Dess y Davis, 1984).

Hipótesis 1: Las bodegas de Rioja o Ribera del Duero que sigan una estrategia de eficiencia (costes) o de diferenciación (servicio) alcanzarán un mejor desempeño financiero.

Recursos de innovación

Según la OCDE (2015), la innovación permite la creación de nuevas empresas, nuevos puestos de trabajo y aumenta la productividad, siendo la clave del crecimiento, además de ayudar a la humanidad a resolver sus grandes desafíos, como la escasez de recursos y el cambio climático. Por tanto, la innovación produce una situación de monopolio temporal que permite una ventaja en el desempeño (Utterback y Suárez, 1993). Además, la innovación se puede clasificar, según su alcance, en incremental, en función del conocimiento existente; o radical, basado en diferentes conocimientos tecnológicos (Green *et al*., 1995). Además, la OECD (2015) realiza una clasificación según el objetivo de innovación: 1) innovación de productos, 2) innovación de procesos, 3) innovación de marketing y 4) innovación organizacional.

Existen varios estudios en el sector vitivinícola que defienden la importancia de la innovación y su relación con un mejor desempeño. Por ejemplo, Cusmano *et al*. (2010), Dressler (2013), Nuebling *et al*. (2016), centrados en la innovación de productos, enfocándose en la innovación de cultivos, estandarización y embalaje de productos. Otros estudios se centran en la innovación de procesos, que implica la elaboración de vinos y la modernización tecnológica (Cusmano *et al.*, 2010; Dressler, 2013). Un tercer grupo de estudios se focaliza en el desarrollo de técnicas de innovación de marketing (Di Vita *et al*., 2013; Dressler, 2013). Y finalmente, existen otros estudios que prestan atención a la innovación organizacional, enfocándose en la innovación estratégica y la estrategia empresarial (Cusmano *et al*., 2010; Pradana *et al.*, 2020). Todos estos estudios encuentran una relación positiva entre los diferentes tipos de innovación y desempeño. También, en un estudio comparativo, Wood y Kaplan (2005) examinan cómo la innovación mejora el desempeño de los diferentes tipos de empresas en la industria vinícola de Sudáfrica.

Hipótesis 2: Las bodegas de Rioja o Ribera del Duero que dispongan de una mejor dotación de recursos de innovación alcanzarán un mejor desempeño financiero.

Muestra

La muestra de empresas que operan en el sector vitivinícola en las DOP de Rioja y Ribera del Duero ha sido obtenida a través de una base de datos que ha sido alimentada con dos fuentes de información. La primera fuente es la base de datos del Sistema de Análisis de Balances Ibéricos (SABI, 2017), tomando aquellas empresas que se encuentren registradas y activas en el año 2015, bajo el epígrafe 11.02 de la CNAE de la (Clasificación Nacional de Actividades Económicas) correspondiente a "Empresas Vitícolas". La segunda son los registros públicos de las empresas vitivinícolas que existen en las diferentes DOP. El número de entidades independientes que resultaron de esta aproximación fue de 480 en Rioja y 250 en Ribera del Duero. Siguiendo estudios previos (Spanos y Lioukas, 2001) se borraron los datos perdidos, en este caso eliminando aquellas empresas que no contaban con número de teléfono o dirección de correo electrónico válidos (Spanos y Lioukas, 2001). También fueron eliminadas aquellas empresas sin una estructura firme, o que eran una filial de otra empresa.

Como resultado de este proceso, el número total de empresas independientes se redujo a 312 en Rioja y 182 en Ribera del Duero. La encuesta se envió por correo electrónico a los gerentes, directores de marketing o de producción con posterior recordatorio telefónico un mes después. Al final del proceso, en mayo de 2016, se recibieron un total de

69 respuestas válidas, 41 en Rioja y 28 en Ribera del Duero, lo que representa un 14 % del total de la muestra, que se ha considerado un porcentaje válido para sectores industriales, según Baruch y Holtom (2008). El error muestral se ha determinado a través del error estándar de la media[1], calculando el error cometido para el caso de poblaciones finitas, resultando un nivel de confianza del 90 % y un error muestral inferior al 10 %. En la tabla 3.1 puede verse el resumen de estadísticas de la muestra. La tabla 3.2 analiza la importancia de las bodegas participantes en función de su volumen elaborado y el total de la DOP, tanto para Rioja como para Ribera del Duero. En la misma se ha calculado la ratio porcentual entre vino elaborado y numero de bodegas, el resultado, similar entre ambas (1,44 *vs.* 1,37) permite descartar la existencia de sesgo entre ambas muestras.

Tabla 3.1. Características de la muestra. Resumen de estadísticas.
Table 3.1. Sample Characteristics. Summary Statistics.

Variable	Obs	Media	Desviación Estándar	Min	Max
Rioja	41				
Edad (años operando)	40	46,43	37,87	11	160
Número de empleados fijos	39	10,85	29,91	1	191
Vino elaborado en hectolitros	35	10.865	21.830	0	120.000
Volumen del activo en miles de euros	34	4.626,47	8.386,80	200	50.000
Facturación en miles de euros	36	2.542,36	5.073,41	25	30.000
Ribera del Duero	28				
Edad (años operando)	27	25,00	23,95	3	112
Número de empleados fijos	26	9,38	15,52	1	80
Vino elaborado en hectolitros	25	10.236	24.350	0	23.855
Volumen del activo en miles de euros	25	3.696,00	6.390,65	200	30.000
Facturación en miles de euros	26	2.646,15	4.037,00	25	15.000

Fuente: Elaboración propia.

1. $n = (Z^2 . p.q\ N) / (e^2 . (N-1) + Z^2 . p . q$; donde n = tamaño muestral, N = población, Z = nivel de confianza (1,65 para el 90%), e = error muestral, p = q = probabilidad pertenencia al grupo.

Tabla 3.2. Características de la muestra. Bodegas que participan en la muestra y volumen elaborado sobre el total en Rioja y Ribera del Duero.
Table 3.2. Sample Characteristics. Production of the wineries in the sample and percentage over the total production in Rioja and Ribera del Duero.

Variable	Muestra	DOP 2015	% muestra /DOP	Ratio
Rioja				
Vino elaborado, en hectolitros	380.260	2.946.913	12,90	
Bodegas	28	312	8,97	
Ratio % muestras/DOP entre vino elaborado y bodegas				1,44
Ribera del Duero				
Vino elaborado, en hectolitros	255.912	827.615	30,92	
Bodegas	41	182	22,5	
Ratio % muestras/DOP entre vino elaborado y bodegas				1,37

Fuente: elaboración propia, MAPA (2020) y datos muestra.

Variables

La encuesta se configuró después de una extensa revisión de la literatura. Además, para justificar su aplicación al sector vitivinícola español, se realizó una posterior validación de la encuesta entre entidades, expertos y responsables relacionados con el sector vitivinícola español. El objetivo era asegurar que la encuesta fuera comprensible y reflejara las peculiaridades de la industria. Los elementos que se han considerado se presentan a continuación.

Recursos de innovación

Las capacidades de innovación se componen de seis indicadores, medidos por una escala Likert de 5 puntos donde la empresa tenía que marcar su posición relativa frente a sus competidores de 1, "mucho más débil que el competidor", a 5, "mucho más fuerte que el competidor". Las preguntas están adaptadas de Carraresi *et al*. (2011). Los ítems medidos fueron: innovación de producto, innovación de procesos, asignación a marketing de recursos en investigación y desarrollo, innovación organizacional o en sistemas de gestión, participación en proyectos de I+D (autonómicos, nacionales e internacionales) y colaboración con organismos públicos de investigación u otras empresas. Las cuestiones recogen los cuatros tipos de innovación analizados en la revisión bibliográfica y se amplían con dos cuestiones sobre colaboración en la innovación (Ferrer *et al.*, 2019). Así mismo, se calcula en este trabajo la variable *Innovación conjunto,* como la media de los seis indicadores cuestionados (Ruiz Ortega, 2010).

Estrategia de la bodega

Para capturar las estrategias de negocio se utilizan las escalas de Dess y Davis (1984) y Robinson y Pearce (1988) para determinar, a través de 22 preguntas, las opciones estratégicas seguidas por la bodega (Tabla 4). En concreto, en cada empresa se define el peso de las cuatro estrategias principales definidas por Robinson y Pearce (1988): eficiencia, servicio, innovación y marketing. La escala utilizada para capturar la estrategia consiste en una escala Likert con cinco niveles donde las empresas se evalúan a sí mismas con respecto a diferentes esfuerzos de desarrollo empresarial, donde 1 es "nunca utilizado" y 5 es "principal, utilizado constantemente". Este modelo se ha utilizado en estudios empíricos previos, como Spanos y Lioukas (2001) y Ruiz Ortega (2010), entre otros.

Las cuatro estrategias principales, (Tabla 4) se determinan agrupando gran parte de las 22 cuestiones planteadas sobre el comportamiento estratégico empresarial. En la misma tabla 4 puede observarse la puntuación de la DOP Rioja y Ribera del Duero para cada ítem. La asignación de cuestiones a las diferentes estrategias principales o genéricas está definida en el trabajo de Robinson y Pearce (1988) y ese ha sido el criterio seguido en esta investigación.

Análisis del entorno competitivo

Según Porter (1985), la competitividad o nivel de competencia de una industria o sector, depende de cinco fuerzas y es su acción conjunta la que determina el beneficio potencial de una industria para sus actores (empresas). Estas fuerzas son: la intensidad de la rivalidad interna, las barreras de entrada, la amenaza de los sustitutos, el poder de negociación del proveedor y el poder de negociación del comprador. Después de analizar las fuerzas y cómo se fusionan, se pueden identificar las fortalezas y debilidades de la empresa. La empresa debe estar posicionada para lograr la ventaja competitiva construyendo defensas contra las fuerzas competitivas o buscando posiciones dentro de la industria donde estas fuerzas sean más débiles. La medida de la competencia existente se ha realizado con nueve ítems que recogen la situación de la empresa con respecto a las 5 fuerzas de Porter (1985). Y contemplan; 1) intensidad de la rivalidad interna (cuatro cuestiones): características del producto, estrategias promocionales entre rivales, acceso a canales de distribución y estrategias de servicio a los clientes, 2) barreras de entrada (una cuestión), 3) amenaza de sustitutos (una cuestión), 4) poder de negociación del proveedor (dos cuestiones): en materias primas (uva y vino) y en la incorporación de materiales (vidrio, maquinaria, servicios, etc.), y 5) poder de negociación del comprador (una cuestión) (% de los tres mayores compradores). Ante cada una de las cuestiones los directivos de la empresa contestan en una escala Likert del 1 "muy débil competencia" a 5 "muy fuerte competencia". Esta metodología ha sido utilizada en diferentes estudios previos (entre otros, Spanos y Lioukas, 2001). La variable *Entono competitivo conjunto,* se ha calculado como la media de los nueve indicadores cuestionados (Ruiz Ortega, 2010).

Desempeño empresarial

El desempeño empresarial se analiza siguiendo a Spanos y Lioukas (2001) y evaluando el desempeño financiero, y se refiere a los últimos tres años de la actividad. La dimensión refleja el desempeño interno de la empresa, los ingresos generados en su actividad económica (Spanos y Lioukas, 2001), a través de tres ítems: margen bruto, retorno del capital propio y beneficio neto. En una escala Likert de 5 puntos, las empresas evalúan su posición con respecto a la competencia, y los valores de la escala están entre 1 "muy por debajo de la media" a 5 "muy por encima de la media". En este estudio los

Tabla 4. Comportamientos competitivos y asignación a estrategias de Robinson y Pearce.
Table 4. Competitive behaviuors and assignment to Robinson and Pearce strategies.

Cuestiones sobre actitudes estratégicas	Rioja		Ribera		Estrategia principal
	Media	DS	Media	DS	
1. Precios por debajo de la competencia.	2,07	1,08	2	1,05	Servicio(-)
2. Desarrollo de nuevos productos.	2,93	1,17	3,07	1,36	Innovación /Marketing
3. Amplia gama de productos.	2,9	1,3	3,22	1,45	no asignada
4. Servicio al cliente.	3,9	1,24	3,75	1	Servicio
5. Esfuerzos específicos para asegurar un grupo de personal experimentado altamente capacitado.	3,27	1,23	3,04	1,22	Eficiencia
6. Procedimientos de control de calidad del producto extremadamente estrictos.	3,51	1,1	3,61	1,1	Eficiencia
7. Énfasis en mejorar el coste por unidad.	3,27	1,32	3,14	1,08	Eficiencia
8. Mantener altos niveles de inventarios (sin tener en cuenta la derivada del envejecimiento del producto).	2,51	1,14	2,63	0,93	no asignada
9. Gama de productos reducida y limitada.	2,35	1,12	2,44	1,34	no asignada
10. Creación de identificación de marca.	3,22	1,24	3,81	1,02	Marketing
11. Desarrollar y perfeccionar productos existentes.	3,27	1,23	3,46	1,2	Innovación
12. Fuerte influencia sobre la distribución de canales.	2,39	1,12	2,75	1,27	Marketing
13. Gran esfuerzo para asegurar la disponibilidad de materias primas.	3,07	1,21	2,82	1,12	no asignada
14. Gran gasto en I + D orientado al proceso de producción.	2,02	1,04	2,39	1,2	Innovación
15. Atiende solo mercados geográficos específicos.	2,1	1,26	2,71	1,21	no asignada
16. Gastos de publicidad de promoción por encima del promedio de la industria.	2,02	1,04	2,57	1	no asignada
17. Énfasis en la fabricación de productos especiales.	2,93	1,23	3,21	1,29	Innovación
18. Esfuerzo concertado para construir reputación dentro de la industria.	3,63	1,07	3,46	1,14	Servicio
19. Innovación en el proceso de fabricación.	2,95	1,18	2,96	1,23	Eficiencia
20. Productos en segmentos de mercado de mayor precio.	2,9	1,28	3,18	1,22	Servicio
21. Productos en segmentos de mercado de menor precio.	2,05	1,02	1,89	1,03	Servicio (-)
22. Innovación en técnicas y métodos de marketing.	2,35	1,12	2,68	1,12	Eficiencia /Marketing

Fuente: asignación Robinson y Pearce (1988), datos elaboración propia.

autores han utilizado escalas subjetivas para determinar el desempeño empresarial, los datos contables pueden estar sujetos a variabilidad anual, pueden incluir resultados extraordinarios y movimientos fuera de la actividad principal de la empresa. Así, varios estudios confirman la confluencia entre escalas subjetivas y objetivas (Dess y Davis, 1984; Richard *et al*., 2009; Santos y Brito, 2012) siendo utilizada en numerosos estudios empíricos (entre otros Spanos y Lioukas, 2001). La variable adoptada como desempeño financiero es la media de los tres indicadores: margen bruto, retorno del capital propio y beneficio neto.

Metodología

Dos son los objetivos que este trabajo se plantea, en primer lugar, determinar cuáles son las diferencias entre Rioja y Ribera del Duero, en cuanto al recurso innovación, el entorno competitivo (5 fuerzas de Porter), y a las estrategias de Robinson and Pearce utilizadas. Y, en segundo lugar, conocer la influencia que tiene en el desempeño empresarial, el recurso innovación y las diferentes estrategias genéricas que utilizan las bodegas de Rioja y Ribera del Duero.

