itea

información técnica económica agraria

REVISTA DE LA ASOCIACIÓN INTERPROFESIONAL PARA EL DESARROLLO AGRARIO



Volumen 114
Número 4
Diciembre 2018

aida-itea.org

itea

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

2018- AÑO XLIX Vol. 114 N.º 4 http://dx.doi.org/10.12706/itea	**DIRECCIÓN Y REDACCIÓN** Avda. Montañana, 930 50059 ZARAGOZA (ESPAÑA) Tel.: 34-976 716305 Fax.: 34-976 716335 E-mail: cmmarin@aragon.es	Depósito legal: Z-577-82 ISSN: 2386-3765 INO Reproducciones, S.A. Pol. Malpica, calle E, 32-39 (INBISA II, nave 35) 50016 Zaragoza

DIRECTOR: Clara Mª Marín, CITA de Aragón. España

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

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

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

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

ITEA-Información Técnica Económica Agraria aparece indexada en SCI Expanded, Journal Citation Reports/Science Editions, ICYT, CABI, SCOPUS. Prohibida toda reproducción total o parcial sin autorización expresa de la Asociación Interprofesional para el Desarrollo Agrario, Editor titular del copyright. ITEA no se responsabiliza necesariamente de las opiniones vertidas en los artículos firmados que publica, cuya responsabilidad corresponde a sus autores.

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



Foto y texto: Cristina Mallor Giménez

Bisaltos (*Pisum sativum subsp. arvense* L.).
Los bisaltos (estirabeques, tirabeques, miracielos o cometodo) son un tipo de guisantes que se cultivan para el consumo de sus vainas. Las vainas resultan comestibles por no presentar fibra en la unión de sus valvas (pericarpio) y por carecer de endocarpio. Los cultivares presentan, en su mayoría, flores púrpuras, aunque también los hay con la corola blanca. El bisalto es una verdura exquisita de calidad, sabor y delicadeza. En Aragón, se trata de una hortaliza de reconocido prestigio que se produce al principio de la primavera. Para su consumo se puede optar por cortar los "hilos" de las vainas (suturas placental y ventral), consumiéndose como cualquier otra verdura, o se pueden dejar, en este caso se suelen consumir con la mano, sujetando la vaina por el peciolo y estirando con los dientes, quedando así los "hilos" en la mano, la postura adoptada para comerlos así hace que se conozcan también como miracielos.

Agradecimiento

Desde el Comité editorial de la Revista ITEA-Información Técnica Económica Agraria, queremos agradecer a todos los evaluadores de artículos su colaboración con la Revista ITEA. Cada artículo precisa para su publicación en una revista indexada de una evaluación "por pares", interviniendo a menudo en el proceso de evaluación un tercer evaluador. A lo largo del 2018, han colaborado en el proceso de evaluación de los artículos publicados en la Revista ITEA 48 revisores. Conocedores de que la evaluación de un artículo para su publicación es una tarea que resta al investigador tiempo de dedicación a sus trabajos de investigación y que a menudo el evaluador realiza esta revisión en su tiempo libre, hacemos pública la relación de evaluadores de artículos publicados en la Revista ITEA en el año 2018 en señal de agradecimiento, haciendo notar que algunos evaluadores desean permanecer en el anonimato, por lo que la relación no es completa.

Francisco Alcon
Patricia Almendros
Marta E. Alonso de la Varga
Mercedes Capobianco Uriarte
Manuela Castillo Quero
Cristina Chocarro Gomez
Montserrat Collado-Fernández
Sergio Colombo
Mamen Cuéllar Padilla
Emilio Galdeano Gómez
Tomas Garcia Azcarate
Francisco Javier Giráldez García
Margalida Joy Torrens
Taher Kahil
Sandra Lobón
Adela Martínez Fernández
Pere M. Parés-Casanova
Juan Carlos Pérez Mesa
Luis Pérez y Pérez
Maria Soledad Prats Moya
Luis A. Quintela Arias
María Dolores Raigón Jiménez
Javier Sanz Cañada
Carlos Sañudo Astiz
Germán Tortosa Muñoz
Antonio de Vega García

Sumario

Producción Vegetal

Aplicación de selenio en cultivos agrícolas. Revisión bibliográfica.
Use of selenium in crop production. Review.
A.M. Garduño-Zepeda y C. Márquez-Quiroz 327

Nota técnica: Potencial de los extractos de orégano y cachanilla para el control de hongos fitopatógenos en frutos de tomate.
Potential of oregano and cachanilla extracts for the control of phytopathogenic fungi in tomato fruits.
G. Andrade-Bustamante, L. Cervantes-Díaz, C.E. Aíl-Catzim, C.L. Del Toro-Sánchez, J. Borboa-Flores, P. Rangel-Preciado, F.E. Martínez-Ruiz y E. Rueda-Puente 344

Producción Animal

Efecto de la inclusión de ensilado de haba forrajera en la dieta de vacuno lechero sobre la ingestión voluntaria y la producción y composición de la leche.
Effect of faba bean silage in dairy cow diets on voluntary intake, milk production and composition of milk.
S. Baizán, F. Vicente, N. Barhoumi, I. Feito, L. Rodríguez y A. Martínez-Fernández 353

Desarrollo y evaluación de una ecuación para predecir el peso vivo en novillas cruzadas usando el ancho de cadera.
Development and evaluation of equation to predict live weight in crossbred heifers using hip width.
S. Herrera-López, R. García-Herrera, A.J. Chay-Canul, M. González-Ronquillo, U. Macías-Cruz, V.F. Díaz-Echeverría, F. Casanova-Lugo y A. Piñeiro-Vázquez 368

Economía Agraria

Viabilidad comercial del tomate español en la Unión Europea.
Viability of Spanish tomatoes exportation to the European Union.
F.J. Pérez-Mesa, J.C. Pérez-Mesa y D.L. Valera-Martínez 378

Evaluación financiera de la viabilidad del uso de agua desalada en la agricultura de invernadero del Campo de Níjar (Almería, España).
Financial evaluation of the feasibility of using desalinated water in the greenhouse agriculture of Campo de Níjar (Almería, Spain).
J.A. Albaladejo-García, J.M. Martínez-Paz y J. Colino 398

Aplicación de selenio en cultivos agrícolas. Revisión bibliográfica

A.M. Garduño-Zepeda y C. Márquez-Quiroz*

Posgrado en Ciencias Agroalimentarias. División Académica de Ciencias Agropecuarias, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Carretera Villahermosa-Teapa km 25 R/A La Huasteca 2ª sección, Villahermosa, Centro, Tabasco, México, C.P. 86280

Resumen

La biofortificación agronómica y genética de cultivos agrícolas con selenio son estrategias prometedoras para mejorar la calidad nutracéutica de la parte comestible del cultivo. Por lo anterior, la presente revisión tiene como objetivo documentar la importancia del selenio en el desarrollo y producción de los cultivos agrícolas; así como su efecto antioxidante. En este sentido se realizaron diferentes revisiones de los temas relacionados con la presencia de selenio en el medio ambiente, suelo y planta, dando énfasis en la concentración, la forma de absorción y el metabolismo del elemento; asimismo la importancia de la biofortificación agronómica y genética de los cultivos agrícolas. Estudios realizados demostraron que el selenio estimula la síntesis de proteínas, aminoácidos, compuestos secundarios de nitrógeno, compuestos fenólicos, de igual manera, incrementa la actividad antioxidante, y se asocia con la prolongación de la vida útil de productos hortofrutícolas. La biofortificación con selenio en los cultivos agrícolas se está convirtiendo cada vez más en una solución para mejorar la problemática de deficiencia del oligoelemento en la población humana, así como para incrementar el contenido de compuestos bioactivos.

Palabras clave: Actividad antioxidante, ATP sulforilasa, biofortificación, elemento benéfico, selenato de sodio, selenito de sodio.

Abstract
Use of selenium in crop production. Review

The agronomic and genetic biofortification of crops with selenium are novel strategies to improve the nutraceutical quality of staple crops. This review focuses on assessing the importance of Selenium in the development and crop production; as well as its effect in the antioxidant activity. In this regard, different revisions of the themes related to the presence of Selenium in the environment, soil and plant were carried out, emphasizing the concentration, the form of absorption and the metabolism of the element; additionally, the importance of agronomic and genetic biofortification in agricultural crops. Studies have shown that Selenium stimulates the synthesis of proteins, amino acids, nitrogen secondary compounds, phenolic compounds, likewise increases antioxidant activity, and it is associated with the prolongation of the shelf life of horticultural products. Biofortification with Selenium in agricultural crops is increasingly becoming a solution to improve the problem of trace element deficiency in the human population as well as to increase the content of bioactive compounds.

Keywords: Antioxidant activity, ATP sulfurylase, biofortification, benefic element, sodium selenate, sodium selenite.