Primer paso comparación entre muestras independientes

Para determinar los elementos que caracterizan a las DOP estudiadas se ha utilizado el Test de U Mann Whitney para dos muestras independientes, Rioja y Ribera del Duero. El Test de U Mann Whitney es aconsejado en caso de variables no paramétricas o cuando la variable no sigue una distribución normal, en este caso ambas circunstancias se dan. La primera, por la propia definición de las variables medidas en intervalos, y la segunda por el resultado del Test Shapiro Wilk que refleja una falta de normalidad en algunas de las variables utilizadas, ver Tabla 5.

Segundo paso regresión Bayesiana

Se ha optado por realizar regresiones bayesianas, por su mayor fiabilidad cuando el número de casos es bajo y cuando no se puede asegurar que todas las variables presentan una distribución normal (Block *et al*., 2011), circunstancias que se adaptan al presente estudio.

El modelo de análisis propuesto es el siguiente:

$$Y_j = \beta_0 + \beta_1 Q_j + \beta_2 T_j + e_j$$

Donde la variable dependiente Y_j es el valor de desempeño financiero de la empresa *"j"*, medido como la media de los tres ítems contemplados en el desempeño financiero. β_0 es la constante; β_1, el coeficiente de *Q*, la variable a estudiar que será, según el submodelo, el recurso innovación o las diferentes estrategias genéricas Robinson y Pearce; β_2, el coeficiente de la variable tamaño de la empresa considerada como variable de control; y e_j es el error o el residual del modelo propuesto. Se desarrollan cinco regresiones (o submodelos) para cada DOP, que corresponden a los cuatro valores que puede adoptar la variable estrategia de Robinson y Pearce: 1) estrategia de eficiencia, 2) estrategia de innovación, 3) estrategia de servicio, 4) estrategia de marketing, más la 5) el análisis del recurso innovación. Como variable de control se ha tomado el tamaño de la empresa, definido como el logaritmo natural del número de empleados, este método es habitualmente utilizado, entre otros por Spanos y Lioukas (2001), Ruiz Ortega (2010), y Camisón y Villar-López (2014).

Tabla 5. Resumen estadístico, prueba de U-Mann Whitney y Test de Normalidad Shapiro Wilk para Rioja *vs.* Ribera del Duero.
Table 5. Summary Statistics, U-Mann Whitney test, and Shapiro Wilk Normality test for Rioja vs. *Ribera del Duero.*

	Rioja		Ribera		U Mann Whitney Sig. Test	Shapiro Wilk. Sig. Test.
	Media	DS	Media	DS		
Innovación conjunto	2,39	0,75	2,78	1,03	0,090	0,44
Producto	2,83	1,02	3,43	1,26	0,033	1,00
Proceso	2,9	0,92	3,14	1,08	0,309	1,00
Asignación a marketing de recursos en I+D	2,22	1,08	2,67	1,18	0,121	0,06
Organizacional	2,41	0,92	2,5	1,11	0,843	0,12
Participación en proyectos de I+D+i	2	0,97	2,43	1,35	0,253	0,00
Colaboración con organismos públicos de investigación u otras empresas	2	1,02	2,57	1,14	0,039	0,00
Entono competitivo conjunto	3,11	0,49	3,34	0,47	0,058	0,34
Rivalidad. Características del producto	3,51	1,03	3,68	0,86	0,492	0,03
Rivalidad. Estrategias de promoción entre rivales	3,3	1,11	3,29	1,05	0,995	0,97
Rivalidad. Acceso a los canales de distribución	3,2	1,18	3,75	1,08	0,045	0,70
Rivalidad. Estrategias de servicios a los clientes	3,29	1,03	3,57	1,03	0,248	0,50
Barreras de entrada	3,23	1,37	3,58	1,1	0,356	0,91
Amenaza de sustitutos	3,03	1,14	3,57	0,79	0,042	0,56
Poder de los proveedores. Materias primas	2,8	1,03	2,85	0,86	0,855	0,42
Poder de los proveedores. Productos auxiliares	2,88	1,08	3,36	0,83	0,111	0,99
Poder de negociación de los compradores	3,2	0,9	3,43	0,79	0,281	0,18
Estrategias						
Eficiencia	3,07	0,81	3,08	0,84	0,825	0,84
Servicio	3,67	0,79	3,70	0,63	0,946	0,39
Innovación	2,79	0,85	3,04	0,95	0,072	0,15
Marketing	2,71	0,9	3,05	0,87	0,151	0,68

Fuente: Elaboración propia.

Resultados

El análisis de los resultados se ha realizado en dos pasos. El primero estudia si hay o no diferencia en capacidades de innovación, rivalidad y estrategias entre Rioja y Ribera del Duero. En el segundo, utilizando la regresión bayesiana, se analizan si la innovación y las estrategias genéricas determinan el resultado financiero positivo en Rioja y Ribera del Duero, para poder aceptar o rechazar las hipótesis planteadas.

Primer paso, diferencias entre variables, Test de U Mann Whitney

Primer paso, En la tabla 5 aparecen los valores de la media y la desviación típica de las variables encuestadas, diferenciada por Rioja y Ribera del Duero, así como la significatividad del Mann Whitney U Test para muestras independientes. Se analizan, el recurso innovación, el nivel de rivalidad, a través de las 5 fuerzas de Porter, y las estrategias de Robinson y Pearce, en Rioja y Ribera del Duero.

Con respecto a la innovación existe una ventaja competitiva, con significatividad estadística, de Ribera del Duero con respecto a Rioja en, innovación de producto, colaboración con organismos públicos de investigación u otras empresas, y con la variable *Innovación conjunto* (0,090). En cuanto al entorno competitivo, existe una mejor posición de Rioja con una menor presión de las fuerzas de la competencia en, acceso a los canales de distribución, amenazas de sustitutos y con la variable *Entorno competitivo conjunto* (0,058). Finalmente, la tabla 5 también revela una distinta posición estratégica. Ribera del Duero utiliza más consistentemente la estrategia genérica de innovación de Robinson y Pearce. Por su parte, Rioja disfruta de una posición estratégica menos definida, sin destacar sobre Ribera del Duero en ninguna de las estrategias genéricas de Robinson y Pearce, aunque son las tipologías estratégicas de servicio y las de eficiencia las más utilizadas. En cuanto a Ribera del Duero destaca la estrategia de servicio, estando el resto de las estrategias prácticamente al mismo nivel.

Segundo paso, regresión bayesiana

Por lo que respeta a la regresión bayesiana, las tablas 6 y 7 muestran el resultado para el recurso innovación y las cuatro estrategias de Robinson y Pearce, para las DOP analizadas, Rioja (tabla 6) y Ribera del Duero (tabla 7).

En referencia a la DOP Rioja, los resultados muestran que las estrategias de Robinson y Pearce relacionadas con el mejor performance financiero son: innovación (99,8 % de probabilidad) y eficiencia (99,2 %). Marketing presenta una menor relación (95,3 %), y en último lugar la estrategia de servicio (89,2 %). El recurso innovación presenta una alta probabilidad de ser causa del mejor performance financiero con una probabilidad del 99,9 %. Por ello para Rioja se acepta parcialmente la hipótesis 1, pues sí que existe una alta significatividad de la estrategia de costes (eficiencia), pero se rechaza la relación existente con la estrategia de servicio (diferenciación). Por lo que respecta a la hipótesis 2, se acepta en el caso de la DOP Rioja con una elevada significación entre el recurso innovación y el performance financiero.

La DOP Ribera del Duero presenta, por lo que respecta a las estrategias genéricas una configuración diferente. En este caso la estrategia más importante es la de marketing con un 98,9 % de probabilidad relacionada con el performance financiero, el resto de las estrategias están por debajo del umbral del 95 %: eficiencia 91,6 %, innovación 87,1 % y servicio 53,3 %. En este caso se acepta parcialmente la hipótesis 1, existe una probabilidad por encima del 90 %, más baja que en el caso de Rioja, entre la estrategia de eficiencia (costes)

Tabla 6. Regresión bayesiana, innovación y estrategias Robinson y Pearce. Rioja.
Table 6. Bayesian regression, innovation, and Robinson and Pearce strategies. Rioja.

	Media	DS	MCSE	Mediana	Inter. 95% (1)	Inter. 95% (2)	Prob > 0
				Modelo 1. Ratio de aceptación: 0,338			
Innovación	0,590	0,157	0,006	0,585	0,293	0,907	0,999
Tamaño	-0,012	0,022	-0,001	-0,012	-0,055	0,032	0,287
_cons	1,418	0,403	0,014	1,417	0,626	2,196	
sigma2	0,702	0,155	0,004	0,682	0,458	1,062	
				Modelo 2. Ratio de aceptación: 0,356			
Estrategia de Innovación	0,472	0,158	0,006	0,467	0,163	0,790	0,998
Tamaño	-0,003	0,024	0,001	-0,004	-0,049	0,044	0,444
_cons	1,516	0,471	0,016	1,522	0,598	2,454	
sigma2	0,779	0,177	0,005	0,752	0,516	1,209	
				Modelo 3. Ratio de aceptación: 0,345			
Estrategia de Servicio	0,235	0,190	0,006	0,242	-0,145	0,603	0,892
Tamaño	-0,004	0,026	0,001	-0,003	-0,054	0,049	0,440
_cons	2,005	0,705	0,021	1,981	0,644	3,432	
sigma2	0,913	0,201	0,005	0,884	0,602	1,386	
				Modelo 4. Ratio de aceptación: 0,337			
Estrategia de Eficiencia	0,415	0,170	0,005	0,416	0,069	0,744	0,992
Tamaño	-0,002	0,024	0,001	-0,003	-0,049	0,047	0,464
_cons	1,576	0,550	0,017	1,580	0,520	2,681	
sigma2	0,828	0,189	0,005	0,798	0,541	1,267	
				Modelo 5. Ratio de aceptación: 0,358			
Estrategia de Marketing	0,272	0,161	0,005	0,269	-0,048	0,601	0,953
Tamaño	-0,009	0,027	0,001	-0,010	-0,060	0,044	0,363
_cons	2,126	0,465	0,016	2,139	1,204	3,025	
sigma2	0,889	0,209	0,005	0,853	0,578	1,386	

Fuente: Elaboración propia.

Table 7. Regresión bayesiana, innovación y estrategias Robinson y Pearce. Ribera del Duero.
Table 7. Bayesian regression, innovation, and Robinson and Pearce strategies. Ribera del Duero.

	Media	DS	MCSE	Mediana	Inter. 95% (1)	Inter. 95% (2)	Prob > 0
				Modelo 6. Ratio de aceptación: 0,369			
Innovación	0,285	0,159	0,005	0,290	-0,024	0,593	0,963
Tamaño	0,023	0,035	0,001	0,024	-0,046	0,094	0,745
_cons	1,750	0,441	0,015	1,738	0,899	2,602	
sigma2	0,644	0,185	0,005	0,612	0,381	1,087	
				Modelo 7. Ratio de aceptación: 0,343			
Estrategia de Eficiencia	0,319	0,231	0,007	0,316	-0,123	0,789	0,916
Tamaño	0,335	0,397	0,017	0,336	-0,433	1,121	0,799
_cons	1,438	0,777	0,027	1,447	-0,137	2,911	
sigma2	0,730	0,240	0,008	0,686	0,408	1,313	
				Modelo 8. Ratio de aceptación: 0,363			
Estrategia de Servicio	0,021	0,253	0,008	0,022	-0,491	0,522	0,533
Tamaño	0,047	0,034	0,001	0,047	-0,015	0,121	0,917
_cons	2,346	0,951	0,028	2,356	0,467	4,269	
sigma2	0,741	0,228	0,007	0,698	0,414	1,292	
				Modelo 9. Ratio de aceptación: 0,319			
Estrategia de Innovación	0,203	0,179	0,006	0,207	-0,156	0,557	0,871
Tamaño	0,033	0,036	0,001	0,032	-0,041	0,107	0,821
_cons	1,874	0,545	0,019	1,882	0,811	2,996	
sigma2	0,706	0,214	0,006	0,668	0,402	1,234	
				Modelo 10. Ratio de aceptación: 0,389			
Estrategia de Marketing	0,437	0,191	0,007	0,434	0,075	0,827	0,989
Tamaño	0,017	0,034	0,001	0,016	-0,052	0,088	0,691
_cons	1,233	0,562	0,021	1,233	0,093	2,291	
sigma2	0,608	0,189	0,006	0,571	0,342	1,080	

Fuente: Elaboración propia.

y el performance financiero. Sin embargo, no hay probabilidad remarcable de que la estrategia de servicio esté relacionada con el mejor performance financiero. Por lo que concierne al recurso innovación, presenta una importante probabilidad de estar relacionada con el performance financiero (96,3 %), por lo que se confirma la hipótesis 2.

Discusión

Este articulo tiene como objetivo analizar la diferente situación competitiva de dos de las DOP más importantes de España: Rioja y Ribera del Duero. El análisis de su posición competitiva se realiza utilizando la teoría de los recursos y las capacidades, a través del recurso innovación; el entorno competitivo, mediante las 5 fuerzas de Porter, y las estrategias de Robinson y Pearce. Así mismo, con respecto a las estrategias de Robinson y Pearce, de eficiencia y diferenciación, y al recurso innovación, se plantean las hipótesis 1 y 2 del trabajo, conforme estrategias y recursos de innovación determinan un mayor desempeño financiero.

Los resultados ponen de manifiesto un entorno competitivo menos agresivo en Rioja, que puede estar influenciado por un mejor desempeño en el mercado global y sus mejores resultados en la exportación (ver tabla 1.1). La DOP Rioja también se caracteriza por disponer de inferiores recursos de innovación que Ribera del Duero. Por otra parte, se observa como en Rioja existen dos estrategias fundamentalmente utilizadas, la estrategia de servicio y la de eficiencia, quedando innovación y marketing en niveles más bajos. En referencia a las hipótesis planteadas, en la DOP Rioja, se acepta la relación existente entre estrategia de eficiencia (costes) y desempeño financiero, pero se rechaza la relación entre estrategia de diferenciación (servicio) y el resultado financiero de la empresa. Este hecho ya ha sido corroborado en los estudios previos de Bardají *et al*. (2014) y Simon-Elorz *et al*. (2015) en la validez de la estrategia de costes en la internacionalización del vino español. En referencia a la hipótesis 2, se acepta con claridad la relación entre el recurso innovación y el desempeño financiero, confirmado por trabajo previos (entre otros, Cusmano *et al.,* 2010; Dressler, 2013; Pradana *et al.*, 2020).

Por lo que respecta a Ribera del Duero se produce un nivel competitivo más fuerte, en parte influido por su desarrollo histórico en los últimos años caracterizado por un importante crecimiento en bodegas y hectáreas, sin haber crecido el volumen de vino calificado (MAPA, 2020). Las bodegas de Ribera, más jóvenes que en Rioja, disponen de una mayor nivel de innovación y se encuentran más motivadas a participar en programas de investigación. Al mismo tiempo, en Ribera del Duero, las opciones estratégicas aparecen definidas de una manera más diáfana, utilizando prácticamente por igual las cuatro estrategias genéricas de Robinson y Pearce. El estudio confirma, al igual que en el caso de Rioja, la relación entre la estrategia de eficiencia (costes) y el desempeño financiero, y rechaza la relación de la estrategia de diferenciación (servicio) con el rendimiento financiero de la bodega. También, en Ribera del Duero como en Rioja existe una importante relación entre el recurso innovación y el desempeño financiero, aunque algo inferior 99,9 % en Rioja *versus* 96,3 % en Ribera.