* Autor para correspondencia: cesar_quiroz23@hotmail.com

https://doi.org/10.12706/itea.2018.019

Introducción

El Selenio (Se) es un elemento traza escaso en la corteza terrestre, se recicla con facilidad en la atmosfera y se encuentra distribuido en todas partes de la tierra. Su presencia y concentración en el suelo está determinada por el pH, condiciones de óxido-reducción, solubilidad de sales, interacciones biológicas y reacciones cinéticas (Trejo-Téllez *et al.*, 2012). La cantidad del elemento en el suelo puede ser clasificada con base a los niveles encontrados en plantas que no lo acumulan, pero que creen en dicho suelo, o bien de acuerdo al nivel de Se en el propio suelo (Davis *et al.*, 2002). La concentración promedio de Se en la mayoría de los suelos es inferior a 0,2 mg kg^{-1} (Alloway, 2013), mientras que los suelos con contenidos mayores de 2 mg kg^{-1} se clasifican como seleniferos (Trejo-Téllez *et al.*, 2012). Para las plantas el selenio se considera no esencial si bien, se han encontrado ciertos efectos beneficiosos en pequeñas cantidades: estimulando el crecimiento, aumentando la tolerancia frente al estrés biótico y abiótico, y prolongando la vida útil y calidad de los productos hortofrutícolas (Hermosillo-Cereceres *et al.*, 2014; Puccinelli *et al.*, 2017). Aunado a lo anterior, se ha demostrado que la adición de 50 µM de selenato decrementa los niveles de glutatión en plantas de *Arabidopsis thaliana* (Hugouvieux *et al.*, 2009), e induce la formación de selenocisteína (Van Hoewyk, 2013).

La absorción de Se por las plantas depende de la forma y concentración en que se encuentre el oligoelemento, y composición fisicoquímica y propiedades del suelo (White, 2016). En este sentido, las plantas se clasifican de acuerdo a su capacidad de acumular Se en: acumuladoras, semi-acumuladoras y no acumuladoras (Trejo-Téllez *et al.*, 2012). No obstante, la mayoría de los cultivos alimentarios son plantas no acumuladoras, por consiguiente, la biofortificación agronómica o genética con Se es una estrategia prometedora para mejorar la calidad nutracéutica de la parte comestible del cultivo (Schiavon y Pilon-Smits, 2017b; Cabrera-De la Fuente *et al.*, 2018).

La carencia de Se en los alimentos provoca deficiencias y patologías en el ser humano, afectando a más de un billón de habitantes en todo el mundo (Nothstein *et al.*, 2016), ya que este elemento es indispensable como cofactor de diversas enzimas, interviene en la síntesis de hormonas en la tiroides, en la síntesis del ADN, en el funcionamiento muscular, entre otros (Puccinelli *et al.*, 2017; Das *et al.*, 2018). En este sentido la presente revisión tiene como objetivo remarcar el comportamiento del Se en el sistema suelo-planta, y documentar los beneficios del elemento en los cultivos agrícolas para incrementar la calidad nutracéutica de estos.

Selenio en la naturaleza

El Se puede existir en cinco estados de oxidación: selenuro (2^-), selenio elemental (0), thioselenato (2^+), selenito (4^+) y selenato (6^+). La presencia y la concentración del Se está determinada por diversos factores tales como el pH, condiciones de óxido-reducción, solubilidad de sus sales, interacciones biológicas y reacciones cinéticas (Trejo-Téllez *et al.*, 2012).

El Se fue descubierto en el año 1817 por el químico sueco Jöns Jacob von Berzelius al evaluar la influencia de la forma inorgánica del elemento sobre los organismos vivos (Kieliszek y Blazejak, 2016). Es un oligoelemento no metal y número atómico 34, localizado en el cuarto período de la tabla periódica en el grupo de los calcógenos. En el orden de abundancia de los elementos, ocupa el sexagésimo noveno lugar, es un elemento bastante escaso ya que su contenido en la corteza terrestre oscila de 0,01 a 2 mg kg^{-1} (Gupta y Gupta, 2017). De los 88 elementos, este

ocupa el septuagésimo en abundancia. Además, es un metaloide natural que se recicla fácilmente dentro de la litosfera, hidrosfera, atmósfera y biosfera (Paikaray, 2016), de igual manera está presente en el suelo, rocas, agua, aire, plantas, tejido animal y cuerpo humano. Las erupciones volcánicas se consideran la principal fuente de Se para la atmósfera, seguida de emisiones industriales como la energía térmica y quema de carbón doméstico (Paikaray, 2016). La biometilación por microorganismos y la descomposición de plantas acumuladoras, peces e insectos también contribuyen a que existan fracciones volátiles de Se, como los dimetilselenuros (DMSe, $(CH_3)_2Se$), dimetildiselenuros (DMDSe, $(CH_3)_2Se_2$), ácido selenhídrico (H_2Se), y dióxido de selenio (SeO_2) (Figura 1) (Schiavon y

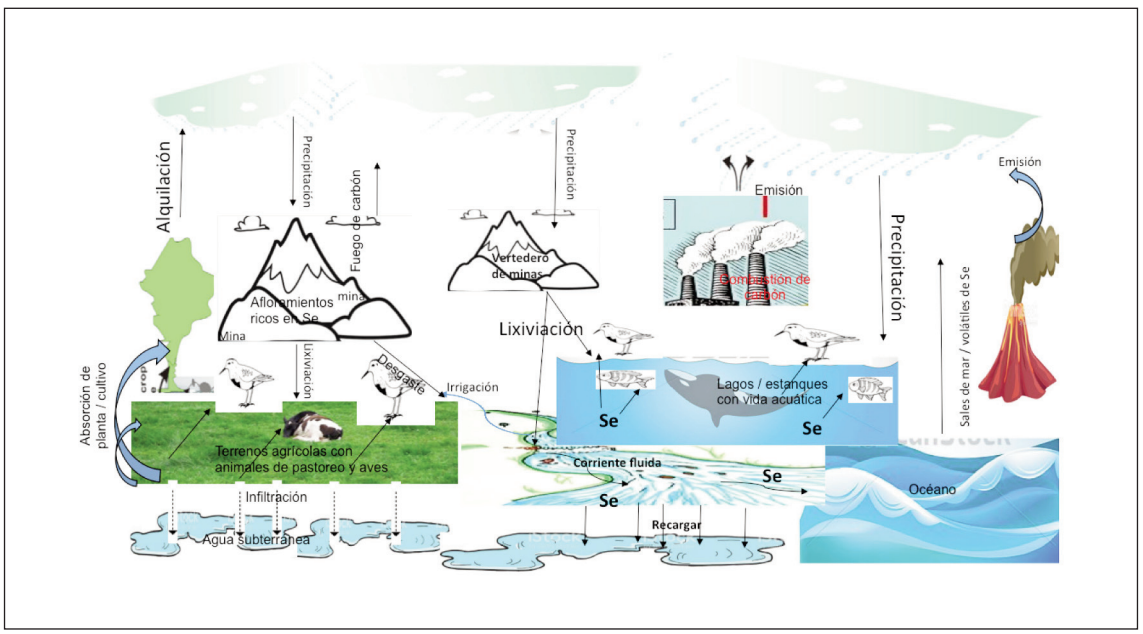


Figura 1. Diagrama esquemático que muestra el ciclo del Se en la pedosfera, hidrosfera, atmosfera, sistema litosfera y biosfera [Adaptado de Paikaray (2016)].
Figure 1. Schematic diagram showing the Se cycle in the pedosphere, hydrosphere, atmosphere, lithosphere and biosphere system [Adapted from Paikary (2016)].

Pilon-Smits, 2017a). Una parte del Se se volatiliza de los vegetales y esto contribuye a la acumulación en suelo y agua a través de la sedimentación de partículas atmosféricas o precipitación (Paikaray, 2016). La deficiencia de Se es un problema importante en los suelos de origen volcánico (López *et al.*, 2012). El contenido de Se en las rocas ígneas es en promedio de 0,09 mg kg^{-1}, en tanto que, en rocas sedimentarias el contenido no supera los 0,1 mg kg^{-1} (Christophersen *et al.*, 2013). Por otra parte, el contenido de Se en rocas fosfáticas, pizarras y carbón es de 300, 600 y 6500 mg kg^{-1}, respectivamente (Fordyce, 2013).

La lixiviación o disolución de residuos de minas sulfhídricas generan contenidos elevados de Se en el medio ambiente (hasta 1200 mg

kg^{-1}) (McNeal y Balistrieri, 1989). Después de la liberación iónica, el Se se moviliza en medios acuosos como ácido selenioso (H_2SeO_3) o ácido selénico (H_2SeO_4) y/o se escapa a la atmósfera en forma gaseosa. Posteriormente, entra en la cadena alimentaria a través de cultivos, vidas acuáticas y la inhalación (Elrashidi *et al.*, 1989).

La concentración de Se en los suelos agrícolas oscila entre 0,005 y 3,5 mg kg^{-1}, con un promedio general de 0,2 mg kg^{-1} (Alloway, 2013); por lo contrario, en suelos seleníferos su concentración fluctúa de 5 a 1200 mg kg^{-1} (Kaur *et al.*, 2014). La persistencia y forma predominante de este oligoelemento en el suelo está determinada por su geología, condiciones climáticas (Figura 2), vegetación, pH y presencia de microorganismos (Fordyce, 2013; Jones *et al.*, 2017).