Es interesante analizar la combinación de estrategias de éxito en ambas DOP, el recurso innovación y su disposición en Rioja y Ribera del Duero. En Rioja las estrategias genéricas relacionadas con el desempeño financiero son la estrategia de innovación y la estrategia de eficiencia, mientras que en Ribera del Duero lo son la estrategia de eficiencia y de marketing. Se observa como Rioja, con una menor dotación de recursos de innovación se apoya en la estrategia de innovación, mientras que

en Ribera de Duero con una mayor dotación de recursos de innovación no resulta la estrategia de innovación tan relevante para un mejor desempeño financiero. Sin embargo, en Ribera del Duero donde existe un mayor entorno competitivo la estrategia de marketing resulta la más relevante para alcanzar el desempeño financiero. La combinación de las estrategias genéricas y la influencia del entorno competitivo ya ha sido reseñado en trabajos anteriores (Kim y Mauborgne, 2005; D'Aveni *et al*., 2010) y especialmente la combinación de la estrategia de eficiencia con la innovación, la que Kim y Mauborgne (2005) denominan de estrategia del océano azul, y que siguió la marca *Yellow Tail* en su exitosa introducción en el mercado de USA.

En el análisis global de la posición competitiva de ambas DOP se produce lo que podría considerarse como una suerte de trasvase entre recursos y estrategias. Donde una empresa dispone de una peor situación competitiva por una menor dotación de recursos, debe hacer un esfuerzo especial a través de la estrategia para compensarla y alcanzar la posición competitiva. Esta conclusión está en línea con la Teoría de los Recursos y Capacidades, que señala a la escasez de un recurso como un elemento clave para ser fundamental en la consecución de la ventaja competitiva, el mejor desempeño empresarial. De alguna manera este resultado pone de manifiesto como las dos teorías básicas sobre la competitividad: el RBV y la ventaja competitiva son en realidad las dos caras de una misma moneda y compatibles en la explicación del mejor performance empresarial. Es este un elemento claramente innovador de este artículo, el mostrar como ambas teorías se relacionan, como vasos comunicantes, no tan solo influyendo una en la otra sino compensando sus debilidades.

Conclusiones

Este estudio tiene diferentes implicaciones con respecto a las estrategias los recursos y el sector vitivinícola de las DOP Rioja y Ribera del Duero, y posiblemente extrapolables al sector del vino en España. Por una parte, queda demostrada la importante relación entre los recursos y las estrategias con el desempeño financiero, y como la teoría de la estrategia y de los recursos sigue vigente y es válida para entender el mejor desempeño. Por otra parte, pone de manifiesto la importancia de la estrategia de eficiencia (costes) en el desempeño de las bodegas, pero remarcando la importancia que la misma vaya acompañada de una importante relación con el recurso innovación o con la estrategia de innovación, sobre todo en un entorno fuertemente competitivo como el que existe en el sector del vino mundial, donde el descenso del consumo interior ha obligado a salir al exterior a gran parte de sus empresas. Por último, demuestra que las empresas deben fundamentar las estrategias en su entorno competitivo y en su disposición de recursos, debiendo compensar sus debilidades en determinados recursos con el desarrollo de estrategias específicas, de forma que unas y otras se complementen. Es este planteamiento, la combinación de recursos y estrategias adaptadas a la realidad del mercado en que desarrollan su actividad la que puede llevar a las bodegas a alcanzar un mejor performance financiero, y en definitiva la ventaja competitiva sobre el resto de las empresas que compiten en un mismo mercado. El presente estudio tiene diferentes limitaciones, siendo la más importante el tamaño de la muestra, que si dispusiera de un mayor número de casos permitiría alcanzar conclusiones más robustas. Futuros estudios, deberían corroborar el equilibrio existente entre recursos y estrategias, y si se cumplen en diferentes entornos tanto dentro como fuera del sector vitivinícola.

Referencias bibliográficas

Amit R, Schoemaker PJH (1993). Strategic assets and organizational rent. Strategic Management Journal 14(1): 33-46. https://doi.org/10.1002/smj.4250140105.

Bardají I, Estavillo J, Iráizoz B (2014). Export performance: insights on the Spanish wine industry. European Journal of International Management 8(4): 392-414. https://doi.org/10.1504/EJIM.2014.062969.

Barney J (1991). Firm resources and sustained competitive advantage. Journal of management 17(1): 99-120. https://doi.org/10.1177%2014920639101700108.

Baruch Y, Holtom BC (2008). Survey response rate levels and trends in organizational research. Human Relations 61(8): 1139-1160. https://doi.org/10.1177%2F0018726708094863.

Block JH, Jaskiewicz P, Miller D (2011). Ownership *versus* management effects on performance in family and founder companies: A Bayesian reconciliation. Journal of Family Business Strategy 2(4): 232-245. https://doi.org/10.1016/j.jfbs.2011.10.001.

Brenes ER, Montoya D, Ciravegna L (2014). Differentiation strategies in emerging markets: The case of Latin American agribusinesses. Journal of Business Research 67(5): 847-855. https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2013.07.003.

Camisón C, Villar-López A (2014). Organizational innovation as an enabler of technological innovation capabilities and firm performance. Journal of business research 67(1): 2891-2902. https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2012.06.004.

Carraresi L, Mamaqi X, Albisu LM, Banterle A (2011). The relationship between strategic choices and performance in Italian food SMEs: a resource-based approach. European Association of Agricultural Economists International Congress, 30 de Agosto a 2 septiembre de 2011, Zurich, Switzerland.

Clavel M, Fernández-Ortiz R, Arteaga-Ortiz J, Valencia H (2017). A resource-based analysis of the internationalisation process of Spanish wineries. European Journal of International Management 11(1): 19-41. https://doi.org/10.1504/EJIM.2017.081249.

Chong S (2014). Business process management for SMEs: an exploratory study of implementation factors for the Australian wine industry. Journal of Information Systems and Small Business 1 (1-2): 41-58.

Chuang SH, Lin HN (2017). Performance implications of information-value offering in e-service systems: Examining the resource-based perspective and innovation strategy. The Journal of Strategic Information Systems 26(1): 22-38. https://doi.org/10.1016/j.jsis.2016.09.001.

Curzi D, Olper A (2012). Export behavior of Italian food firms across destinations: Does Product quality matter?. Food Policy 37(5):493-503. https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2012.05.004.

Cusmano L, Morrison A, Rabellotti R (2010). Catching up trajectories in the wine sector: A comparative study of Chile, Italy, and South Africa. World Development 38(11): 1588-1602. https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2010.05.002.

D'Aveni RA, Dagnino GB, Smith KG (2010). The age of temporary advantage. Strategic Management Journal 31(13): 1371-1385. https://doi.org/10.1002/smj.897.

Dess GG, Davis PS (1984). Porter's (1980) generic strategies as determinants of strategic group membership and organizational performance. Academy of Management journal 27(3): 467-488. https://doi.org/10.5465/256040.

Di Vita G, Bellia C, Pappalardo G, D'Amico M (2013). The role of innovation and organization in small size wineries: The case of Malvasia delle Lipari PDO Wine. Calitatea 14(137): 107-112.

Dressler M (2013). Innovation management of German wineries: from activity to capacity-an explorative multi-case survey. Wine Economics and Policy 2(1): 19-26. https://doi.org/10.1016/j.wep.2013.05.002.

Duarte A, Bressan A (2016). A resource-based view of the firm and micro and small Italian wine firms. International Journal of Wine Business Research 28(4): 349-368. https://doi.org/10.1108/IJWBR-12-2015-0051.

Fernández E, Pinilla V (2014). Historia económica del vino en España (1850-2000). En: La economía del vino en España y en el mundo (Ed. JS Castillo y R. Compés), pp. 67-98. Cajamar Caja Rural, Almería, España.

Ferrer JR, Abella-Garcés S, Maza MT (2019). Spanish wine cooperatives' business performance: innovation capabilities and miles and snow strategies. Journal of Wine Economics 14(4): 409-416. https://doi.org/10.1017/jwe.2019.36.

Galati A, Crescimanno M, Rossi M, Farruggia D, Tinervia S (2014). The determinants affecting the internationalisation of the Italian SMEs producing sparkling wines: an empirical study on the RBV of the firms. International Journal of Globalisation and Small Business 6(2): 100-118. https://doi.org/10.1504/IJGSB.2014.066463.

Grant RM (2010). Contemporary strategy analysis: Text and cases edition. John Wiley & Sons.

Green SG, Gavin MB, Aiman-Smith L (1995). Assessing a multidimensional measure of radical technological innovation. IEEE transactions on engineering management 42(3): 203-214. https://doi.org/10.1109/17.403738.

Kim WC, Mauborgne R (2004). La estrategia del océano azul. Harvard Business Review 82(10).

Kugler M, Verhoogen E (2008). The quality-complementarity hypothesis: Theory and evidence from Colombia. National Bureau of Economic Research No. w14418.

MAPA. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (2020). Alimentación. Calidad agroalimentaria, calidad diferenciada. Denominaciones de origen. Disponible en: https://www.mapa.gob.es/es/alimentacion/temas/calidad-agroalimentaria/calidad-diferenciada/dop/htm/cifrasydatos.aspx. (Consultado: enero 2020).

Mintzberg H, Ahlstrand B, Lampel J (2009). Strategy safari: Your complete guide through the wilds of strategic management. Pearson Education Limited, Upper Saddle River. 441 pp.

Nuebling M, Hammond R, Behnke C, Almanza B, Sydnor S (2016). Kegged wine: current perceptions and experiences within the U.S. wine industry. American Association Of Wine Economists Working Paper 199.

OECD (2015). The Innovation Imperative: Contributing to Productivity. Growth and Well-Being. OECD Publishing. Paris. 268 pp. http:dx.doi.org/10.1787/9789264239814-en.

OIV International Organisation of Vine and Wine (2020). State of the World Vitinicultural Sector 2019. Disponible en https://www.oiv.int/js/lib/pdfjs/web/viewer.html?file=/public/medias/7298/oiv-state-of-the-vitivinicultural-sector-in-2019.pdf (Consultado: enero 2021).

OEMV, Observatorio Español del Mercado del Vino (2020). Principales exportadores de vino. Disponible en: http://www.oemv.es (Consultado: Enero 2021).

Porter ME (1985). Competitive advantage: creating and sustaining superior performance. FreePress, New York.

Pradana M, Pérez-Luño A, Fuentes-Blasco M (2020). Innovation as the key to gain performance from absorptive capacity and human capital. Technology Analysis & Strategic Management 32(7): 822-834. https://doi.org/10.1080/09537325.2020.1714578.

Richard PJ, Devinney TM, Yip GS, Johnson G (2009). Measuring organizational performance: Towards methodological best practice. Journal of Management 35(3): 718-804. https://doi.org/10.1177%2F0149206308330560.

Robinson RB, Pearce JA (1988). Planned patterns of strategic behavior and their relationship to business unit performance. Strategic Management Journal 9(1): 43-60. https://doi.org/10.1002/smj.4250090105.

Ruiz Ortega MJ (2010). Competitive strategies and firm performance: Technological capabilities' moderating roles. Journal of Business Research 63(12): 1273-1281. https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2009.09.007.

Santos JB, Brito LAL (2012). Toward a subjective measurement model for firm performance. Brazilian Administration Review 9(SPE): 95-117. https://doi.org/10.1590/S1807-76922012000500007.

Simon Elorz K, Castillo Valero JS, Garcia Cortijo MC (2015). Economic performance and the cri-

sis: Strategies adopted by the wineries of Castilla La Mancha (Spain). Agribusiness 31(1): 107-131. https://doi.org/10.1002/agr.21392.

SABI, Sistema de Análisis de Balances Ibéricos (2017). Database. Disponible en: https://sabi.bvdinfo.com (Consultado: junio 2016).

Soltanizadeh S, Abdul-Rasid SZ, Mottaghi-Golshan N, Wan-Ismail WK (2016). Business strategy, enterprise risk management and organizational performance. Management Research Review 39(9): 1016-1033. https://doi.org/10.1108/MRR-05-2015-0107

Spanos YE, Lioukas S (2001). An examination into the causal logic of rent generation: contrasting Porter's competitive strategy framework and the resource based perspective. Strategic Management Journal 22(10): 907-934. https://doi.org/10.1002/smj.174.

Utterback JM, Suárez FF (1993). Innovation, competition, and industry structure. Research Policy 22(1): 1-21. https://doi.org/10.1016/0048-7333(93)90030-L.

Wood E, Kaplan D (2005). Innovation and performance improvement in the South African wine industry. International Journal of Technology and Globalisation 1(3-4): 381-399. https://doi.org/10.1504/IJTG.2005.008749.

(Aceptado para publicación el 1 de julio de 2021)

Implementación de la Directiva Marco del Agua en España: perspectivas futuras. Revisión bibliográfica

Sergio Navarro-Sousa* y Vicente Estruch-Guitart

Departamento de Economía y Ciencias Sociales, Universitat Politècnica de València, Camino de Vera s/n., 46022 Valencia, España

Resumen

La entrada en vigor hace veinte años del nuevo marco comunitario de actuación en la política de aguas abrió un nuevo camino en los procesos de planificación hídrica. La Directiva Marco del Agua persigue el objetivo de satisfacer todas las demandas asegurando el buen estado de las masas de agua en las demarcaciones y de sus ecosistemas asociados. Para ello, integra mecanismos novedosos como: la racionalidad económica en la asignación y la participación pública en los procesos de planificación. No obstante, tras la aplicación de programas de medidas, en la actualidad, casi la mitad de las masas de agua del conjunto de la Unión Europea y la mitad de las españolas no han logrado alcanzar los objetivos ambientales recogidos en su artículo 4, hito propuesto para el año 2015. Frente a esta situación, algunos Estados miembros y sectores económicos abogan por su adaptación o modificación. Sin embargo, la Comisión Europea tras el proceso de revisión denominado "Fitness check" concluye que la Directiva es adecuada e insta a los Estados miembros a acelerar su implementación. La lenta mejoría del estado de las masas de agua españolas entre ciclos de planificación fundamenta que los objetivos de este artículo de revisión sean: a) evaluar si los objetivos de la Directiva son alcanzables e intentar determinar las causas que han motivado su incumplimiento y, b) tratar de identificar los retos futuros de la Directiva para conectar al recurso con el territorio, el desarrollo económico y la sostenibilidad.

Palabras clave: Buen estado, masas de agua, ecosistemas, "Fitness check", gestión.

Implementation of the Water Framework Directive in Spain: future perspectives. Review

Abstract

The entry into force twenty years ago of the new community framework for action in the field of water policy opened a new path in water planning processes. The Water Framework Directive pursues the objective of meeting all demands by ensuring the good status of the water bodies of the demarcations and their associated ecosystems. To do this, it integrates novel mechanisms such as economic rationality in allocation and public participation in the planning processes. However, after the application of programmes of measures, at present, almost half of the water bodies in the European Union as a whole and half of the Spanish ones have not managed to achieve the environmental objectives set out in article 4, a proposed milestone for 2015. Faced with this situation, some Member States and economic sectors advocate its adaptation or modification. Nevertheless, the European Commission after the review

* Autor para correspondencia: sernasou@doctor.upv.es

Cita del artículo: Navarro-Sousa S, Estruch-Guitart V (2022). Implementación de la Directiva Marco del Agua en España: perspectivas futuras. Revisión bibliográfica. ITEA-Información Técnica Económica Agraria 118(2): 318-338. https://doi.org/10.12706/itea.2021.029

process called "Fitness check" concludes that the Directive is adequate and urges the Member States to accelerate its implementation. The slow improvement in the state of the Spanish water bodies between planning cycles establishes that the objectives of this review article are: a) to assess whether the objectives of the Directive are achievable and attempt to identify the causes that have led to its non-compliance and, b) to try to identify the future challenges of the Directive in connecting the resource with territory, economic development and sustainability.

Keywords: Good status, water bodies, ecosystems, "Fitness check", management.

Introducción

Garantizar el suministro de agua de calidad y en cantidad suficiente es fundamental para la vida y el desarrollo económico de los pueblos. Factores antrópicos como el crecimiento de la población y, en algunos casos las malas prácticas agrarias, industriales o urbanas han provocado la degradación y la contaminación de determinadas Masas de Agua (MA). Por otra parte, aspectos naturales como la disminución de las recargas naturales en ciertos territorios o periodos de tiempo han agudizado su escasez e inseguridad al acceso de este recurso esencial.

Las políticas de agua en España desde una perspectiva histórica se han desarrollado bajo dos criterios principales. El primer planteamiento denominado productivista o "regeneracionista" y el segundo "ambientalista" (Vera, 2008). La visión economicista del agua considera al recurso disponible sin considerar sus costes y estima las demandas futuras en función del crecimiento económico (Delgado, 2015). El actual escenario de falta de agua en algunos territorios, aunado al incremento de la demanda y al aumento del coste del suministro, ha provocado que el uso racional del recurso sea la alternativa válida a la gestión productivista (Pulido-Velázquez *et al.,* 2014). El planteamiento "ambientalista" marca una tendencia en la regulación desde una visión integrada del agua (Martínez y Villalejo, 2020), que incorpora herramientas como la gestión de la demanda y el uso de instrumentos económicos racionales (Rey *et al.,* 2019).

España, al igual que el resto de los Estados miembros (EM) de la Unión Europea (UE) adaptó su legislación a los requerimientos impuestos por la Directiva Marco del Agua (DMA) (2000/60/CE) (Comisión Europea, 2000). El nuevo marco comunitario se marca como objetivo la protección y la mejora de las MA y la recuperación de sus ecosistemas asociados. Para tal fin promueve el uso sostenible del agua, la reducción de la contaminación y la mitigación de los efectos adversos que causan las sequías e inundaciones (Kortenkamp *et al.,* 2019). Su adopción introdujo un enfoque novedoso basado en la planificación a escala de la cuenca hidrográfica y ha sido considerada como un ejemplo piloto para futuras regulaciones ambientales (Voulvoulis *et al.,* 2017).

La DMA propuso el 22 de diciembre de 2015 como la fecha límite para lograr el cumplimiento de sus objetivos ambientales. Este hito coincidía con la publicación de los Planes Hidrológicos de Cuenca (PHC) del segundo ciclo. A pesar de su estricto cronograma, actualmente publicados los Esquemas de Temas Importantes (ETI) de los PHC del tercer ciclo (2021 -2027), la realidad es que la mejora del estado de las MA ha sido lenta entre ciclos (Comisión Europea, 2019). No obstante, mediante una justificación adecuada en los PHC, la Directiva concede la aplicación de exenciones o prórrogas de plazo para lograr los objetivos.

La implementación de la Directiva ha contado con múltiples conflictos y problemas que han limitado sus resultados (Freyhof *et al.*, 2019). Frente a esta situación, se han originado dis-

tintas posturas sobre su efectividad. Ciertos EM consideran que sus objetivos son inalcanzables y demandan reorientar el marco común o bien flexibilizar más los plazos, se incluyen: Alemania, Austria, Bulgaria, Dinamarca, Finlandia, Holanda, Italia, Luxemburgo y Malta. Los sectores agrario e hidroeléctrico también defienden su modificación (Martínez, 2019). Por su parte, los posicionamientos ecologistas propugnan su continuidad.

El artículo 19, apartado 2, de la DMA dispone que la Comisión Europea (CE) propondrá cualquier modificación de la misma, a más tardar, diecinueve años desde su entrada en vigor. Por consiguiente, en el año 2017 se inició un proceso de revisión conocido con el nombre de "Fitness check", cuyo informe final fue publicado en noviembre del año 2019. La CE, tras el proceso de evaluación de la DMA, considera que la legislación es adecuada para su propósito (Vermeulen *et al.*, 2019).

En esta contextualización, la investigación llevada a cabo pretende evaluar la efectividad de la DMA en la gestión del agua en España. El trabajo estructura y analiza las limitaciones de algunos de sus aspectos clave. Para tal fin muestra los resultados más relevantes de los ciclos de planificación hidrológicos españoles y del proceso de evaluación.

España, al contrario que otros EM con alta pluviometría, tiene la particularidad de contar con territorios secos que deben soportar altas demandas agrícolas y, en la vertiente mediterránea, también los usos turísticos. La necesidad de lograr una política de aguas integrada y sostenible argumenta que los objetivos del trabajo sean: a) tratar de evaluar si las pretensiones de la DMA son realistas y analizar los motivos que han impedido alcanzar un buen estado en todas las MA y, b) intentar proponer acciones futuras de planificación y gestión del recurso adaptadas a la especificidad de nuestros territorios y usos.

El enfoque metodológico utilizado se ha basado en la recopilación de información e interpretación de los resultados obtenidos de la literatura especializada: artículos científicos, trabajos referentes a la gobernanza del agua, informes publicados por la CE, trabajos realizados por distintos ministerios de la Nación, el Libro Verde de la Gobernanza de Agua en España del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) e información extraída de la base de datos del sistema Water Information System for Europe (WISE) de la Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA).

El estudio desarrolla un proceso sintético de la gran amalgama de información consultada, con la finalidad de simplificarla, ordenarla, contrastarla e incorporarla a los resultados del estudio.

Planes hidrológicos de cuenca españoles

La gestión de las cuencas españolas lleva aplicándose desde los años veinte del siglo pasado (Estrela, 2007). La Ley de aguas de 1985 instauró una nueva conceptualización de la planificación hídrica en dos niveles: los PHC y el Plan Hidrológico Nacional. Este último, de mayor rango, cuenta con capacidad de modificar los PHC y decidir sobre aspectos que afecten a los territorios más allá de la cuenca. Dicho esquema de gestión aspira a satisfacer las demandas con agua de calidad asegurando la equidad regional y sectorial (MITECO, 2018b). Posteriormente, la adopción de la DMA supuso la introducción de un enfoque de gestión adaptativo. Los PHC analizan el estado de las MA de cada Demarcación Hidrográfica (DH) en ciclos de planificación sucesivos con una periodicidad de seis años. Los PHC hasta su aprobación pasan por varias fases documentales sometidas a consulta pú-

blica: los Documentos Iniciales (DI), el Esquema Provisional de Temas Importantes (EPTI), el ETI y la propuesta del PHC.

El Real Decreto 125/2007, de 2 de febrero, determina el territorio de cada DH, concepto entendido como la zona terrestre o marítima compuesta por una o varias cuencas hidrográficas vecinas y las aguas de transición, costeras o subterráneas asociadas a las cuencas.

España, cuenta con 25 Demarcaciones Hidrográficas (DDHH). Las internas o intracomunitarias transcurren totalmente en el ámbito de una única comunidad autónoma. Por su parte, las intercomunitarias exceden el ámbito territorial de una comunidad autónoma. La administración del agua se ordena en 11 cuencas intercomunitarias de competencia estatal, la DH del Cantábrico Oriental con competencia compartida (estatal y autonómica) y 13 demarcaciones intracomunitarias de competencia autonómica (MITECO, 2018b).

Los Organismos de Cuenca (OC) denominados Confederaciones Hidrográficas (CCHH) establecen los PHC en las intercomunitarias. Análogamente las cuencas internas con administración hidráulica autonómica disponen de OC propios que elaboran los PHC. Dichos documentos, según establece la DMA describen el ámbito de la DH, los usos, las zonas protegidas y las presiones antrópicas. Igualmente, definen los objetivos ambientales, concretan medidas para alcanzarlos, analizan los resultados y, en función de los logros, incorporan modificaciones en el siguiente ciclo de planificación (European Environment and Sustainable Development Advisory Councils) (EEAC, 2018).

La componente adaptativa de la Directiva requiere comprender al ecosistema en su conjunto (Giakoumis y Voulvoulis, 2018). Por otro lado, resulta complejo adecuar un marco legislativo común dada la especificidad de cada EM (Maia, 2017), donde se produce una disposición desigual de recurso y una gran heterogeneidad de usos.

La CE emitió sendos informes sobre el resultado de la evaluación de los PHC españoles en 2015, respecto a los PHC del primer ciclo y la Directiva de Inundaciones (DI) (COM (2015) 120) (Comisión Europea, 2015) y, en 2019, en relación con los PHC del segundo ciclo y los primeros planes de gestión del riesgo de inundación (COM (2019) 95) (Comisión Europea, 2019). Ambos informes incorporaron una serie de recomendaciones en aquellas áreas susceptibles de mejora, a fin de evitar retrasos de cara a los PHC del siguiente ciclo, segundo y tercero respectivamente. A continuación, en los siguientes sub-apartados se desarrollan, amplían y complementan las principales reflexiones extraídas de ambos informes. La Figura 1 muestra el calendario y el esquema del proceso de planificación hidrológico de la DMA.

Aspectos jurídicos

El Observatorio de las Políticas del Agua (OPPA) de la Fundación Nueva Cultura del Agua (FNCA, 2014) indicó en su informe de evaluación de los PHC españoles del primer ciclo que, estos contaron con retrasos generalizados que limitaron la efectividad de los mismos. En este sentido, la Sentencia del Tribunal de Justicia de la Unión Europea (TJUE), de 4 de octubre de 2012, condenó a España por los retrasos en la aprobación de los PHC (asunto C-403/11). Asimismo, persistieron los retrasos en los PHC del segundo ciclo y la CE recomendó a España la adopción a tiempo de los PHC del tercer ciclo (Comisión Europea, 2019). Por otra parte, la Sentencia del TJUE, de 24 de octubre de 2013, dictaminó que la transposición de la DMA no fue íntegra en todas las DDHH intracomunitarias españolas del primer ciclo (Meseguer, 2015). De igual modo, la CE recomendó colmar las brechas persistentes en la transposición del segundo ciclo, de cara a los PHC del tercer ciclo (Comisión Europea, 2019).

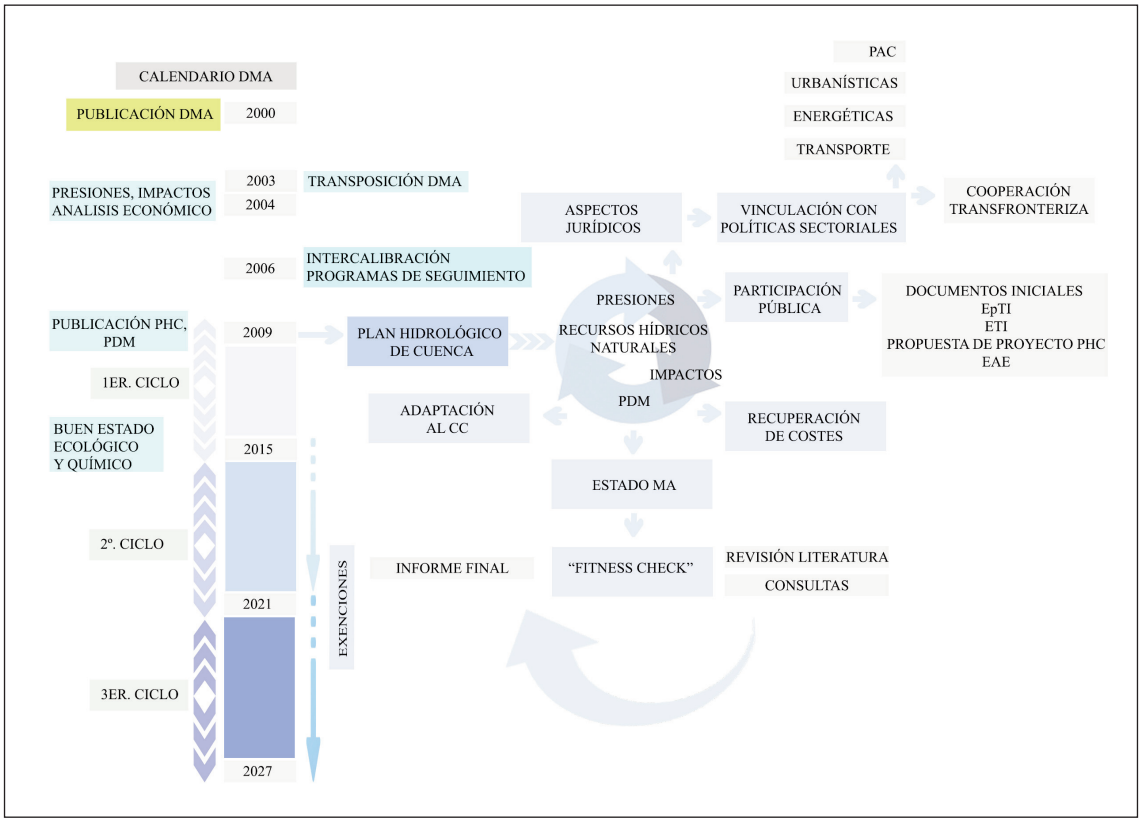


Figura 1. Calendario y esquema de la Directiva Marco del Agua (DMA) (MITECO, 2018b).
MA: Masas de Agua. CC: Cambio Climático. PDM: Programas de Medida.
PHC: Planes Hidrológicos de Cuenca.

Figure 1. Schedule and diagram of the Water Framework Directive (WFD) (MITECO, 2018b).

Coordinación interadministrativa y vinculación de las políticas sectoriales con la DMA

En España, la estructura organizativa y administrativa en materia hídrica presenta los retos específicos de un marco político descentralizado (Tamames y Aurín, 2015). Se producen ciertos solapes de competencias entre las distintas administraciones: europea, estatal, autonómica y local. El modelo actual cuenta con indefiniciones en la aplicación de competencias que deberían ser atribuidas por la vía legislativa (MITECO, 2020). Los Comités de Autoridades Competentes (CAC) se crearon para garantizar la cooperación interadministrativa en las DDHH intercomunitarias. No obstante, no cuentan con los apoyos técnicos y las funciones reales que les doten de contenido y continuidad (MITECO, 2020). En el primer ciclo, las CCHH realizaron las actuaciones, mientras que los CAC se limitaron a aprobar documentación de los OC, sin intervenir en la preparación y el seguimiento de los PHC (FNCA, 2014). Dicha descoordinación administrativa perduró en los PHC del segundo ciclo (La Roca, 2018).

El enfoque integral de la DMA y la necesaria adaptación de la gestión del recurso al Cambio Climático (CC) precisa, obligatoriamente, coordinar la Directiva con el resto de las políticas sectoriales que inciden sobre el recurso, tales como: la Política Agraria Común (PAC) (Comité des Organisations Professionnelles Agricoles-Comité Général de la Coopération Agricole de l'Union Européenne / Committee of Professional Agricultural Organisations-General Confederation of Agricultural Cooperatives) (COPA-COGECA, 2018; Del Moral, 2009), las políticas de ordenación territorial y urbanísticas, las políticas energéticas e industriales, las políticas de transporte, etc. (Carvalho *et al.,* 2019; Hervás-Gámez y Delgado-Ramos, 2019). La incidencia a nivel cuantitativo del consumo de agua por parte del sector agrario hace imprescindible la coordinación y coherencia entre la PAC y la DMA. El futuro de la Directiva depende en gran medida de su integración con la PAC (Del Moral, 2009; La Roca, 2018). En este sentido, la PAC cuenta con dos tipos de instrumentos económicos integradores para compatibilizar los usos agrarios con la mejora de los ecosistemas acuáticos (Del Moral, 2006): la condicionalidad y el Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural (FEADER). La condicionalidad es un mecanismo que vincula los pagos directos de la PAC con el cumplimiento de normas de carácter medioambiental, contribuyendo de esta manera, a que la agricultura europea sea más sostenible (Comisión Europea, 2020). A su vez, los FEADER aportan incentivos financieros o compensatorios cuando los agricultores llevan a cabo, de manera voluntaria, acciones que van más allá de la legislación de obligado cumplimiento (Tribunal de cuentas europeo, 2014). Sin embargo, pese a su utilización para la mejora de los resultados de la DMA, las asignaciones han sido modestas e ineficaces (EEAC, 2018).