De manera similar al azufre (S), el Se puede existir en cinco estados de oxidación, estas formas de oxidación determinan su solubilidad y su disponibilidad (Trejo-Téllez *et al.*, 2012). El Se orgánico (Se^{2-}), selenito (Se^{4+}) y

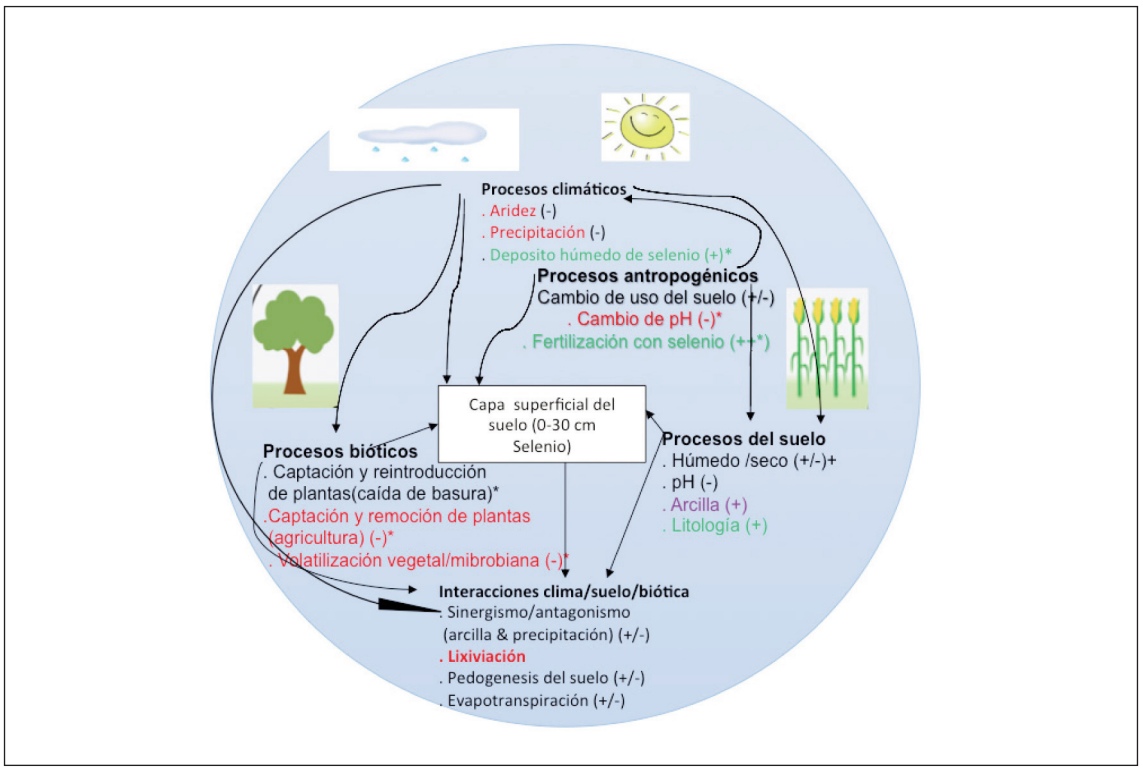


Figura 2. Resumen de los procesos que rigen la concentraciones de Se en el suelo y procesos dominantes.

El texto coloreado en rojo, verde y azul indican procesos que afectan pérdidas de suelo, retención y fuentes/suministros, respectivamente. Los factores responsables (+) o disminuciones (–) en el suelo, así como los procesos no examinados [Adaptado de Jones *et al.* (2017)].

Figure 2. Summary of the processes that govern Se concentrations in the soil and dominant processes.

selenato (Se^{6+}) son solubles en agua, y a su vez son las formas más disponibles para la planta (Trejo-Téllez *et al.*, 2012). El selenito está presente principalmente en suelos óxicos, en tanto que, el selenato está presente en suelos de humedales anóxicos (Perrone *et al.*, 2015). Al respecto, Spadoni *et al*. (2007) mencionan que el selenito es menos móvil que el selenato, y sobre todo que pueden tener interacción con otros elementos trazas en el suelo (Fe y Mn), lo que limita la disponibilidad del elemento.

Por otra parte, la deficiencia de Se en los suelos está presente en 40 países de diversas partes de África, América, Asia, Europa y Oceanía (Pilon-Smits, 2015); en tanto que, los suelos seleniferos se extienden principalmente en países como EE.UU, Canadá, Colombia, Venezuela, Australia, India, Irlanda, China y Rusia (Fordyce, 2013; Perrone *et al.*, 2015).

Selenio en las plantas

El Se es un elemento no esencial para las plantas superiores; sin embargo, se considera un elemento benéfico en cantidades traza. El contenido de Se en las plantas es generalmente determinado por la cantidad biodisponible de Se en los suelos y factores de absorción de las plantas (White, 2016). Aunado a lo anterior, las plantas también absorben el Se del agua y puede acumularlo en sus tejidos y volatilizarlo (Trejo-Téllez *et al.*, 2012).

Las plantas absorben el Se del suelo como selenato (SeO_4^{2-}) o selenito (SeO_3^{2-}); de manera que, la absorción del selenito es por un proceso activo parcialmente mediado por los transportadores de fosfato y acuaporinas (Li *et al.*, 2008), en cambio, el selenato es absorbido por medio de transportadores de sulfatos en la membrana plasmática (Terry *et al.*, 2000). El selenato es tomado por la planta de una manera preferente sobre el selenito o compuestos orgánicos de Se, y es acumulado tanto en raíces como compuestos orgánicos; mientras que el selenito tiende a acumularse en los tallos en forma de compuestos orgánicos (Li *et al.*, 2008).

Las plantas difieren en su capacidad de acumulación de este elemento en sus tejidos, con base en esto se han clasificado en tres grupos: a) no acumuladoras, b) semi-acumuladoras y c) acumuladoras; de manera que la concentración de Se que pueden acumular algunas plantas pertenecientes a los tres grupos es de < 50 mg kg^{-1}, entre 50 a 100 mg kg^{-1}, y de 100 a 1000 mg kg^{-1}, respectivamente (Tabla 1) (Trejo-Téllez *et al.*, 2012; Perrone *et al.*, 2015). Por consiguiente, las especies no acu-

Tabla 1. Concentración de Se en algunos cultivos agrícolas
Table 1. Se concentration in some agricultural crops

Género	Se (mg kg^{-1})	Clasificación	Referencia
Astragalus, *Aster*, *Bertholletia*, *Lecythis*, *Stanleya*, *Oonopsis*, *Xylorhiza*	100 – 1000	Acumuladoras	(Broadley *et al.*, 2006; White *et al.*, 2007)
Astragalus, *Aster*, *Atriplex*, *Brassica*, *Camandra*, *Grayia*, *Castilleja*, *Grindelia*, *Gutierrezia*, *Machaeranthera*, *Mentzelia*, *Sideranthus*	50 – 100	Semi-acumuladoras	(White *et al.*, 2007)
Bromopsis, *Sorghum*, *Medicago*, *Solanum*, *Panicum*	< 50	No acumuladoras	(White *et al.*, 2007)

muladoras contienen altas concentraciones de selenometionina (SeMet), selenocisteína (SeCys) y selenonio; mientras que las acumuladoras contienen cantidades mínimas de selenometionina y grandes cantidades de selenito ($NaSeO_3$) y selenato de sodio ($NaSeO_4$) (Trejo-Téllez *et al.*, 2012).

Los niveles tóxicos de Se en las plantas causan la generación de radicales superóxido, la sustitución del S en proteínas por Se, la sustitución de aminoácidos, cisteína (Cys) y metionina (Met), por seleno aminoácidos (SeCys y SeMet) durante la síntesis de proteínas y la inhibición de la metilación, lo que significa que el Se actúa como un pro-oxidante (Sors *et al.*, 2005).

Metabolismo del selenio en las plantas

Existe gran semejanza en el comportamiento químico de compuestos orgánicos de Se y su contraparte con el S, sin embargo los compuestos orgánicos de Se tienen diferente estabilidad, propiedades y reacción (Back, 2011). El selenito es absorbido por la planta por medio de transportadores de fosfatos y acuaporinas, por el contrario, el selenato es absorbido por la planta por medio de transportadores de sulfatos (Li, *et al.*, 2008), ambos procesos de absorción son por transporte activo (Schiavon y Pilon-Smits, 2017a).

Una vez que el selenato es absorbido por las plantas es transportado a los plastidios o puede permanecer en el citoplasma (Figura 3), donde es asimilado por la vía de asimilación del S (Terry *et al.*, 2000; Van Hoewyk *et al.*, 2008). En esta ruta de asimilación el selenato es activado por la ATP sulfurilasa (ATPS) para formar adenosin 5'fosfoselenato (APSe), que se reduce a selenito en presencia de adenosin 5'fosfosulfato (APS) reductasa y posteriormente a seleniuro a través de una vía no enzimática en presencia de glutatión (Schiavon y Pilon-Smits, 2017b). El seleniuro se asimila en SeCis y SeMet, estos seleno aminoácidos se incorporan a las proteínas de forma no específica y pueden causar toxicidad a la planta (Schiavon y Pilon-Smits, 2017b). Los seleno aminoácidos también pueden ser eliminados mediante la volatilización al convertirse en dimetilselenuros (Ellis y Salt, 2003), siendo el principal producto de la fitovolatilización. En las plantas acumuladoras, la SeCis es metilada y se convierte en dimetildiselenuros para ser volatilizado (Terry *et al.*, 2000); asimismo, otro mecanismo de detoxificación de Se es a través de la formación de Se elemental (Gonzalez-Morales *et al.*, 2017).

Cuando los seleno aminoácidos se incorporan inadvertidamente en proteínas, en sustitución de cisteína y metionina, la función de la proteína se afecta, y por lo tanto puede existir una toxicidad (Malagoli *et al.*, 2015). La mayoría de las plantas pueden metabolizar SeMet en dimetilselenuros, que puede ayudar a evitar la toxicidad (Terry *et al.*, 2000). Otro mecanismo potencial de destoxificación de Se en las plantas es la conversión de SeCys a selenio elemental y alanina (Van Hoewyk *et al.*, 2008). Tanto la volatilización y el desglose de SeCys son inespecíficos, utilizando enzimas que funcionan en el metabolismo del S (Terry *et al.*, 2000; Van Hoewyk *et al.*, 2008). Algunas plantas pueden ser capaces de discriminar entre los análogos Se y S, estas plantas pueden, por ejemplo, metilar SeCys en metil-SeCys, que sirve como mecanismo eficaz de desintoxicación de Se ya que el metil-SeCys no se incorpora en proteínas (Malagoli *et al.*, 2015). Este proceso de metilación está mediado por la enzima SeCys metiltransferasa (SMT). Los taxones vegetales más conocidos que contienen esta enzima son las denominadas plantas acumuladoras de Se, sin embargo, también se ha encontrado SMT en el brócoli (*Brassica oleracea* L.), y metil-SeCys en especies de *Allium* (Gonzalez-Morales *et al.,* 2017*)*.