Participación pública

La participación pública es relevante en el proceso de planificación hídrica. Las consultas, con un tiempo no inferior a seis meses, sirven para consolidar los DI de los PHC y del ETI en la gestión de la DH (MITECO, 2018b). En cumplimiento con el artículo 14 de la DMA, la CE destacó como punto fuerte de los PHC españoles, los esfuerzos realizados para el fomento de la participación activa de todas las partes interesadas en la elaboración, revisión y actualización de los PHC (Comisión Europea, 2015 y 2019). No obstante, en algunas DDHH tales procesos no incidieron en cuestiones de calado. No aportaron información transparente sobre el estado ambiental de las MA, en el diseño y justificación de los Programas de Medidas (PDM) y en lo concerniente a la recuperación de costes (Lema-Blanco y García, 2013; Castro-Valdivia, 2015).

La DMA debe considerar las capacidades desiguales de las partes interesadas para vencer los obstáculos que supone su implementación (Cabello *et al.,* 2018). De manera genérica, la problemática de los procesos participativos deriva de la inercia institucional que influye en las relaciones entre los OC y los usuarios finales del recurso. Cabe señalar, además, que la falta de articulación y la debilidad de los integrantes genera poca credibilidad en los resultados de estos procesos (Del Moral, 2017). Adicionalmente es necesario incidir en aspectos estructurales y en la mejora de la información para facilitar que el público general se implique de una manera más activa (La Roca, 2018).

Usos y demandas

Según la información de las DDHH, en relación con las aportaciones totales anuales al régimen natural correspondientes al periodo 1940/41-2005/06, la media se cifró en 107.404 hm³/año (primer ciclo). En el periodo 1940/41-2011/12

la media ascendió a 109.233 hm³/año (segundo ciclo), ambos datos excluyen las descargas naturales directas al mar (MITECO, 2018b).

El Libro Blanco del Agua en España del Ministerio de Medio Ambiente (MMA, 2000), especifica que existe una carencia notable en las estadísticas sobre los usos y las demandas. Este aspecto, dificulta la previsión de las demandas futuras motivando grandes desviaciones entre las demandas previstas y las resultantes. De manera genérica, la información sobre los usos y las demandas de agua incorporada en los PHC se basa en estimaciones y dotaciones, no en datos reales de consumo. Obtener el consumo real es complejo dado que el uso de contadores no está generalizado, especialmente en la agricultura (Comisión Europea, 2015).

Conforme a las cifras presentadas en los PHC aprobados, la estimación de la demanda ascendió en el primer ciclo a 32.003 hm³/año, con el siguiente reparto (González, 2018): el 15,73 % para los usos urbanos, el 80,71 % correspondiente a los usos agrarios y el 3,57 % para los usos industriales no conectados a las redes urbanas. Por su parte, la estimación de la demanda en el segundo ciclo de planificación se situó en torno a los 31.043 hm³/año de los cuales (González, 2018): el 14,86 % fueron para los usos urbanos, el 81,31 % correspondieron a los usos agrarios y el 3,83 % para los usos industriales no conectados a las redes urbanas.

Los datos anteriores reflejan la gran demanda de agua del sector agrario. Consultada la Encuesta sobre Superficies y Rendimiento de Cultivos del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPAMA), en el año 2002 la superficie regada fue de 3.354.172 ha (MAPAMA, 2002) y en el año 2018 ascendió a 3.703.741 ha (MAPAMA, 2018). Pese al aumento de la superficie regada entre ciclos de planificación, la demanda se ha reducido en 588 hm³/año por la implementación de sistemas de riego más eficientes (González, 2018). Si bien es cierto que, el incremento de la eficiencia no necesariamente reduce el consumo de agua a escala de cuenca al producirse el denominado "rebound effect" o paradoja de Jevons. Cuando el factor tierra no es limitante, el ahorro de agua puede originar un incremento de la superficie de cultivo y nuevas extracciones, es por ello que, la modernización del regadío debe implementarse junto a otros instrumentos como el precio del agua, para controlar la sobreexplotación (Berbel y Mateos, 2014).

Los DI de los PHC de tercer ciclo estiman la demanda en el periodo temporal 2027 en 31.879,70 hm³/año, valor levemente superior al 2º ciclo y con la siguiente distribución: 15,80 % usos urbanos, 80,06 % usos agrarios y 4,13 % usos industriales no conectados a las redes urbanas.

Presiones, impactos y evaluación del estado de las masas de agua

En España, los fuertes contrastes climáticos y geográficos condicionan la disponibilidad y la distribución de los recursos hídricos naturales en el tiempo y en el territorio (MMA, 2000). Esta irregularidad en las recargas naturales fundamenta el ineludible análisis de las presiones e impactos, con miras a evaluar la brecha entre el estado del agua y el objetivo ambiental planificado (MITECO, 2018b).

En los PHC del primer ciclo, en la mayoría de las MA, la relación entre estado-presiones-objetivos-medidas-resultados no aportó una definición correcta, ni tampoco se establecieron sus vinculaciones. De la misma manera, el riego agrícola no se incluyó como presión y los programas de modernización de riegos no cumplieron con los objetivos ambientales de la DMA (FNCA, 2014). Asimismo, en gran parte de las DDHH la información relativa a las concesiones y las captaciones no fue transparente (Castro-Valdivia, 2015) y las

mediciones no fueron exhaustivas (Comisión Europea, 2015). Este aspecto es de vital importancia en la planificación y la gestión de los recursos disponibles a nivel cuantitativo. En cuanto a los PHC del segundo ciclo, se produjeron progresos en el análisis de las presiones e impactos, no obstante, la CE recomendó a España seguir trabajando en su correcta vinculación de cara al diseño de los PDM (Comisión Europea, 2019).

Una MA es una parte diferenciada y representativa de agua superficial o de volumen aislado de un acuífero que, constituye el elemento básico de evaluación para analizar el desarrollo de los objetivos ambientales (MITECO, 2018b). La DMA integra componentes económicos y ecológicos e incorpora, según su artículo 4, el cumplimiento de unos objetivos ambientales específicos. Su propósito es lograr un buen estado en las Masas de Agua Superficiales (MASp) (ríos, lagos, aguas de transición y costeras, masas de agua artificiales y muy modificadas) y en las Masas de Agua Subterráneas (MASb).

El logro de un buen estado en las MASp implica asegurar un buen estado ecológico y químico (artículo 2 (18), DMA). El estado ecológico se evalúa mediante la aplicación de indicadores de calidad biológicos (composición y abundancia de la flora acuática, etc.), hidromorfológicos (flujos de agua y su conectividad con las MASb, etc.) y físico-químicos (condiciones térmicas del agua, salinidad, concentración de nutrientes, etc.) (Anexo V.1, DMA). Por otra parte, el estado químico de las MASp refleja el grado de cumplimiento de las normas de calidad ambiental, de las sustancias prioritarias y de otros contaminantes (MITECO, 2018a). Las aguas modificadas y las artificiales se evalúan bajo criterios más flexibles. El buen estado de una MASb se obtiene cuando sus estados cuantitativo y químico son, al menos, buenos (artículo 2 (20), DMA).

La Directiva para clasificar la calidad de una MA aplica el principio eliminatorio denominado "one-out, all-out". Este principio implica que, si un indicador de calidad está por debajo de los parámetros específicos de la norma, no puede considerarse que esté en buen estado, aunque su calidad haya mejorado. Este principio no está exento de polémica y pese a ser un principio con una base científica sólida (Vermeulen *et al.*, 2019), numerosos actores implicados en la gestión y uso del recurso solicitan su modificación (Martínez, 2019). Demandan que las autoridades puedan comunicar los progresos realizados en una MA aportando información intermedia y su seguimiento hasta lograr un buen estado, para reflejar de esta manera, los logros de las medidas llevadas a cabo (Prato *et al.,* 2014; Carvalho *et al.,* 2019).

La CE tras evaluar los PHC del primer ciclo instó a España a finalizar con urgencia el marco de evaluación del estado de las MA y solicitó incidir en varios aspectos clave, como (Comisión Europea, 2015): categorizar el estado de las MA vinculando su calidad, aportar transparencia en los sistemas de evaluación utilizados y en los resultados del proceso de intercalibración e incorporar las aguas costeras y las de transición en la evaluación de las MASp. Dichas carencias, en gran medida, persistieron en los PHC del segundo ciclo. Los resultados de la intercalibración no proporcionaron información concisa sobre los métodos aplicados y no hubo concordancia en la evaluación del estado de las MA (Comisión Europea, 2019).

Sin embargo, España informó que en los PHC del segundo ciclo se había utilizado el principio eliminatorio en todas las DDHH (Comisión Europea, 2019). Otro de los ejes fundamentales de la DMA para la protección del agua es el principio de "No Deterioro". El artículo 1 (a) establece la obligatoriedad de prevenir todo deterioro adicional y, proteger y mejorar el estado de los ecosistemas acuáticos. La DMA incluye en el concepto de ecosistema acuático a las MASp y las MASb junto a sus

ecosistemas asociados. El principio de "No Deterioro" choca con las premisas de las políticas hídricas tradicionales de la oferta, las cuales hacen inviable construir una política ambiental ya que, consideran a los medios acuáticos como simples depósitos de agua (Estevan y Naredo, 2004). La Tabla 1 muestra según los datos aportados por las DDHH españolas al sistema WISE que, tras el primer ciclo de planificación, el 49,27 % de las MA inventariadas se encontraban en buen estado. Respecto al segundo ciclo, la mejora fue leve incrementándose hasta el 50,71 %. Realizado el mismo ejercicio, el 54,29 % de las MA del conjunto de los EM de la UE se categorizaron con un buen estado en el primer ciclo y el 54,34 % en el segundo. Factores como el deterioro del estado ecológico, la alteración de cauces, la extracción excesiva o la contaminación química, entre otros, ocasionaron la degradación o la no recuperación de la calidad de las aguas (Meseguer, 2015).

En los PHC del primer ciclo se reconocieron carencias en el establecimiento de umbrales. Además, faltó aplicar los indicadores adecuados para la estimación de los caudales ecológicos (FNCA, 2014). Estos se ajustaron a las necesidades de los usuarios y no se adaptó su justificación a las propuestas técnicas disponibles (Castro-Valdivia, 2015). De manera análoga, los PHC del segundo ciclo mostraron carencias en el seguimiento de los indicadores de calidad y su vigilancia. Se indicó que se estaba realizando el seguimiento de 221 contaminantes específicos, pero al no estar incluidos todos ellos en una norma de calidad medioambiental, no pudieron considerarse para evaluar el estado de algunas MA. Sin embargo, la evaluación y clasificación del estado ecológico fue más exhaustiva (Comisión Europea, 2019). La información que aporta el control, el seguimiento y la estandarización de los caudales ecológicos y el estado químico de una MASp, es crucial en el diseño de un PDM y para determinar su eficacia entre ciclos (Comisión Europea, 2015; Maia, 2017).

Otro aspecto a destacar en el primer ciclo fue la indefinición del estado de numerosas MA. Asimismo, las definidas no contaron con la correcta vinculación (Comisión Europea, 2015). Los datos reflejados en la Tabla 1 muestran los grandes esfuerzos realizados en la mejora del conocimiento al reducirse drásticamente las MA con un estado desconocido.

Respecto a los objetivos ambientales del primer ciclo, la mayoría de las DDHH no concretaron objetivos para las zonas protegidas ni tampoco establecieron herramientas específicas para el control del avance de los PDM (FNCA, 2014). Cabe destacar, además, que no se incluyeron medidas apropiadas para la vigilancia de la contaminación difusa y las aguas residuales. Al mismo tiempo, las deposiciones atmosféricas no fueron incluidas como fuentes de contaminación química (Comisión Europea, 2015). Si bien los PHC del segundo ciclo arrojaron información más precisa del estado de las MA vinculadas a las zonas protegidas, según la definición del anexo IV de la DMA, sus programas de seguimiento fueron muy limitados (Comisión Europea, 2019). En referencia a los espacios incluidos en la red de protección Natura 2000, los progresos en la descripción de sus objetivos ambientales complementarios entre ciclos también fueron escasos (Comisión Europea, 2019).

Exenciones

Para cumplir adecuadamente con la DMA, cualquier aplazamiento de los objetivos ambientales debe quedar debidamente justificado y documentado en los PHC. Según el artículo 4 (4) (c) dichas exenciones quedan limitadas a un máximo de dos ciclos adicionales o, dicho de otra manera, a dos nuevas actualizaciones de los PHC. El primer ciclo de planificación de 2015 a 2021 y el segundo ciclo de 2021 a 2027 a más tardar, excepto en aquellos casos en que las condiciones naturales sean tales que no permitan lograr los objetivos en

Tabla 1. Evaluación del estado de las Masas de Agua (MA) en España (ES) y del conjunto de los Estados miembros de la UE.
Table 1. Assessment of the status of water bodies in Spain and EU Member States.

1er. ciclo		Muy bueno	Bueno	Desconocido	Moderado	Deficiente	Malo
MASp estado ecológico (N.º)							
UE	127.779	8.606	41.012	19.397	39.609	13.711	5.444
ES	5.142	425	1.701	915	1.497	391	213
MASp estado químico (N.º)							
UE	127.779	–	46.886	51.424	–	29.469	–
ES	5.142	–	2.961	1.908	–	273	–
MASb estado cuantitativo (N.º)							
UE	13.962	–	12.133	857	–	–	972
ES	749	–	532	12	–	–	205
MASb estado químico (N.º)							
UE	13.962	–	11.287	534	–	–	2.141
ES	749	–	489	9		–	251
% MASp buen estado			% MASb buen estado		% Total MA buen estado		
	UE	31,13	**UE**	62,83	**UE**	54,29	
	ES	53,51	**ES**	47,97	**ES**	49,27	
2º. ciclo		Muy bueno	Bueno	Desconocido	Moderado	Deficiente	Malo
MASp estado ecológico (N.º)							
UE	146.460	16.460	48.527	6.969	51.343	16.355	6.806
ES	5.162	657	2.212	107	1.499	481	206
MASp estado químico (N.º)							
UE	146.460	–	45.651	49.431	–	51.378	–
ES	5.162	–	4.516	317	–	329	–
MASb estado cuantitativo (N.º)							
UE	15.928	–	14.073	1.046	–	809	–
ES	762	–	577	–	–	185	–
MASb estado químico (N.º)							
UE	15.928	–	11.906	1.851	–	2.171	–
ES	762	–	494	1	–	267	–
% MASp buen estado			% MASb buen estado		% Total MA buen estado		
	UE	28,63	**UE**	66,93	**UE**	54,34	
	ES	52,75	**ES**	50,10	**ES**	50,71	
Programas de medidas por horizonte temporal. Inversión (M€)							
2009-2015		2016-2021		2022-2027		2028-2033	
58.064,49		22.595,42		13.432,35		11.710,18	

MASp: Masas de Agua Superficiales; MASb: Masas de Agua Subterráneas.

Fuente: elaboración propia a partir de los datos de WISE de la Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA, 2018b; MITECO, 2018c y 2019b; González, 2018).

ese periodo (AEMA, 2018a). La justificación de dichas exenciones responde a tres tipos: ampliaciones de plazo (artículo 4 (4), DMA), aplicación de objetivos ambientales menos rigurosos (artículo 4 (5), DMA) o nuevas modificaciones de las características físicas de una MASp o MASb (artículo 4 (7), DMA). El aplazamiento se acredita cuando técnicamente o por las condiciones naturales no es viable el cumplimiento de los objetivos o, su cumplimiento conlleva costes desproporcionados o que exceden de la capacidad de pago.

Las exenciones aplicadas en los PHC del primer ciclo no fueron justificadas adecuadamente según los principios de la Directiva. Igualmente se incluyeron propuestas con aplazamientos hasta el tercer ciclo y estas se apoyaron en costes desproporcionados (FNCA, 2014; Comisión Europea, 2015).

Programas de medidas

Los PDM responden a las distintas acciones realizadas por las DDHH con la finalidad de alcanzar los objetivos ambientales y socioeconómicos que exige la DMA. Dichas medidas se clasifican según su propósito y las inversiones inciden en distintos campos de actuación, tales como (MITECO, 2019b): las orientadas a la consecución de los objetivos ambientales, las dirigidas para satisfacer las demandas, las relativas a la mitigación de los fenómenos adversos (sequías e inundaciones), las concernientes a la gobernanza del agua y la mejora del conocimiento y, finalmente, otras medidas destinadas a otros usos ligados al agua.

Revisadas las estadísticas sobre las inversiones previstas en los PHC se extrae el siguiente reparto porcentual en el periodo temporal 2009-2015 (MITECO, 2018c): el 48,89 % para objetivos ambientales; el 26,57 % para satisfacer las demandas; el 7,77 % relativas a fenómenos extremos; el 4,07 % para la gobernanza y el conocimiento y el 12,70 % para otros usos. Respecto a los PHC de segundo ciclo, se produjo la siguiente estimación porcentual en el periodo temporal 2016-2033 (MITECO, 2019b): el 52,10 % para objetivos ambientales; el 20,90 % para la satisfacción de las demandas; el 5,20 % para la mitigación de fenómenos extremos; el 3,40 % para la gobernanza y el conocimiento y, por último, el 18,5 % para otras inversiones. Los datos anteriores corroboran la estrategia singular de la planificación hídrica española (MITECO, 2018b). Persisten las inercias de la gestión productivista del agua otorgando cierto peso a las inversiones concernientes a la mejora de la oferta (FNCA, 2014; Sampedro y Del Moral, 2014). Por otro lado, las obras hidráulicas planificadas se incluyeron en los PDM en lugar de tener consideración de presión sobre las MA, ya que inciden en el deterioro del recurso (FNCA, 2018).

Las inversiones realizadas en el conjunto de las DDHH españolas se han ido reduciendo entre ciclos (MITECO, 2018c y 2019b; González, 2018): 58.064,49 millones de € (2009-2015), 22.595,42 millones de € (2016-2021), 13.432,35 millones de € (2022-2027) y 11.710,18 millones de € (2028-2033) (Tabla 1).

Dentro de las inversiones programadas para el periodo temporal 2016-2033, son prioritarias las inversiones para cumplir con la recogida y el tratamiento de aguas residuales urbanas, particularmente en aquellos casos incluidos en procedimientos del TJUE (MITECO, 2018b; González, 2018).

En último lugar, los PDM del segundo ciclo se basan en actuaciones ya planificadas en el primer ciclo (Comisión Europea, 2019). De esta manera, no se ha considerado la situación actual de las MA en referencia a los parámetros de calidad o las presiones. En este sentido ha podido producirse un viraje de los objetivos ambientales a lograr y este aspecto no ha sido valorado.

Recuperación de costes

El estudio de la recuperación de costes de los servicios relacionados con el agua es uno de los pilares fundamentales de la DMA. Su artículo 9 fija que los EM aplicarán una política de precios del agua que, proporcione los incentivos adecuados para que los usuarios hagan un uso racional del recurso y, por tanto, contribuyan a la consecución de los objetivos ambientales.

Los PHC deben incorporar la siguiente información mínima (MITECO, 2019b): los costes de los servicios del agua, los costes ambientales y del propio recurso, los ingresos percibidos, el nivel de recuperación y la previsión de las inversiones para cada uno de los servicios. En el primer ciclo de planificación, los PHC no incorporaron los instrumentos adecuados para aplicar la recuperación (FNCA, 2014). Los costes ambientales y del recurso fueron elevados y estos no se incluyeron en la recuperación (Gómez-Limón y Martin-Ortega, 2013). Asimismo, la producción de energía no fue considerada como un servicio del agua (Comisión Europea, 2015).

A pesar de que los PHC del segundo ciclo emplearon una metodología genérica que armonizó los resultados de la recuperación, las CCHH no contaron con los suficientes recursos para el control eficaz de los usos del agua en las DDHH. Dicha metodología incrementó considerablemente los costes medioambientales respecto al primer ciclo, pero persistieron deficiencias en lo concerniente a la autocaptación y la contaminación difusa (Comisión Europea, 2019).

La organización World Wildlife Fund (WWF, 2019) apunta que la tarificación del agua no ha sido aplicada adecuadamente en todos los sectores, sino que se limita a incluir al tratamiento de las aguas residuales y al suministro del agua potable. Alertan, adicionalmente, que existen mecanismos que permiten excluir a los usuarios más contaminantes (agricultura e industria) y, en consecuencia, son los hogares los que soportan una mayor carga. Se debe agregar que, no se ha expuesto de manera transparente la baja recuperación a fin de evitar la subida de tarifas especialmente en el regadío, sector beneficiario de subvenciones. Circunstancias análogas se han producido en las inversiones en infraestructuras hídricas (Reig, 2017). El sector agrario se queja constantemente que les acusen de un consumo de agua "subvencionado" ya que matizan que reciben compensaciones, no subvenciones (Simón *et al.*, 2009).

El tercer ciclo de planificación ha de perfeccionar la situación actual avanzando en la definición y la metodología del cálculo de costes. En este sentido debe considerar la subestimación y el desequilibrio existente en el reparto entre usuarios y la desigual aplicación del principio de "quien contamina paga" (La Roca, 2018).

Coordinación y cooperación transfronteriza

Tras los planes del primer ciclo, la CE solicitó reforzar la cooperación de España con Portugal y Francia en las DDHH transfronterizas (Comisión Europea, 2015). En los PHC del segundo ciclo se fortaleció la planificación conjunta entre España y Portugal según lo previsto en el Convenio de la Albufeira (Navarro, 2019). En relación a la coordinación con Francia únicamente se avanzó en algunos aspectos concretos, entre otros, en el intercambio de información (Comisión Europea, 2019).

Adaptación al cambio climático

En todos los PHC intercomunitarios del primer ciclo y en varios PHC intracomunitarios se consideró la influencia del CC en la disponibilidad del agua. De manera genérica, los PDM no incluyeron medias específicas para la adaptación al CC y se limitaron a los estudios de la gestión de las sequías. Asimismo, no se

efectuaron comprobaciones climáticas aparte de los balances hídricos y su correspondencia con las predicciones del CC (Comisión Europea, 2015). Respecto a los PHC del segundo ciclo, la CE destacó la fijación de objetivos y la selección de medidas en relación con las presiones climáticas directas e indirectas. No obstante, ninguna DDHH utilizó medidas de adaptación al CC para hacer frente a las presiones significativas (Comisión Europea, 2019).

La previsible disminución de las recargas naturales motivadas por el efecto del CC, precisa una revisión a la baja de los recursos hídricos disponibles. Los cambios proyectados para España prevén una disminución de la precipitación del 2 % al 4 % para el 2010-2040 y del 7 % al 14 % para el 2070-2100 (Barranco *et al.*, 2018). Esta situación requerirá gestionar las presiones priorizando la asignación del recurso entre los distintos usos consuntivos en competencia (La Roca, 2018). La realidad es que los impactos del CC en las cuencas españolas pueden ser mayores que los incluidos en los PHC. Estos aplican un coeficiente de reducción único en relación con las recargas y no contemplan la variabilidad espacial que se produce dentro de una DH (Marcos-Garcia y Pulido-Velazquez, 2017).

Proceso de evaluación "Fitness check"

El artículo 19 (2) de la DMA dispone que la CE revisará la DMA a más tardar diecinueve años desde su entrada en vigor y propondrá cualquier modificación que resulte necesaria. Dicho plazo vencía el 22 de diciembre de 2019 y, en consecuencia, la CE realizó el proceso de revisión de la normativa comunitaria en materia de aguas denominado "Fitness check (Vermeulen *et al.*, 2019). El objetivo de la revisión es determinar si las directivas son adecuadas para el propósito que fueron creadas o, contrariamente, deben ser modificadas o adaptadas. El proceso comenzó con la publicación de su hoja de ruta a finales del 2017 y culminó con la presentación del informe final en noviembre del 2019 (MITECO, 2019a).

La evaluación se apoyó en una amplia gama de fuentes cualitativas y cuantitativas, incluyó la revisión de numerosa literatura especializada (Vermeulen *et al.*, 2019) e incorporó un procedimiento de consulta pública para recabar la aportación de todos los agentes interesados y de la sociedad (MITECO, 2019a).

Los distintos EM, los sectores económicos, las organizaciones ambientales, así como el resto de los usuarios del recurso han fijado sus posiciones sobre su posible modificación. Alemania, Austria, Bulgaria, Dinamarca, Finlandia, Holanda, Italia, Luxemburgo y Malta demandan un cambio. Abogan por la adaptación o la transformación de varios aspectos clave, tales como (Martínez, 2019): la reducción de los periodos de consulta pública, la supresión del principio eliminatorio, la modificación de los procesos de reporting, la incorporación de expertos en el CC para elaborar las directivas, la ampliación de los plazos más allá del 2027 y, por último, opinan que las numerosas sanciones dictaminadas generan una gran presión sobre los EM. Por su parte, la administración española ha jugado un papel neutral. Valora positivamente el progreso que ha supuesto la DMA en la gestión del recurso y considera que su futuro depende de su correcta implementación.

El sector agrario también ha defendido su modificación. La principal organización agraria europea (COPA-COGECA) publicó un informe en abril del 2018 destacando los siguientes aspectos (Martínez, 2019): demandan plazos más progresivos, la ampliación de las exenciones y la eliminación del principio "one-out, all-out". Del mismo modo consideran que el cumplimiento de los objetivos de la DMA les origina unos costes elevados que ya están pagando y, por tanto, se oponen a cualquier incremento de costes por el uso del agua.

Tabla 2. Proceso de evaluación "Fitness Check" de la Directiva Marco del Agua (DMA).
Table 2. Fitness Check of the Water Framework Directive (WFD).

Directivas analizadas	
DMA (2000/60/CE)	
Directiva de aguas subterráneas (2006/118/CE)	
Directiva de inundaciones (2007/60/CE)	
Directiva de normas de calidad ambiental (2008/105/CE)	
Criterios de evaluación	
Eficacia:	¿En qué medida se han logrado los objetivos?
Eficiencia:	¿Los beneficios justifican los recursos utilizados?
Relevancia:	¿Los objetivos iniciales siguen siendo importantes?
Coherencia:	¿Es congruente la DMA con el resto de las políticas de la UE?
Valor añadido del marco europeo:	¿La legislación comunitaria ha sido beneficiosa para los Estados Miembros más allá de su propia legislación?
Temas más relevantes revisados	
Progreso lento de los objetivos	Principio "one-out, all-out"
Principio de "No Deterioro"	Adaptación al CC
Gobernanza del agua	Duración de los ciclos de planificación
Integración de la DMA con otras políticas	Cooperación internacional
Consulta pública	Uso de indicadores causa-efecto
Principio de "quien contamina paga"	Exenciones más allá del 2027
Definición e interrelación de los estados químicos y ecológicos	Cuantificación costes-beneficios Principio de la recuperación de costes
Aspectos positivos en la UE	**Retos futuros en la UE**
Mejoras entre ciclos de planificación	Principio "one-out, all-out"
Resultados del principio de "No Deterioro"	Conocimiento de los ecosistemas acuáticos
Progresos en la cooperación transfronteriza	Dependencia en la financiación
Modelo extrapolable a un nivel más global	Número de exenciones
Avance en los niveles de información	Avanzar en la recuperación de costes
Los beneficios justifican los costes	Consensuar medidas para mitigar el CC
Coherencia entre las directivas evaluadas	Mejorar el análisis coste-beneficio
Legislación adaptable a nuevas situaciones	Dotar de mayores recursos a los sistemas de monitoreo y control
	Solucionar el problema de la escasez

Aspectos positivos en España	Retos futuros en España
Avance en la restauración de ríos (Guadalquivir, Júcar)	Alto coste en los programas de seguimiento
Incremento de la información	Incidir en la protección de los humedales (Doñana)
	Aplicación del principio de la recuperación de costes en las MASb
	Progresar en el análisis coste-beneficio
	Aplicar tarifas que fomenten el uso sostenible
Conclusiones	
La DMA es adecuada para su propósito y sus objetivos siguen siendo relevantes	
La adopción de las directivas ha incrementado la protección de las MA de la UE	
El avance lento de los objetivos se debe a una incorrecta implementación	

MA: Masas de Agua. MASb: Masas de Agua Subterráneas.

Fuente: Elaboración propia a partir de (Vermeulen *et al.*, 2019; MITECO, 2019a; Martínez, 2019; WWF, 2019).

Por lo que se refiere a las principales organizaciones ambientales europeas, defienden su continuidad (Martínez, 2019; WWF, 2019). La Tabla 2 muestra de manera esquemática los aspectos más relevantes del proceso y las principales conclusiones. La CE mantiene su apuesta por la DMA. Concluye que es adecuada para su propósito y el logro de los objetivos depende de su correcta implementación (Vermeulen *et al.*, 2019).

Tercer ciclo de planificación

Las DDHH tras los EPTI han publicado los ETI del tercer ciclo. Su objetivo es identificar, aportar alternativas y concretar acciones para solucionar los problemas a través de sus PHC. La FNCA publicó un informe con las principales conclusiones de los EPTI (FNCA, 2020). Destacan el gran esfuerzo de las DDHH en mejorar la información y proponen avanzar en el análisis de los resultados de los PDM y en el diagnóstico de las causas que impiden alcanzar los objetivos. Para la elaboración de los EPTI los OC han trabajado sobre una plantilla común que agrega aspectos de la planificación desapercibidos en ciclos anteriores (FNCA, 2020). Las DDHH españolas se marcan objetivos prioritarios y comunes para el tercer ciclo:

1. Objetivos ambientales: reducir la contaminación de origen agropecuario y de las aguas urbanas, moderar las alteraciones hidromorfológicas de las MASp, cumplir con el régimen de los caudales ecológicos y proteger los hábitats acuáticos.
2. Sostenibilidad: adaptar las previsiones por el CC en la asignación del recurso, modernizar el regadío, reutilizar las aguas depuradas y optimizar los usos energéticos y recreativos del agua.
3. Fenómenos extremos: seguridad en la gestión del riesgo de inundación, sequías y otros fenómenos adversos.
4. Conocimiento y gobernanza: cumplir con la recuperación de costes, incrementar la financiación de los PDM, coordinar las ad-

ministraciones, invertir en conocimiento, sensibilizar en la importancia de la participación pública, reducir los contaminantes emergentes, incrementar las redes de control, afianzar la ordenación del dominio público hidráulico y progresar en la coordinación transfronteriza.