Por otra parte, se ha reportado que la adición de Se incrementa el crecimiento de los vege-

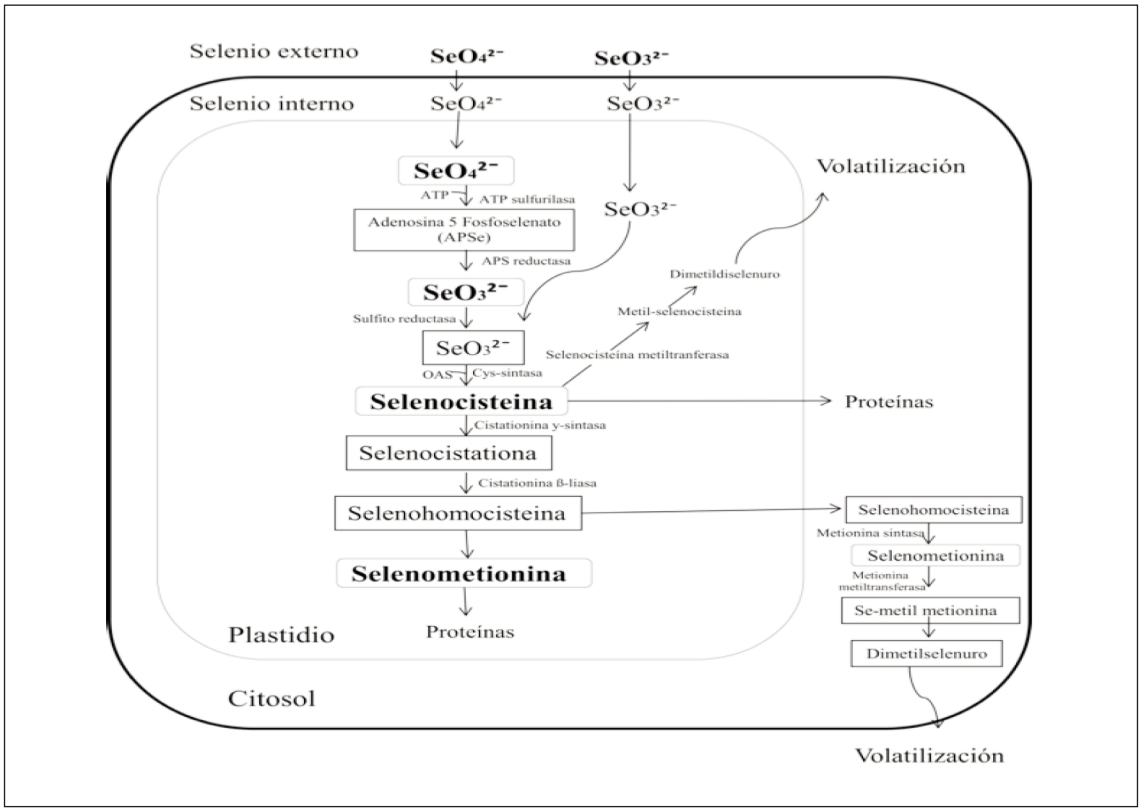


Figura 3. Esquema simplificado de la ruta de asimilación-eliminación de Se en las plantas [Adaptado de Sors *et al.* (2005) y Terry *et al.* (2000)].
Figure 3. Simplified scheme of the Se assimilation–elimination route in plants [Adapted from Sors et al. *(2005) and Terry* et al. *(2000)].*

tales y la acumulación de carbohidratos en el cloroplasto (Mozafariyan *et al.*, 2017); además, en un estudio realizado en *Arabidopsis thaliana* se encontró que el ácido jasmónico y el etileno reguló una respuesta de defensa a la acumulación de Se (Van Hoewyk *et al.*, 2008).

Efectos de aplicaciones de Se a las plantas

La biofortificación agronómica es una técnica rápida que se emplea para incrementar la concentración del oligoelemento en la parte comestible del cultivo, mediante el uso de fertilizantes. En tanto que la biofortificación genética de plantas se lleva a cabo por técnicas tradicionales de fitomejoramiento o ingeniería genética, y busca reducir el contenido de antinutrientes, e incrementar la concentración del microelemento (Hotz, 2013).

Durante la última década, los estudios de biofortificación agronómica con Se se incrementaron debido a que este elemento es importante tanto en animales como en humanos (Tabla 2), y su deficiencia se relaciona con la disfunción del sistema inmunitario, la distrofia muscular, la osteocondropatía, la cardiomiopatía, la enfermedad de Keshan, el funcionamiento del sistema de defensa, pro-

Tabla 2. Efecto de la aplicación de Se en algunos cultivos agrícolas
Table 2. Effect of Se application on some agricultural crops

Cultivo	Resultado	Referencia
Mostaza de la India (*Brassica juncea* L.)	La adición de 20 µM de selenato de sodio promovió un efecto protector contra ataques de herbívoros y hongos.	(Hanson *et al.*, 2003)
	La aplicación de selenito y selenato (100 µM) indujo la nitración de la proteína tirosina.	(Molnár *et al.*, 2018)
Toronjil (*Melissa officinalis* L.)	La aplicación foliar de selenato de sodio (1 mg L^{-1}) incrementó el crecimiento vegetativo y reproductivo, además estimuló el sistema antioxidante de la planta.	(Habibi y Alizade, 2017)
Frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.)	La doble aplicación foliar de 10 mg Se L^{-1} incrementó en 233% el contenido de Se en la semilla de frijol.	(Smrkolj *et al.*, 2007)
	La adición de 40 µM de selenito de sodio favoreció el incremento de biomasa y mejoró la concentración de Se en la semilla.	(Hermosillo-Cereceres *et al.*, 2013)
	La biofortificación con 5 µM de selenato de sodio no modificó el contenido nutrimental del frijol.	(de Figueiredo *et al.*, 2017)
	La adición de 40 µM de selenito de sodio y 20 µM de selenato de sodio favoreció el incremento de las concentraciones de Ca.	(Hermosillo-Cereceres *et al.*, 2011)
	La adición de 20 µM de selenito de sodio incrementó la actividad enzimática de la superoxido dismutasa, catalasa y glutatión peroxidada.	(Hermosillo-Cereceres *et al.*, 2014)
Rábano (*Raphanus sativus* L.)	La aplicación foliar de selenato (5 mg $planta^{-1}$) provoco la metabolización de Se-metil-seleniocisteina y glucorafanin.	(Schiavon *et al.*, 2016)
Heliconia (*Heliconia* sp.)	Incrementó la concentración de K y Mn en hojas, y Mn en tallos.	(Cuacua-Temiz *et al.*, 2017)
Lenteja (*Lens culinaris* L.)	La concentración de Se osciló entre 425 y 673 µg kg^{-1}, de la cual, el 70% estuvo en forma de SeMe.	(Thavarajah *et al.*, 2008)
	La adición de selenato incrementó en 44% el porcentaje de nitrógeno derivado del aire, y en 108% el contenido de Se en la semilla, en comparación con el testigo.	(Ekanayake *et al.*, 2017)

Tabla 2. Efecto de la aplicación de Se en algunos cultivos agrícolas (continuación)
Table 2. Effect of Se application on some agricultural crops (continuation)

Cultivo	Resultado	Referencia
Zanahoria (*Daucus carota* L.)	La adición de selenato de sodio provocó un incremento en el contenido de seleniometionina en comparación con la aplicación de selenito de sodio.	(Smole *et al.*, 2016)
Lechuga (*Lactuca sativa* L.)	Modificó el potencial óxido-reducción e incrementó la actividad enzimática catalasa, sin causar modificaciones en el contenido mineral y la biomasa.	(López-Gutiérrez *et al.*, 2015)
	La adición de selenato mejoró la acumulación de Se en las hojas, en tanto que la biodisponibilidad fue de 70%. El 33,3% del selenito se transformó en metabolitos orgánicos, mientras que el 20% del selenato se convirtió en especies orgánicas de Se.	(do Nascimento da Silva *et al.*, 2017)
Maíz (*Zea mays* L.), Soya (*Glycine max* L.), Col (*Brassica oleracea* L.)	Se incrementó el contenido de Se en partes comestibles.	(Mao *et al.*, 2014)
Brócoli (*Brassica oleracea* itálica)	La adición de Se incrementó el contenido de compuestos fenólicos y la actividad antioxidante.	(Bachiega *et al.*, 2016)
Maíz	La aplicación de 5 µM L^{-1} estimuló el crecimiento vegetativo y la elongación radical.	(Hawrylak-Nowak, 2008)
Tomate (*Solanum lycopersicum* L.)	La adición de 1 mg L^{-1} de Se en tratamientos precosecha, redujo la peroxidación lipídica, incrementó el contenido de antioxidantes enzimáticos y no enzimáticos.	(Zhu *et al.*, 2016)
	La adición de 1 mg L^{-1} de Se en tratamientos precosecha, retardó la maduración del fruto, redujo la generación de especies reactivas de oxígeno (ERO), y reprimió la expresión de los genes 1-aminociclopropano-ácido-1-carboxilico (ACC) sintasa, y ACC oxidasa.	(Zhu *et al.*, 2017b)
	La adición de 5 µM incrementó la actividad enzimática catalasa, el contenido de carotenos y el volumen del sistema radical.	(Mozafariyan *et al.*, 2017)

Tabla 2. Efecto de la aplicación de Se en algunos cultivos agrícolas (continuación)
Table 2. Effect of Se application on some agricultural crops (continuation)

Cultivo	Resultado	Referencia
Lechuga, tomate y melón (*Cucumis melo* L.)	Modificó el estado antioxidante y el contenido de vitamina C en los tres cultivos, con ligeros cambios en la biomasa y área foliar.	(de los Santos-Vázquez *et al.*, 2016)
Trigo (*Triticum aestivum* L.)	La aplicación de selenato y selenito (5 µM) promovió la producción de materia seca en el tallo y raíz.	(Boldrin *et al.*, 2016)
	La adición de Se de forma foliar incrementó el contenido del elemento en el grano, con valores que oscilaron entre 0,02 a 0,31 mg kg^{-1}.	(Wang *et al.*, 2017)
Uva de mesa (*Vitis vinifera* L.)	La aplicación foliar de Se en forma de aminoácidos incrementó el contenido del elemento, los valores oscilaron entre 19,4 y 34,9 µg kg^{-1}.	(Zhu *et al.*, 2017a)
Girasol (*Helianthus annuus* L.)	La adición de selenato de sodio (5 mg kg^{-1}) disminuyó el efecto causado por el estrés salino, mejoró la actividad enzimática de la glutatión peroxidasa, e incluso se decrementó el contenido de malondialdehido.	(Habibi, 2017)
	La adición de 5 mg kg^{-1} de selenato de sodio redujo el daño por estrés salino e incrementó la actividad antioxidante.	(Habibi, 2017)
Canola (*Brassica napus* L.).	La adición de 5 µM de selenometionina y seleniocisteína modificó la tasa de absorción de Se en comparación con la adición de selenito y selenato de sodio.	(Kikkert y Berkelaar, 2013)

blemas de capacidad productiva de los rumiantes y el daño en las membranas de los glóbulos rojos (Back, 2011; García-Bañuelos *et al.*, 2011; López *et al.*, 2012).

Los principales estudios se han realizado en cultivos de interés (Becvort-Azcurra *et al.*, 2012; Castillo-Godina *et al.*, 2013; Hermosillo-Cereceres *et al.*, 2013; Mao *et al.*, 2014; Bañuelos *et al.*, 2015; Castillo-Godina *et al.*, 2016) puesto que constituyen una fuente de proteínas, fibra dietética, carbohidratos, vitaminas, fitoquímicos y nutrimentos esenciales en la dieta humana (Murphy *et al.*, 2018). De igual manera se ha estudiado el efecto de la biofortificación con Se en *Brachiaria brizanta*; al respecto, Ramos *et al*. (2012) mencionan que la adición de 0,5 mg kg^{-1} de selenato de sodio favoreció la concentración del elemento en los brotes, redujo la peroxidación de lípidos y activó el sistema antioxidante en el pasto Mulato.

En algunas especies agrícolas la aplicación foliar de selenito o selenato mejoró la asimilación del compuesto y estimuló el crecimiento (El-Ramady *et al.*, 2016). Incluso, la adición exógena de Se en plantas regula el contenido de agua bajo condiciones de sequía, promueve el crecimiento, aumenta la tolerancia al estrés oxidativo inducido por radiación UV, activa mecanismos antioxidantes y reduce los procesos de senescencia (Cuacua-Temiz *et al.*, 2017). En condiciones de estrés salino, el Se puede detonar el mecanismo antioxidante (superóxido dismutasa, peroxidasa de guayacol y catalasa) (KeLing *et al.*, 2013).

También se emplea la adición de Se a germinados para incrementar el contenido de compuestos bioactivos. Ávila *et al.* (2014) mencionan que se incrementó significativamente la síntesis de selenocisteína y glucosinolatos en los germinados de *Brassica* spp. biofortificados. Posteriormente Funes-Collado *et al*. (2013), biofortificaron germinados de lenteja, alfalfa (*Medicago sativa* L.) y soya (*Glycine max* L.) con selenito y selenato de sodio, reportando que el contenido de Se en los germinados está en función del contenido de Se de la dosis usada. Arscott y Goldman (2012) aplicaron selenato de sodio en germinados de brócoli (*Brassica oleracea* L.), frijol chino (*Vigna radiata* L. Wilczek) y cebolla (*Allium cepa* L.). Encontrando que a bajas dosis de selenato (127 μM L^{-1}) se incrementaba el contenido de Se en los germinados sin afectar el crecimiento de los mismos. En estudios recientes con germinados de brócoli y mostaza (*Brassica alba* L. Rabenh), Bachiega *et al*. (2016) y Bodnar y Koniecza (2016), encontraron que el contenido de Se se incrementó significativamente, sin embargo solo los germinados biofortificados con selenito de sodio fueron capaces de convertir el Se inorgánico en seleno aminoácidos (selenometilselenocisteína y selenometionina). Por otra parte, Tyszka-Czochara *et al.* (2016) encontraron que al biofortificar geminados de amaranto (*Amaranthus cruentus* L.) con Se, se incrementó el contenido de betanina.

En lo referente a la biofortificación genética, Kumar *et al*. (2016) han documentado aspectos relevantes en el cultivo de lenteja (*Lens culinaris* Medik.), principalmente se busca reducir el contenido de fitoquímicos antinutricionales e incrementar el contenido de proteína cruda, microelementos, carbohidratos prebióticos, folatos y vitamina B9. Por otra parte, Lyons *et al*. (2005b) y Lyons *et al*. (2005a) evaluaron accesiones silvestres, comerciales y poblaciones de trigo cultivados en México y Australia, encontrando que el *Aegilops tauschii* y el centeno (*Secale cereale* L.) almacenaron 42 y 35% más Se en el grano en comparación con los otros cereales bajo condiciones de campo e hidroponía, respectivamente. Zhao *et al.* (2009) evaluaron 150 líneas de trigo harinero (*Triticum aestivum* L.) y 25 líneas de trigo duro (*Triticum durum* L.), trigo farro (*Triticum dicoccum* L), trigo espelta (*Triticum spelta* L.) y trigo escaña (*Triti-*

cum monococcum L.), encontrando que no hubo significancia en la concentración de Se en el grano de los trigos harineros y duros; sin embargo, en los trigos farro, escaña y espelta la concentración de Se en el grano fue mayor. Asimismo, Thavarajah *et al*. (2008; 2017) estudiaron el potencial genético de genotipos de lentejas cultivados en diferentes localidades, encontrando que la interacción genotipo y ambiente modificaron en hasta 58,3% la concentración de Se en la semilla. Hasta cierto punto, la movilidad de los oligoelementos, desde el suelo hasta la semilla, está en función de los procesos fisiológicos, los genes que se expresen y el ambiente de crecimiento (Waters y Sankaran, 2011), por lo que para establecer un programa de biofortificación genética es necesario conocer adecuadamente las condiciones de crecimiento de cada cultivo. Al respecto, Watson *et al*. (2018) proponen el uso de cámaras de crecimiento para optimizar el tiempo de obtención de plantas mejoradas.

Al mismo tiempo, El Mehdawi *et al*. (2018) y Schiavon *et al*. (2015) estudiaron la expresión de transportadores de sulfato/selenato (SULTR) y cuatro enzimas APS en Brasicáceas acumuladoras y no acumuladoras, encontrando que la alta concentración de S no obstaculizó los transportadores SULTR1;2 y SULTR2; 1, y las enzimas APS1, 2 y 4 en *Stanleya pinnata*, en comparación con *Brasica juncea*. Por otra parte, Pilon-Smits y LeDuc (2009) mencionan que la sobre expresión de la APS en *B. Juncea* puede incrementar la reducción del selenato, y hasta duplicar la acumulación de Se en tallos y raíces. Lo anterior puede incrementar la tolerancia, acumulación y posteriormente la volatilización de Se en plantas transgénicas, que incluso tengan la capacidad de fitorremediar suelos contaminados con el oligoelemento (Bañuelos *et al*., 2005).

Asimismo, otra área de interés es la inducción de la actividad enzimática de la glutatión peroxidasa al adicionar Se (0,1 a 10 mg kg^{-1}) en plantas de lechuga (*Lactuca sativa* L.*)* y ryegrass (*Lolium perenne* L.) (Hartikainen, 2005); por el contrario, al adicionar más de 30 mg kg^{-1}, el Se puede actuar como pro-oxidante (Hartikainen *et al*., 2000). Al respecto, Molnár *et al*. (2018) mencionan que la adición de selenito y selenato (100 µM) provocó la nitración de la proteína tirosina, la cual puede ser usada como un indicador de toxicidad por Se en plantas de *Brassica juncea*.

Conclusiones

Esta revisión resalta el efecto que tiene el Se, en cantidades traza, en el sistema suelo-planta. La mayoría de los cultivos agrícolas, en especial las frutas y hortalizas contienen cantidades mínimas de Se por lo que se requiere hacer aplicaciones exógenas de compuestos inorgánicos de Se. La biofortificación con Se estimula la síntesis de proteínas, aminoácidos, compuestos secundarios de nitrógeno, compuestos fenólicos, de igual manera, incrementa la actividad antioxidante y prolonga la vida útil de productos hortofrutícolas. La biofortificación con Se en los cultivos agrícolas se está convirtiendo cada vez más en una solución para mejorar la problemática de deficiencia del oligoelemento en la población humana, así como para incrementar el contenido de compuestos bioactivos. Además, se requieren más estudios acerca de la sobre expresión de transportadores de sulfato/selenato y la enzima ATPS1 en plantas hiperacumuladoras y no hiperacumuladoras, mediante el uso de marcadores moleculares.