Discusión

Los principales resultados obtenidos en el trabajo han sido:

1. El marco comunitario en materia de aguas responde a un planteamiento holístico (Simón *et al.*, 2009) y complejo. Un modelo de gestión eficiente debe ser capaz de adaptarse a las distintas realidades hídricas que se producen en cada uno de los territorios, más allá de la aplicación genérica de un marco normativo común. La DH delimita un territorio donde debe existir un equilibrio entre el recurso y la demanda. La gestión del agua obliga a integrar en el análisis la planificación territorial para poder alcanzar un buen estado de las MA. Los altos consumos per cápita en zonas con alto estrés hídrico precisan un planteamiento de su modelo productivo y de desarrollo estrechamente ligado a los objetivos medioambientales de la DMA. La combinación de medidas como la tarificación, la sensibilización de la sociedad y el desarrollo tecnológico pueden ayudar a satisfacer las necesidades del recurso garantizando la equidad entre economía, medioambiente y bienestar social.
2. La disminución de las inversiones ha limitado las acciones de la administración del agua (MITECO, 2020): en la gestión y control del dominio público hidráulico, en la recuperación del buen estado de las MA, en el mantenimiento y la gestión de las infraestructuras hidráulicas, etc. Adicionalmente, los recortes presupuestarios han afectado a las funciones de los OC.
3. La actual política de precios no incentiva el uso racional del recurso, consecuentemente dicha herramienta se aleja del principio de la recuperación de costes y de los objetivos medioambientales. Al mismo tiempo, la DMA indica que se tenderá a la recuperación de costes, pero no obliga a una recuperación total, aspecto extremadamente complejo. Finalmente, las tarifas solo son aplicables a los usuarios directos de las infraestructuras hídricas de financiación pública. No existen mecanismos para financiar las tareas de gestión del dominio público hídrico de los usuarios de las aguas subterráneas (MITECO, 2020).
4. La gestión del agua depende en gran medida de la correcta coordinación con el resto de las políticas sectoriales.
5. El actual marco político descentralizado genera solape de competencias entre administraciones. Por esta razón es necesario organizar la acción de gobernanza estatal, autonómica y municipal. Como solución al problema, deben generarse interacciones multilaterales y multisectoriales coordinadas que homogenicen criterios. Además, en las cuencas transfronterizas se produce falta de información entre estados. Ante esta situación, se podrían plantear PHC internacionales.
6. La gestión del agua necesita de una participación más activa, directa y efectiva, de todos los usuarios del recurso. En tal sentido es necesario potenciar la transparencia en la información de los objetivos, de los PDM y su seguimiento.
7. Es necesario introducir en la DMA una estrategia realista y adaptativa a largo plazo respecto al reto del CC. Más aún en España, donde se producen fenómenos extremos y episodios de sequía en algunos territorios.

8. Por último, el proceso de revisión "Fitness check" ha fijado distintos posicionamientos sobre la DMA respondiendo a intereses particulares. La CE demanda a los EM a acelerar su implementación. Considera que el incumplimiento de los objetivos se debe a una baja financiación y a su incorrecta implementación (Vermeulen *et al.*, 2019; WNE, 2019). Sin embargo, todo hace indicar que como mínimo, los hitos propuestos deberán flexibilizar sus plazos más allá del 2027.

Conclusiones

La DMA incorporó elementos muy innovadores y la adopción de un marco regulatorio progresivo. Es importante destacar que, a pesar de todo lo que queda por avanzar, las DDHH españolas se han esforzado enormemente entre ciclos y que la calidad de las MA ha mejorado desde su puesta en vigor. No obstante, sus aspiraciones iniciales no se han cumplido y pese a los avances su progreso ha sido lento.

La oportunidad que representa una DMA fuerte, depende en gran medida, de la adaptación de sus principios centrales sin mermar sus pretensiones ambientales. El marco normativo necesita ser lo suficientemente flexible para adaptarse a las circunstancias cambiantes que afecten al recurso. La legislación en materia de aguas requiere abordar los nuevos retos como el impacto del CC y, paralelamente, adecuarse a los cambios económicos, sociales y políticos.

Para anticiparse a las tendencias futuras de los fenómenos extremos y de la escasez por influencia del CC, es necesario potenciar ciertas iniciativas. En tal sentido se podrían reforzar acciones como: a) avanzar en la depuración y la reutilización de las aguas residuales; b) fomentar la desalinización; c) continuar modernizando los regadíos controlando el "rebound effect"; d) considerar los inventarios y los balances del recurso para otorgar asignaciones; e) construir infraestructuras de regulación a fin de prevenir los efectos negativos de las lluvias torrenciales; f) reducir la contaminación difusa; g) gestionar efectivamente las sequías; h) adaptar los consumos a los cambios de disponibilidad; i) establecer programas de seguimiento a nivel local y j) fomentar la investigación.

Se identifican las siguientes líneas de investigación futuras: a) cambio metodológico del principio eliminatorio y el de no deterioro; b) diseño de nuevos procesos tecnológicos de monitorización y reporting que mejoren la generación de información para la toma de decisiones y c) elaborar un sistema tarifario que potencie el uso racional del recurso, capaz de penalizar los consumos superiores a una dotación media en función del usuario.

Agradecimientos

Los autores agradecen la aportación de las/los evaluadoras/es externos, puesto que sus comentarios han mejorado el presente artículo.

Referencias bibliográficas

Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA) (2018a). European waters. Assessment of status and pressures 2018. Report Nº 7/2018. Disponible en: https://www.eea.europa.eu/publications/state-of-water (Consultado: 18 diciembre 2019).

Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA) (2018b). WISE Water Framework Directive (data viewer). Disponible en: https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/dashboards/wise-wfd (Consultado: 07 enero 2020).

Barranco LM, Dimas M, Jiménez A, Estrada F (2018). Nueva evaluación del impacto futuro del cambio climático en los recursos hídricos en España. Revista Digital del Cedex 191: 34-55.

Berbel J, Mateos L (2014). Does investment in irrigation technology necessarily generate rebound effects? A simulation analysis based on an agro-economic model. Agricultural Systems 128: 25-34. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2014.04.002.

Cabello V, Kovacic Z, Van Cauwenbergh N (2018). Unravelling narratives of water management: Reflections on epistemic uncertainty in the first cycle of implementation of the Water Framework Directive in southern Spain. Environmental Science & Policy 85: 19-27. https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.03.019.

Carvalho L, Mackay EB, Cardoso AC, Baattrup-Pedersen A, Birk S, Blackstock, KL, Borics G, Borja A, Feld CK, Ferreira MT, Globevnik L, Grizzetti B, Hendry S, Hering D, Kelly M, Langaas S, Meissner K, Panagopoulos Y, Penning E, Rouillard J, Sabater S, Schmedtje U, Spears BM, Venohr M, van de Bund W, Solheim AL (2019). Protecting and restoring Europe's waters: An analysis of the future development needs of the Water Framework Directive. Science of The Total Environment 658: 1128-1238. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.255.

Castro-Valdivia M (2015). Primer ciclo de planificación hidrológica en España en aplicación de la Directiva Marco del Agua. Agua y Territorio 5: 134-142. https://doi.org/10.17561/at.v0i5.2540.

Comisión Europea (2000). Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas. Diario Oficial de las Comunidades Europeas, nº 327, de 22 de diciembre de 2000, pp.1-73.

Comisión Europea (2015). Informe sobre la aplicación de los Planes Hidrológicos de Cuenca de la Directiva Marco del Agua. Estado miembro: España. Acompaña al documento: Informe de la Comisión al Parlamento Europeo y al Consejo. La Directiva Marco del Agua y la Directiva sobre Inundaciones: medidas para lograr el "buen estado" de las aguas de la UE y para reducir los riesgos de inundación. COM (2015) 120 final. Comisión Europea, 106 pp.

Comisión Europea (2019). Segundos planes hidrológicos de cuenca. Estado miembro: España. Acompaña al documento: Informe de la Comisión al Parlamento Europeo y al Consejo. Sobre la aplicación de la Directiva marco del agua (2000/60/CE) y la Directiva sobre inundaciones (2007/60/CE). Segundos planes hidrológicos de cuenca. Primeros planes de gestión del riesgo de la inundación. COM (2019) 95 final. Comisión Europea, 234 pp.

Comisión Europea (2020). Condicionalidad. Vincular las ayudas a la renta respeto de las normas de la Unión Europea. Disponible en: https://ec.europa.eu/info/food-farming-fisheries/key-policies/common-agricultural-policy/income-support/cross-compliance_es (Consultado: 05 febrero 2020).

COPA-COGECA (2018). Posición. Control de la adecuación de la Directiva Marco sobre el Agua (DMA). Disponible en: https://copa-cogeca.eu/Archive/Download?id=1819085&fmt=pdf (Consultado: 12 mayo 2020).

Delgado WG (2015). Gestión y valor económico del recurso hídrico. Revista Finanzas y Política Económica 7(2): 279-98. http://dx.doi.org/10.14718/revfinanzpolitecon.2015.7.2.4.

Del Moral L (2006). La Directiva Marco del Agua y la nueva política agraria. XII informe socioeconómico de la Agricultura en España, 44-51. Madrid: Fundación de Estudios Rurales. Disponible en: https://upa.es/anuario_2006/pag_044-051_moral.pdf (Consultado: 04 febrero 2020).

Del Moral L (2009). Nuevas tendencias en gestión del agua, ordenación del territorio e integración de políticas sectoriales. Scripta Nova 13: 281-309.

Del Moral L (2017). Balance de aplicación de la Directiva Marco del Agua y demandas actuales de los agentes sociales. XXI Jornadas derecho del agua: el futuro de los organismos de cuenca, 2-3 de marzo, Zaragoza, España. El futuro de los organismos de cuenca, Thomson Reuters/Aranzadi, Cizur Menor (Navarra) 175-196.

Estevan A, Naredo JM (2004). Ideas y propuestas para una nueva política del agua en España. Ed. Bakeaz. España. 79 pp.

Estrela A (2007). El proceso de planificación en las demarcaciones hidrográficas españolas: una visión global. Ingeniería y territorio 8: 12-17.

European Environment and Sustainable Development Advisory Councils (EEAC) (2018). The EU Water Framework Directive. Results to date and outlook for the future. Disponible en: https://eeac.eu/thematic-focus/fresh-water-affairs/ (Consultado: 19 febrero 2020).

Freyhof J, Gessner M, Grossart HP, Hilt S, Jähnig S, Köhler J, Mehner T, Pusch M, Venohr M, Wolter C (2019). Strengths and weaknesses of the Water Framework Directive (WFD): Leibniz-Institute of Freshwater Ecology and Inland Fisheries (IGB) in the Forschungsverbund Berlin e.V. http://dx.doi.org/10.4126/FRL01-006416917

Fundación Nueva Cultura del Agua (FNCA) (2014). Evaluación del primer ciclo de planificación hidrológica en España en aplicación de la directiva marco del agua. Disponible en: https://fnca.eu/38-observatoriodma/observatoriodma/483-informe-oppa-evaluador-del-primer-ciclo-planificacion (Consulta: 20 enero 2019).

Fundación Nueva Cultura del Agua (FNCA) (2018). La Revisión de los planes hidrológicos. ¿Cuáles son los temas importantes? Disponible en: https://fnca.eu/oppa/planificacion-hidrologica/2-ciclo-de-planificacion-2015-2021/documentos-2-ciclo (Consulta: 07 febrero de 2020).

Fundación Nueva Cultura del Agua (FNCA) (2020). Observaciones generales sobre los Esquemas Provisionales de Temas Importantes (EPTI) del tercer ciclo de planificación hidrológica. Disponible en: https://fnca.eu/oppa/planificacion-hidrologica/3-ciclo-de-planificacion-2021-2027/3-ciclo (Consulta: 08 junio de 2020).

Giakoumis T, Voulvoulis N (2018). The transition of EU Water Policy Towards the Water Framework Directive's integrated river basin management paradigm. Environmental Management 62: 819-831. https://doi.org/10.1007/s00267-018-1080-z.

Gómez-Limón JA, Martin-Ortega J (2013). The economic analysis in the implementation of the Water-Framework Directive in Spain. International Journal of River Basin Management 11(3): 301-310. https://doi.org/10.1080/15715124.2013.823977.

González D (2018). La gestión de las cuencas hidrográficas en España: avances y carencias del segundo ciclo de planificación. Agua y Territorio 11: 123-136. https://doi.org/10.17561/at.11.3027.

Hervás-Gámez C, Delgado-Ramos F (2019). Drought Management Planning Policy: From Europe to Spain. Sustainability 11(7): 1862. https://doi.org/10.3390/su11071862.

Kortenkamp A, Faust M, Backhaus T, Altenburger R, Scholze M, Müller C, Ermler S, Posthuma L, Brack W (2019). Mixture risks threaten water quality: the European Collaborative Project SOLUTIONS recommends changes to the WFD and better coordination across all pieces of European chemicals legislation to improve protection from exposure of the aquatic environment to multiple pollutants. Environ Sciences Europe 31: 69. https://doi.org/10.1186/s12302-019-0245-6.

La Roca F (2018). La revisión de los planes hidrológicos. ¿Cuáles son los temas importantes? En: Retos de la planificación y gestión del agua en España. Informe 2018, Observatorio de las Políticas del Agua (Ed. La Roca F, Martínez J), pp. 3-14. Fundación Nueva Cultura del Agua. Disponible en: https://fnca.eu/82-ultimas-noticias/1267-retos-de-la-planificacion-y-gestion-del-agua-en-espana-informe-oppa-2018 (Consultado: 02 febrero 2020).

Lema-Blanco I, García R (2013). Un análisis de los procesos participativos desarrollados sobre los planes hidrológicos de las cuencas gallegas. Administración & Ciudadanía: Revista da Escola Galega de Administración Pública 8 (2): 9-24.

Maia R (2017). The WFD implementation in the European Member States. Water Resources Management 31: 3043-3060. https://doi.org/10.1007/s11269-017-1723-5.

Marcos-Garcia P, Pulido-Velazquez M (2017). Cambio climático y planificación hidrológica: ¿es adecuado asumir un porcentaje único de reducción de aportaciones para toda la demarcación? Ingeniería del Agua 21(1): 35-52. https://doi.org/10.4995/ia.2017.6361.

Martínez J (2019). El proceso de evaluación de la Directiva Marco del Agua. En: Retos de la planificación y gestión del agua en España. Informe 2018, Observatorio de las Políticas del Agua (Ed. La Roca F, Martínez J), pp. 14-21. Fundación Nueva Cultura del Agua. Disponible en: https://fnca.eu/82-ultimas-noticias/1267-retos-de-la-planificacion-y-gestion-del-agua-en-espana-informe-oppa-2018 (Consultado: 02 junio 2020).

Martínez Y, Villalejo VM (2020). Caudal ambiental: herramienta ecohidrológica en la gestión de los recursos hídricos. Ingeniería Hidráulica y Ambiental 41(1): 56-70.

Meseguer MJ (2015). Revisión de la planificación hidrológica: urgente necesidad de mejora. Disponible en: http://www.terraqui.com/blog/actualidad/valoracion-de-la-planificacion-hidrologica-correspondiente-al-ciclo-2015-2021-periodo-de-exposicion-publica-de-los-borradores-de-los-planes-hidrologicos-de-las-demarcaciones-espanolas-e-intercomunit/. (Consultado: 20 mayo 2020).

Ministerio de Medio Ambiente (MMA) (2000). Libro Blanco del Agua en España. Centro de Publicaciones, Secretaría general Técnica, Ministerio de Medio Ambiente, Madrid, 620 pp.

Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPAMA) (2002). Encuesta sobre Superficies y Rendimientos de Cultivos. Dirección General de Planificación Económica y Coordinación Institucional. Subdirección General de Estadísticas Agroalimentarias. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación, 195 pp.

Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPAMA) (2018). Encuesta sobre Superficies y Rendimientos de Cultivos. Subsecretaría de Agricultura, Pesca y Alimentación. Subdirección General de Análisis, Coordinación y Estadística. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 178 pp.

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) (2018a). Evaluación del estado de las masas de agua. Disponible en: https://www.chcantabrico.es/gestion-cuencas/estado-calidad-aguas/evaluacion-del-estado-de-las-masas-de-agua (Consultado: 15 marzo 2020).

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) (2018b). Síntesis de los planes hidrológicos españoles. Segundo ciclo de la DMA (2015-2021). Secretaria de Estado de Medio Ambiente. Dirección General del Agua. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 175 pp.

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) (2018c). Planes Hidrológicos y Programa de Medidas. Versión 1.3.1. Disponible en: https://servicio.mapama.gob.es/pphh/ (Consultado: 21 mayo 2020).

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) (2019a). Proceso de revisión de la Directiva Marco del Agua. Disponible en: https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/planificacion-hidrologica/planificacion-hidrologica/revisiondma.aspx (Consultado: 01 junio 2020).

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) (2019b). Informe de seguimiento de los planes hidrológicos de cuenca y de los recursos hídricos en España. Dirección General del Agua, Vicepresidencia cuarta del Gobierno. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 193 pp.

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) (2020). Libro verde de la gobernanza de agua en España. Disponible en: http://www.librogobernanzagua.es/ (Consultado: 14 febrero 2020).

Navarro TM (2019). Gestión compartida de recursos híbridos entre España y Portugal. Veinte años del Convenio de Albufeira. Revista de Administración Pública 209: 391-427. https://doi.org/10.18042/cepc/rap.209.12.

Pulido-Velázquez M, Cabrera E, Garrido A (2014). Economía del agua y gestión de recursos hídricos. Ingeniería del Agua 18(1): 99-110. https://doi.org/10.4995/ia.2014.3160.

Prato S, La Valle P, De Luca E, Lattanzi L, Migliore G, Morgana JG, Munari C, Nicoletti L, Izzo G, Mistri M (2014). The "one-out, all-out" principle entails the risk of imposing unnecessary restoration costs: A study case in two Mediterranean coastal lakes. Marine Pollution Bulletin 80(1-2): 30-40. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.01.054.

Reig B (2017). Recuperación de costes y los instrumentos económicos de la DMA. Fundación Fomento Y Gestión Del Agua. Disponible en: http://fundacionagua.org/?p=178 (Consultado: 01 junio 2020).

Rey D, Pérez-Blanco CD, Escriva-Bou A, Girard C, Veldkamp T (2019). Role of economic instruments in water allocation reform: lessons from Europe. International Journal of Water Re-

sources Development 35(2): 206-239. https://doi.org/10.1080/07900627.2017.1422702.

Sampedro D, Del Moral L (2014). Tres décadas de política de aguas en Andalucía. Análisis de procesos y perspectiva territorial. Cuadernos Geográficos 53(1): 36-67.

Simón A, Romeo R, Cabezas F, Bueno F, Aurín R (2009). Diálogo sobre la Directiva Marco del Agua. Ingeniería y territorio 85: 84-95.

Tamames R, Aurín R (2015). Gobernanza y gestión del agua: modelos público y privado. Ed. Profit Editorial, España. 272 pp.

Tribunal de cuentas europeo (2014). La integración de los objetivos de la política del agua de la UE en la PAC: un éxito parcial. Disponible en: https://www.eca.europa.eu/es/Pages/ecadefault.aspx (Consultado: 16 marzo 2020).

Vera F (2008). La gestión del agua en España. Encuentros Multidisciplinares 29: 1-7. http://hdl.handle.net/10486/679457

Vermeulen J, Whiteoak K, Nicholls G, Gerber F, McAndrew K, Cherrier V, Cunningham E, Kirhensteine I, Wolters H, Vermeij W, Schipper P (2019). Fitness Check Evaluation of the Water Framework Directive and the Floods Directive. Final evaluation report. European Commission, Directorate-General for Environment. Disponible en: https://edepot.wur.nl/509764 (Consultado: 12 junio 2020).

Voulvoulis N, Arpon KD, Giakoumis T (2017). The EU Water Framework Directive: From great expectations to problems with implementation. Science of The Total Environment 575: 358-366. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.09.228.

Water News Europe (WNE) (2019). Despite bad results European Commission wants to continue with Water Framework Directive. Disponible en: https://www.waternewseurope.com/despite-bad-results-european-commission-wants-to-continue-with-water-framework-directive/ (Consultado: 18 mayo 2020).

Wordl Wildlife Fund (WWF) (2019). European Commisión concludes EU water law is "fit for purpose". Disponible en: https://www.wwf.eu/?uNewsID=357085 (Consultado: 02 junio 2020).

(Aceptado para publicación el 31 de agosto de 2021)

PREMIOS DE PRENSA AGRARIA 2022 DE LA ASOCIACIÓN INTERPROFESIONAL PARA EL DESARROLLO AGRARIO

La Asociación Interprofesional para el Desarrollo Agrario (AIDA) otorga un premio anual de Prensa Agraria para destacar aquel artículo de los publicados en ITEA en el año 2022 que reúna las mejores características técnicas, científicas y de valor divulgativo y de transferencia al sector, así como un impacto relevante de sus resultados. El artículo deberá reflejar el espíritu fundacional de AIDA de hacer de transmisor de conocimientos hacia el profesional, técnico o empresario agrario. Se concederá un premio, pudiendo quedar desierto.

Los premios se regirán de acuerdo a las siguientes

BASES

1. Podran concursar todos los artículos que versen sobre cualquier tema técnico-económico-agrario.
2. Los artículos que podrán acceder al premio serán todos aquellos que se publiquen en ITEA en el año 2022. Consecuentemente, los originales deberán ser enviados de acuerdo con las normas de ITEA y aprobados por su Comité de Redacción.
3. El jurado estará constituido por las siguientes personas:
   a) Presidencia de AIDA, que presidirá el jurado.
   b) Dirección de la revista ITEA, que actuará de Secretario.
   c) Dirección del CITA (Gobierno de Aragón).
   d) Dirección del Instituto Agronómico Mediterráneo de Zaragoza.
   e) Dirección de la Estación Experimental de Aula Dei.
   f) Dirección del Instituto Pirenaico de Ecología.
4. El premio será anual y tendrá una dotación económica.
5. Las deliberaciones del jurado serán secretas, y su fallo inapelable.
6. El fallo del jurado se dará a conocer en la revista ITEA, y la entrega del premio se realizará con motivo de la celebración de las Jornadas de Estudio de AIDA.

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

INSCRIPCIÓN EN AIDA

Si desea Vd. pertenecer a la Asociación rellene la ficha de inscripción y envíela a la siguiente dirección:
Asociación Interprofesional para el Desarrollo Agrario (AIDA). Avenida Montañana, 930, 50059 Zaragoza.

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

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

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

En _____ , a ___ de _____ de 20__

Firma:

FORMA DE PAGO (COUTA ANUAL: 50 EUROS)

	Cargo a cuenta corriente (rellenar la domiciliación bancaria)
	Transferencia a la cuenta de AIDA ES70 2100 8687 2702 0001 2107 (adjuntar comprobante)

DOMICILIACION BANCARIA

Sr. Director del Banco/Caja

Muy Sr. mío,

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

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

Atentamente,

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

PROTECCIÓN DE DATOS

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

AUTORIZACIONES

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

* Debe responder a estar cuestiones obligatoriamente.

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

SE INFORMA

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

Nombre y apellidos del Socio:

DNI:

Representante legal (si lo hubiere):

DNI:

En _____ , a ___ de _____de 20___

FIRMA DEL SOCIO:

Normas para los autores (actualizado mayo de 2022)

La revista ITEA es una publicación internacional indexada en las bases de datos de revistas científicas. La revista se publica en español. De acuerdo con los fines de la Asociación Interprofesional para el Desarrollo Agrario (AIDA), ITEA publica artículos que hagan referencia a la Producción Vegetal, Producción Animal y Economía Agroalimentaria. Se aceptan contribuciones en formato de nota técnica, artículo de revisión o artículo de investigación. El envío de un artículo implicará que el mismo no haya sido publicado o enviado para publicar en cualquier otro medio de difusión o idioma y que todos los coautores aprueben dicha publicación. Los derechos sobre todos los artículos o ilustraciones publicados serán propiedad de ITEA, que deberá recibir por escrito la cesión o copyright una vez aceptado el artículo. La publicación de un artículo en ITEA no implica responsabilidad o acuerdo de ésta con lo expuesto, significando solamente que el Comité de Redacción lo considera de suficiente interés para ser publicado.

Desde marzo de 2019, para publicar un artículo en la revista ITEA es necesario que al menos uno de los autores sea socio de AIDA, o en su caso los autores del artículo deberán abonar la cantidad de 50 euros cuando el artículo sea aceptado para su publicación en la revista ITEA. Puede consultar cómo hacerse socio de AIDA en http://www.aida-itea.org/index.php/sobre-nosotros/hacerse-socio.

1. Envío de manuscritos y evaluación

Los manuscritos originales se escribirá en español. Se recomienda la revisión del manual "Cómo traducir y redactar textos científicos en español"(https://www.esteve.org/libros/cuaderno-traducir-textoscientificos/) Los manuscritos se enviarán a través de la plataforma OJS de la revita ITEA (http://recyt.fecyt.es/index.php/ITEA/user/register). Para ello, los autores deberán registrarse en la aplicación, incluir el nombre y apellidos de todos los autores de manuscrito en los metadatos del artículo, y seguir las indicaciones pertinentes. El manuscrito se enviará como un único documento Word, incluyendo las tablas y figuras al final del mismo. Los autores deberán incluir en archivo independiente una carta de presentación en la que figure el título, los autores y un listado con 4 potenciales revisores (nombre completo, dirección postal y correo electrónico), que no deberán estar en conflicto de intereses con los autores o el contenido de manuscrito, en cuyo caso el Comité Editorial podrá negarse a colaborar con dichos revisores.

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

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

2. Tipos de manuscritos

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

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

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

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

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

3. Preparación del manuscrito

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

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

Todos los manuscritos incluirán, en la primera página:

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

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

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

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

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

Ejemplo:

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

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

*autor para correspondencia: gpardos@aragon.es

El manuscrito incluirá a continuación:

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

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

En inglés: Título del artículo, Resumen, Palabras clave

4. Apartados del manuscrito

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

- **Introducción:** deberá explicar la finalidad del artículo. El tema se expondrá de la manera más concisa posible, indicando al final los objetivos del trabajo.
- **Material y métodos:** deberá aportar la información necesaria que permita la réplica del trabajo, incluyendo el nombre del fabricante de productos o infraestructuras utilizadas. Los manuscritos deberán incluir una descripción clara y concisa del diseño experimental y de los análisis estadísticos realizados. Se indicará el número de individuos/muestras, valores medios y medidas de variabilidad iniciales. Se informará sobre si los datos de origen de la investigación tienen en cuenta el sexo, con el fin de permitir la identificación de posibles diferencias.
- **Resultados:** los resultados se presentarán en Tablas y Figuras siempre que sea posible. No se repetirá en el texto la información recogida en las Figuras y Tablas. Se recomienda presentar el valor de significación para que el lector pueda disponer de información más detallada. Puede redactarse de forma conjunta con el apartado de discusión.
- **Discusión:** deberá interpretar los resultados obtenidos, teniendo en cuenta además otros trabajos publicados. Se recomienda utilizar un máximo de 4 referencias para apoyar una afirmación en la discusión, exceptuando en las revisiones.
- **Conclusiones:** a las que se han llegado, así como las posibles implicaciones prácticas que de ellas puedan derivarse (aproximadamente 200 palabras).
- **Agradecimientos:** deberá mencionarse el apoyo prestado por personas, asociaciones, instituciones y/o fuentes de financiación del trabajo realizado.
- **Referencias bibliográficas:** sólo se citarán aquellas referencias relacionadas con el trabajo o que contribuyan a la comprensión del texto. Como máximo se podrán utilizar 40 citas en los artículos de investigación, y 60 en las revisiones bibliográficas. En el manuscrito, se mantendrá el orden cronológico en caso de citar varios autores. Las citas en el texto deben hacerse siguiendo los siguientes ejemplos:
  - *un autor (Padilla, 1974)
  - *dos autores (Vallace y Raleigh, 1967)
  - *más de 3 autores: (Vergara *et al.,* 1994)
  - *mismos autores con varios trabajos (Martín et al., 1971 y 1979)
  - *autores con trabajos del mismo año: Prache *et al.* (2009a,b)
  - *Si la cita forma parte del texto: "como indicaban Gómez et al. (1969)"
  - *Leyes y reglamentos: (BOE, 2005) o BOE(2005) si forma parte del texto

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

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

Artículo

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

Capítulo de libro

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

Libro

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

Acta de congreso

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

Fuente electrónica

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

http://faostat.fao.org/default.aspx

(Consultado: 30 enero 2012).

Documento oficial

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

Leyes / Reglamentos

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

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

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

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

Ejemplo de tabla:

Tabla 3. Tarjetas de productos hipotéticos expuestos a los encuestados

Table 3. Hypothetical products cards shown to those surveyed

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

Fuente: Diaz *et al.* (2013)

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

5. Normas de estilo

- Se aplicará el Sistema Internacional de Unidades.
- Los decimales se indicarán en español con una coma (,) y en inglés con un punto (.).
- Las abreviaturas se definirán la primera vez que se citen en el texto.
- Las frases no podrán comenzar con una abreviatura o un número.
- Los nombres de hormonas o productos químicos comenzarán con minúsculas (sulfato de metilo, en vez de Sulfato de Metilo).
- Los símbolos de los genes se escribirán en mayúsculas y cursivas, y los símbolos de las proteínas que codifican estos genes en mayúsculas en texto plano (no cursiva). Igualmente, cuando aparezca el nombre del gen éste irá en cursiva, mientras que su proteína irá en texto plano.
- Las fórmulas químicas se nombrarán según las normas IUPAC (p. ej. H_2SO_4 en vez de SO_4H_2) y los nombres comerciales comenzarán con mayúscula (p.ej. Foligón). En el caso de iones, debe indicarse el signo (p. ej. NO_3^-, SO_4^{2-})
- Los nombres científicos de organismos vivos (botánicos, microbiológicos o zoológicos) deberán incluir en su primera cita la denominación completa de género, especie y del autor. En siguientes apariciones se abreviará el género con la inicial del mismo y se mantendrá el nombre de la especie. Ejemplo: *Papaver rhoeas* L. y posteriormente, *P. rhoeas.*
- Los nombres latinos de géneros, especies y variedades se indicarán en cursiva y los nombres de cultivares entre comillas simples (p. ej. 'Sugar Baby').
- Las llamadas en nota a pie de página o cuadro deberán ser las menos posibles y, en todo caso, se indicarán mediante números correlativos entre paréntesis (p. ej. (1), (2), evitando el uso de asteriscos, letras o cualquier otro signo).
- Los niveles de significación estadística no necesitan explicación (* = P<0,05; ** = P<0,01; ***= P<0,001; NS = no significativo).

Volumen 118
Número 2
Junio 2022

itea

información técnica económica agraria

www.aida-itea.org

REVISTA DE LA ASOCIACIÓN INTERPROFESIONAL PARA EL DESARROLLO AGRARIO