Agradecimientos

Al Programa para el Desarrollo Profesional Docente (PRODEP), proyecto UJAT-PTC-252.

Bibliografía

Alloway BJ (2013). Bioavailability of elements in soil. En: Essentials of medical geology: Revised edition (Eds. Selinus O), pp. 351-373. Dordrecht. Springer Netherlands.

Arscott S, Goldman I (2012). Biomass effects and selenium accumulation in sprouts of three vegetable species grown in selenium-enriched conditions. Hortscience 47: 497-502.

Ávila FW, Yang Y, Faquin V, Ramos SJ, Guilherme LRG, Thannhauser TW, Li L (2014). Impact of selenium supply on Se-methylselenocysteine and glucosinolate accumulation in selenium-biofortified brassica sprouts. Food Chemistry 165: 578-586.

Back TG (2011). Selenium: Organoselenium chemistry. En: Encyclopedia of inorganic and bioinorganic chemistry (Eds. John Wiley & Sons, Ltd.)

Bachiega P, Salgado JM, de Carvalho JE, Ruiz ALTG, Schwarz K, Tezotto T, Morzelle MC (2016). Antioxidant and antiproliferative activities in different maturation stages of broccoli (*Brassica oleracea* italica) biofortified with selenium. Food Chemistry 190: 771-776.

Bañuelos G, Terry N, LeDuc DL, Pilon-Smits EAH, Mackey B (2005). Field trial of transgenic Indian mustard plants shows enhanced phytoremediation of selenium-contaminated sediment. Environmental Science & Technology 39: 1771-1777.

Bañuelos GS, Arroyo I, Pickering IJ, Yang SI, Freeman JL (2015). Selenium biofortification of broccoli and carrots grown in soil amended with Se-enriched hyperaccumulator stanleya pinnata. Food Chemistry 166: 603-608.

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

Bodnar M, Konieczka P (2016). Evaluation of candidate reference material obtained from selenium-enriched sprouts for the purpose of selenium speciation analysis. LWT - Food Science and Technology 70: 286-295.

Boldrin PF, de Figueiredo MA, Yang Y, Luo H, Giri S, Hart JJ, Faquin V, Guilherme LRG, Thannhauser TW, Li L (2016). Selenium promotes sulfur accumulation and plant growth in wheat (*Triticum aestivum*). Physiologia Plantarum 158: 80-91.

Broadley MR, White PJ, Bryson RJ, Meacham MC, Bowen HC, Johnson SE, Hawkesford MJ, McGrath SP, Zhao F-J, Breward N, Harriman M, Tucker M (2006). Biofortification of UK food crops with selenium. Proceedings of the Nutrition Society 65: 169-181.

Cabrera-De la Fuente M, González-Morales S, Juárez-Maldonado A, Leija-Martínez P, Benavides-Mendoza A (2018). Chapter 4 – plant nutrition and agronomic management to obtain crops with better nutritional and nutraceutical quality. En: Therapeutic foods (Eds. Holban AM, Grumezescu AM), pp. 99-140. Academic Press.

Castillo-Godina R, Foroughbakhch-Pournavab R, Benavides-Mendoza A (2013). Efecto del selenio sobre la cuantificación de ácido ascórbico en tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). Planta 8: 21-23.

Castillo-Godina RG, Foroughbakhch-Pournavab R, Benavides-Mendoza A (2016). Effect of selenium on elemental concentration and antioxidant enzymatic activity of tomato plants. Journal of Agricultural Science and Technology 18: 233-244.

Cuacua-Temiz C, Trejo-Téllez LI, Velasco-Velasco J, Gómez-Merino FC (2017). Efecto de los elementos benéficos Al, Co, Se y Si en la nutrición de heliconias (*Heliconia* sp.). Agroproductividad 10: 62-68.

Christophersen OA, Lyons G, Haug A, Steinnes E (2013). Selenium. En: Heavy metals in soils: Trace metals and metalloids in soils and their bioavailability (Eds. Alloway BJ), pp. 429-463. Dordrecht. Springer Netherlands.

Das A, Laha S, Mandal S, Pal S, Siddiqui MW (2018). Chapter 14 – Preharvest biofortification of horticultural crops. En: Preharvest modulation of postharvest fruit and vegetable quality (Eds. Siddiqui MW), pp. 381-434. Academic Press.

Davis JG, Steffens TJ, Engle TE, Mallow KL, Cotton SE (2002). Diagnosing selenium toxicity. Natural resources series. Colorado State University. Cooperative Extension. Fact Sheet 6.109.

de Figueiredo MA, Boldrin PF, Hart JJ, de Andrade MJB, Guilherme LRG, Glahn RP, Li L (2017). Zinc and selenium accumulation and their effect on iron bioavailability in common bean seeds. Plant Physiology and Biochemistry 111: 193-202.

de los Santos-Vázquez M, Benavides-Mendoza A, Ruiz-Torres NA, Cabrera-de la Fuente M, Morelos-Moreno Á (2016). Sodium selenite treatment of vegetable seeds and seedlings and the effect on antioxidant status. Emirates Journal of Food and Agriculture 28: 589-593.

do Nascimento da Silva E, Aureli F, D'Amato M, Raggi A, Cadore S, Cubadda F (2017). Selenium bioaccessibility and speciation in selenium-enriched lettuce: Investigation of the selenocompounds liberated after *in vitro* simulated human digestion using two-dimensional HPLC-ICP-MS. Journal of Agricultural and Food Chemistry 65: 3031-3038.

Ekanayake LJ, Thavarajah D, McGee R, Thavarajah P (2017). Will selenium fertilization improve biological nitrogen fixation in lentils? Journal of Plant Nutrition 40: 2392-2401.

El-Ramady H, Abdalla N, Taha HS, Alshaal T, El-Henawy A, Faizy SEDA, Shams MS, Youssef SM, Shalaby T, Bayoumi Y, Elhawat N, Shehata S, Sztrik A, Prokisch J, Fári M, Domokos-Szabolcsy É, Pilon-Smits EA, Selmar D, Haneklaus S, Schnug E (2016). Selenium and nano-selenium in plant nutrition. Environmental Chemistry Letters 14: 123-147.

El Mehdawi AF, Jiang Y, Guignardi ZS, Esmat A, Pilon M, Pilon-Smits EAH, Schiavon M (2018). Influence of sulfate supply on selenium uptake dynamics and expression of sulfate/selenate transporters in selenium hyperaccumulator and nonhyperaccumulator brassicaceae. New Phytologist 217: 194-205.

Elrashidi MA, Adriano DC, Lindsay WL (1989). Solubility, speciation, and transformations of selenium in soils. En: Selenium in agriculture and the environment (Eds. Jacobs LW), pp. 51-63. Madison, WI. Soil Science Society of America and American Society of Agronomy.

Ellis DR, Salt DE (2003). Plants, selenium and human health. Current Opinion in Plant Biology 6: 273-279.

Fordyce FM (2013). Selenium deficiency and toxicity in the environment. En: Essentials of medical geology: Revised edition (Eds. Selinus O), pp. 375-416. Dordrecht. Springer Netherlands.

Funes-Collado V, Morell-Garcia A, Rubio R, López-Sánchez JF (2013). Study of selenocompounds from selenium-enriched culture of edible sprouts. Food Chemistry 141: 3738-3743.

García-Bañuelos ML, Hermosillo-Cereceres MA, Sánchez E (2011). The importance of selenium biofortification in food crops. Current Nutrition & Food Science 7: 181-190.

González-Morales S, Pérez-Labrada F, García-Enciso EL, Leija-Martínez P, Medrano-Macías J, Dávila-Rangel IE, Juarez-Maldonado A, Rivas-Martínez EN, Benavides-Mendoza A (2017). Selenium and sulfur to produce *Allium* functional crops. Molecules 22: 558.

Gupta M, Gupta S (2017). An overview of selenium uptake, metabolism, and toxicity in plants. Frontiers in Plant Science 7: 2074.

Habibi G (2017). Physiological, photochemical and ionic responses of sunflower seedlings to exogenous selenium supply under salt stress. Acta Physiologiae Plantarum 39: 213.

Habibi G, Alizade Z (2017). Selenium in lemon balm plants: Productivity, phytotoxicity and drought alleviation. Journal of Plant Nutrition 40: 1557-1568.

Hanson B, Garifullina GF, Lindblom SD, Wangeline A, Ackley A, Kramer K, Norton AP, Lawrence CB, Pilon-Smits EAH (2003). Selenium accumulation protects *Brassica juncea* from invertebrate herbivory and fungal infection. New Phytologist 159: 461-469.

Hartikainen H, Xue T, Piironen V (2000). Selenium as an anti-oxidant and pro-oxidant in ryegrass. Plant and Soil 225: 193-200.

Hartikainen H (2005). Biogeochemistry of selenium and its impact on food chain quality and human health. Journal of Trace Elements in Medicine and Biology 18: 309-318.

Hawrylak-Nowak B (2008). Effect of selenium on selected macronutrients in maize plants. Journal of Elementology 13: 513-519.

Hermosillo-Cereceres MA, Sánchez-Chávez E, Balandran-Quintana RR, Mendoza-Wilson AM, Guevara-Aguilar A, Muñoz-Márquez E, García-Bañuelos ML (2011). Ionome variation in bean plant growth under different Se forms and application rates. Journal of Food Agriculture and Environment 9: 374-378.

Hermosillo-Cereceres MA, Sánchez-Chávez E, Guevara-Aguilar A, Muñoz-Márquez E (2013). Biofortification and distribution patterns of selenium in bean: Response to selenate and selenite. Journal of Food Agriculture and Environment 11: 421-426.

Hermosillo-Cereceres MA, Sánchez E, Muñoz-Márquez E, Guevara-Aguilar A, García-Bañuelos M, Ojeda-Barrios D (2014). Impact of selenium fertilization on the activity of detoxifying enzymes of H_2O_2 in bean plants. Phyton-International Journal of Experimental Botany 83: 347-352.

Hotz C (2013). Biofortification. En: Encyclopedia of human nutrition (third edition) (Ed. Benjamin C), pp. 175-181. Waltham. Academic Press.

Hugouvieux V, Dutilleul C, Jourdain A, Reynaud F, Lopez V, Bourguignon J (2009). Arabidopsis putative selenium-binding protein1 expression is tightly linked to cellular sulfur demand and can reduce sensitivity to stresses requiring glutathione for tolerance. Plant Physiol 151: 768-781.

Jones GD, Droz B, Greve P, Gottschalk P, Poffet D, McGrath SP, Seneviratne SI, Smith P, Winkel LHE (2017). Selenium deficiency risk predicted to increase under future climate change. Proceedings of the National Academy of Sciences 114: 2848-2853.

Kaur N, Sharma S, Kaur S, Nayyar H (2014). Selenium in agriculture: A nutrient or contaminant for crops? Archives of Agronomy and Soil Science 60: 1593-1624.

KeLing H, Ling Z, JiTao W, Yang Y (2013). Influence of selenium on growth, lipid peroxidation and antioxidative enzyme activity in melon (*Cucumis melo* L.) seedlings under salt stress. Acta Societatis Botanicorum Poloniae 82: 193-197.

Kieliszek M, Blazejak S (2016). Current knowledge on the importance of selenium in food for living organisms: A review. Molecules 21: 609.

Kikkert J, Berkelaar E (2013). Plant uptake and translocation of inorganic and organic forms of selenium. Archives of Environmental Contamination and Toxicology 65: 458-465.

Kumar J, Gupta DS, Kumar S, Gupta S, Singh NP (2016). Current knowledge on genetic biofortification in lentil. Journal of Agricultural and Food Chemistry 64: 6383-6396.

Li H-F, McGrath SP, Zhao F-J (2008). Selenium uptake, translocation and speciation in wheat supplied with selenate or selenite. New Phytologist 178: 92-102.

López-Gutiérrez ML, Benavides-Mendoza A, Ortega-Ortíz H, Valdez-Aguilar LA, Cabrera-De La Fuente M, Sandoval-Rangel A (2015). Selenio y su efecto en el estado antioxidante y la composición mineral de la lechuga. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas Pub Esp 12: 2257-2262.

López R, Revilla A, Tórtora J (2012). La deficiencia de selenio. Ciencia y Desarrollo. Disponible en: http://www.cyd.conacyt.gob.mx/261/articulos/deficiencia-del-selenio.html

Lyons G, Ortiz-Monasterio I, Stangoulis J, Graham R (2005a). Selenium concentration in wheat grain: Is there sufficient genotypic variation to use in breeding? Plant and Soil 269: 369-380.

Lyons GH, Judson GJ, Ortiz-Monasterio I, Genc Y, Stangoulis JCR, Graham RD (2005b). Selenium in Australia: Selenium status and biofortification of wheat for better health. Journal of Trace Elements in Medicine and Biology 19: 75-82.

Malagoli M, Schiavon M, Dall'Acqua S, Pilon-Smits EAH (2015). Effects of selenium biofortification on crop nutritional quality. Frontiers in Plant Science 6: 280.

Mao H, Wang J, Wang Z, Zan Y, Lyons G, Zou C (2014). Using agronomic biofortification to boost zinc, selenium, and iodine concentrations of food crops grown on the loess plateau in China. Journal of Soil Science and Plant Nutrition 14: 459-470.

McNeal JM, Balistrieri LS (1989). Geochemistry and occurrence of selenium: An overview. En: Selenium in agriculture and the environment (Eds. Jacobs LW), pp. 1-13. Madison, WI. Soil Science Society of America and American Society of Agronomy.

Molnár Á, Feigl G, Trifán V, Ördög A, Szőllősi R, Erdei L, Kolbert Z (2018). The intensity of tyrosine nitration is associated with selenite and selenate toxicity in *Brassica juncea* L. Ecotoxicology and Environmental Safety 147: 93-101.

Mozafariyan M, Pessarakli M, Saghafi K (2017). Effects of selenium on some morphological and physiological traits of tomato plants grown under hydroponic condition. Journal of Plant Nutrition 40: 139-144.

Murphy KJ, Marques-Lopes I, Sánchez-Tainta A (2018). Chapter 7 – Cereals and legumes. En: The prevention of cardiovascular disease through the Mediterranean diet (Eds. Sánchez-Villegas A, Sanchez-Taínta A), pp. 111-132. Academic Press.

Nothstein AK, Eiche E, Riemann M, Nick P, Winkel LHE, Göttlicher J, Steininger R, Brendel R, von Brasch M, Konrad G, Neumann T (2016). Tracking se assimilation and speciation through the rice plant–nutrient competition, toxicity and distribution. Plos One 11: e0152081.

Paikaray S (2016). Origin, mobilization and distribution of selenium in a soil/water/air system: A global perspective with special reference to the Indian scenario. CLEAN – Soil, Air, Water 44: 474-487.

Perrone D, Monteiro M, Nunes JC (2015). Chapter 1 the chemistry of selenium. En: Selenium: Chemistry, analysis, function and effects (Ed. Preedy VR), pp. 3-15. The Royal Society of Chemistry.

Pilon-Smits EAH, LeDuc DL (2009). Phytoremediation of selenium using transgenic plants. Current Opinion in Biotechnology 20: 207-212.

Pilon-Smits EAH (2015). Selenium in plants. En: Progress in botany: Vol. 76 (Eds. Lüttge U y Beyschlag W), pp. 93-107. Cham. Springer International Publishing.

Puccinelli M, Malorgio F, Pezzarossa B (2017). Selenium enrichment of horticultural crops. Molecules 22: 933.

Ramos SJ, Ávila FW, Boldrin PF, Pereira FJ, Castro EM, Faquin V, Reis AR, Guilherme LRG (2012). Response of brachiaria grass to selenium forms applied in tropical soil. Plant Soil and Environment 58: 521-527.

Schiavon M, Pilon M, Malagoli M, Pilon-Smits EAH (2015). Exploring the importance of sulfate transporters and ATP sulphurylases for selenium hyperaccumulation–a comparison of *Stanleya pinnata* and *Brassica juncea* (brassicaceae). Frontiers in Plant Science 6.

Schiavon M, Berto C, Malagoli M, Trentin A, Sambo P, Dall'Acqua S, Pilon-Smits EAH (2016). Selenium biofortification in radish enhances nutritional quality via accumulation of methyl-selenocysteine and promotion of transcripts and metabolites related to glucosinolates, phenolics, and amino acids. Frontiers in Plant Science 7: 1371.

Schiavon M, Pilon-Smits EAH (2017a). The fascinating facets of plant selenium accumulation – biochemistry, physiology, evolution and ecology. New Phytologist 213: 1582-1596.

Schiavon M, Pilon-Smits EAH (2017b). Selenium biofortification and phytoremediation phytotechnologies: A review. Journal of Environmental Quality 46: 10-19.

Smole S, Skoczylas L, Ledwozyw-Smolen I, Rakoczy R, Kopec A, Piatkowska E, Biezanowska-Kopec R, Koronowicz A, Kapusta-Duch J (2016). Biofortification of carrot (*Daucus carota* L.) with iodine and selenium in a field experiment. Frontiers in Plant Science 7: 730.

Smrkolj P, Osvald M, Osvald J, Stibilj V (2007). Selenium uptake and species distribution in selenium-enriched bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seeds obtained by two different cultivations. European Food Research and Technology 225: 233-237.

Sors TG, Ellis DR, Salt DE (2005). Selenium uptake, translocation, assimilation and metabolic fate in plants. Photosynthesis Research 86: 373-389.

Spadoni M, Voltaggio M, Carcea M, Coni E, Raggi A, Cubadda F (2007). Bioaccessible selenium in Italian agricultural soils: Comparison of the biogeochemical approach with a regression model based on geochemical and pedoclimatic variables. Science of the Total Environment 376: 160-177.

Terry N, Zayed AM, de Souza MP, Tarun AS (2000). Selenium in higher plants. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology 51: 401-432.

Thavarajah D, Ruszkowski J, Vandenberg A (2008). High potential for selenium biofortification of lentils (*Lens culinaris* L.). Journal of Agricultural and Food Chemistry 56: 10747-10753.

Thavarajah D, Abare A, Mapa I, Coyne C, Thavarajah P, Kumar S (2017). Selecting lentil accessions for global selenium biofortification. Plants 6: 34.

Trejo-Téllez LI, Gómez-Merino FC, Alcántar-González G (2012). Elementos benéficos. En: Nutrición de cultivos (Eds. Alcántar-González G y Trejo-Téllez LI), pp. 49-91. México. Colegio de Postgraduados.

Tyszka-Czochara M, Pasko P, Zagrodzki P, Gajdzik E, Wietecha-Posluszny R, Gorinstein S (2016). Selenium supplementation of amaranth sprouts influences betacyanin content and improves anti-inflammatory properties via NF B in Murine RAW 264.7 macrophages. Biological Trace Element Research 169: 320-330.

Van Hoewyk D, Takahashi H, Inoue E, Hess A, Tamaoki M, Pilon-Smits EAH (2008). Transcriptome analyses give insights into selenium-stress responses and selenium tolerance mechanisms in Arabidopsis. Physiologia Plantarum 132: 236-253.

Van Hoewyk D (2013). A tale of two toxicities: Malformed selenoproteins and oxidative stress both contribute to selenium stress in plants. Annals of Botany 112: 965-972.

Wang Q, Yu Y, Li J, Wan Y, Huang Q, Guo Y, Li H (2017). Effects of different forms of selenium fertilizers on Se accumulation, distribution, and residual effect in winter wheat–summer maize rotation system. Journal of Agricultural and Food Chemistry 65: 1116-1123.

Waters BM, Sankaran RP (2011). Moving micronutrients from the soil to the seeds: Genes and physiological processes from a biofortification perspective. Plant Science 180: 562-574.

Watson A, Ghosh S, Williams MJ, Cuddy WS, Simmonds J, Rey M-D, Asyraf Md Hatta M, Hinchliffe A, Steed A, Reynolds D, Adamski NM, Breakspear A, Korolev A, Rayner T, Dixon LE, Riaz A, Martin W, Ryan M, Edwards D, Batley J, Raman H, Carter J, Rogers C, Domoney C, Moore G, Harwood W, Nicholson P, Dieters MJ, DeLacy IH, Zhou J, Uauy C, Boden SA, Park RF, Wulff BBH, Hickey LT (2018). Speed breeding is a powerful tool to accelerate crop research and breeding. Nature Plants 4: 23-29.

White PJ, Bowen HC, Marshall B, Broadley MR (2007). Extraordinarily high leaf selenium to sulfur ratios define 'Se-accumulator' plants. Annals of Botany 100: 111-118.

White PJ (2016). Selenium accumulation by plants. Annals of Botany 117: 217-235.

Zhao FJ, Su YH, Dunham SJ, Rakszegi M, Bedo Z, McGrath SP, Shewry PR (2009). Variation in mineral micronutrient concentrations in grain of wheat lines of diverse origin. Journal of Cereal Science 49: 290-295.

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

Zhu S, Liang Y, Gao D, An X, Kong F (2017a). Spraying foliar selenium fertilizer on quality of table grape (*Vitis vinifera* L.) from different source varieties. Scientia Horticulturae 218: 87-94.

Zhu Z, Chen Y, Shi G, Zhang X (2017b). Selenium delays tomato fruit ripening by inhibiting ethylene biosynthesis and enhancing the antioxidant defense system. Food Chemistry 219: 179-184.

(Aceptado para publicación el 18 de abril de 2018)

Nota técnica

Potencial de los extractos de orégano y cachanilla para el control de hongos fitopatógenos en frutos de tomate

G. Andrade-Bustamante[1], L. Cervantes-Díaz[1], C.E. Aíl-Catzim[1], C.L. Del Toro-Sánchez[3], J. Borboa-Flores[3], P. Preciado-Rangel[2], F.E. Martínez-Ruiz[1] y E. Rueda-Puente[2,*]

[1] Instituto de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma de Baja California, Carretera a Delta, s/n, C.P. 21705, Ejido Nuevo León, Baja California, México
[2] Departamento de Agricultura y Ganadería, Universidad de Sonora, Carretera a Bahía de Kino, Km. 21, C.P. 23000 Sonora, México
[3] Departamento de Investigación y Posgrado en Alimentos, Universidad de Sonora, Blvd. Luis Encinas y Rosales s/n, Col. Centro, C.P. 83000, Hermosillo, Sonora, México

Resumen

La presencia de hongos fitopatógenos en productos hortofrutícolas altera la calidad postcosecha. En el presente trabajo se evaluó el uso de extractos acuosos vegetales de hojas de orégano y cachanilla en dosis de 0,5 y 1,0%, para control de los hongos como *Fusarium* spp., *Aspergillus niger* y *Helminthosporium* spp., en fruto de tomate y sobre placas de agar. Se consideraron tratamientos adicionales, uno a base del fungicida Captan y otro a base de agua pura (controles). Los resultados indican diferencias significativas, arrojando que el orégano y cachanilla en dosis de 0,5 y 1% controlan a *Fusarium* spp., *Aspergillus niger* y *Helminthosporium* sp. En el estudio en placas de agar sobresalió orégano en dosis de 1%; el tratamiento Captan resultó tener efectos similares a los obtenidos por el extracto acuoso de orégano en ambas dosis, en el control de los patógenos en fruto y placa.

Palabras clave: Antagonistas, postcosecha, plantas del desierto.

Abstract
Potential of oregano and cachanilla extracts for the control of phytopathogenic fungi in tomato fruits

The presence of phytopathogenic fungi in horticultural products alters the postharvest quality. In the present work the use of aqueous vegetable extracts of oregano and cachanilla leaves in doses of 0.5 and 1.0% was evaluated, for the control of fungi such as *Fusarium* spp., *Aspergillus niger* and *Helminthosporium* spp., in tomato fruit and on plates of agar. Additional treatments were considered, one based on Captan fungicide and the other in pure water (controls). Results indicate significant differences, showing that oregano and cachanilla in doses of 0.5 and 1% control *Fusarium* spp., *Aspergillus niger* and, *Helminthosporium* sp. With respect to agar plates study, oregano excelled in a dose of 1%; the Captan treatment turned out to have effects similar to those obtained by the aqueous extract of oregano in both doses, in the control of the pathogens in fruit and agar plates.

Keywords: Antagonists, postharvest, desert plants.

* Autor para correspondencia: erueda04@santana.uson.mx
https://doi.org/10.12706/itea.2018.020

Introducción

El cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum*) es uno de los cultivos más importantes en México. Sin embargo, las pérdidas por agentes fitopatógenos en producción y postcosecha llegan a alcanzar hasta un 50% (Peñuelas-Rubio *et al*., 2015). Entre las enfermedades de mayor importancia figuran los hongos *Fusarium* spp, *Aspergillus* spp., *Helminthosporium* spp., *Alternaria* spp., *Botrytis cinerea*, *Cladosporium* spp., *Geotrichum candidum*, *Mucor hiemalis*, *Penicillium* spp., *Rhizopuss tolonifer* y *Trichoderma* spp. (Hernández-Martínez *et al*., 2014). En la comercialización de frutas y hortalizas frescas el control de microorganismos patógenos es de suma importancia (Flores-Bazauri *et al*., 2015) y para ello busca nuevas alternativas sustentables como extractos vegetales y aceites esenciales (Taborda-Andrade *et al*., 2015). El uso de extractos acuosos o aceites esenciales de plantas está teniendo un auge, pues presentan metabolitos secundarios que tienen efectos contra insectos plaga y control enfermedades (Perales-Segovia *et al*., 2015). Existen diversos estudios sobre extractos que se utilizan como repelentes contra insectos (*Rosmarinus officinalis* L., *Mentha piperita* L. y *Salvia offcinalis* L.) que tienen una acción efectiva estudiada sobre microorganismos como *Aspergillus Níger*, *Penicillium Digitatum* y *Penicillium Italicum*, respectivamente (Villa-Martínez *et al*., 2015). El Desierto de Sonora, región que esta al Noroeste de México, presenta una vegetación con un potencial de ser bio-prospeccionada y evaluada para el control de fitopatógenos como son aquellos de postcosecha. El objetivo planteado en el presente estudio consistió en evaluar extractos acuosos de dos especies de plantas silvestres que se desarrollan en el desierto de Sonora; las plantas son el orégano (*Lippia palmeri*) y cachanilla (*Pluchea serícea*) en las dosis de 0,5 y 1%, frente a los hogos fitopatógenos *Fusarium oxysporum*, *Aspergillus niger* y *Helminthosporium* spp., causantes de pudriciones en frutos de tomate en la etapa de cosecha y postcosecha.

Material y métodos

La recolección de frutos de tomate tipo cherry se hizo en el periodo normal de madurez de cosecha. Para la evaluación de plantas silvestres, se obtuvo orégano colectado en las coordenadas de 28°48 16 N 110°34 48 O y Cachanilla a los 32°28 36 N, 114°45 45 W (Hermosillo, Sonora y Mexicali, Baja California, respectivamente). El material vegetal se colectó en bolsas de papel de poliuretano y a una refrigeración de 4 °C. La obtención de extractos fue en oscuridad después de deshidratar hojas. Posteriormente, el material vegetativo se colocó por separado en agua destilada estéril (5gr por litro (0,5%) y 10 gr por litro (1%)) y haber hervido por 1 min; la suspensión de los extractos se filtró por separado en papel Whatman No.1 se colocó en tubos estériles y se mantuvo en refrigeración. Las dosis de cada extracto vegetal utilizadas fueron 0,5 y 1%. Este procedimiento fue realizado el mismo día del montaje para evitar fermentación en la solución preparada (Fajardo *et al*., 2013). Para la inoculación de frutos y evaluación del efecto fungistático con *Aspergillus niger, Fusarium* spp. y *Helminthosporium* spp., los hongos fueron activados durante siete a diez días en medio de cultivo sólido PDA (Agar papa dextrosa) a 30 °C. La concentración de esporas se ajustó a 1 x 10^7 esporas/mL. Se realizó una punción sobre frutos de tomate (50 unidades experimentales por tratamiento), con una profundidad de 3 mm sobre la superficie (Bautista-Baños y Bravo-Luna, 2004). La inoculación de los hongos fue de manera independiente; se colocaron 50 µL de esporas. Una vez inoculado el fruto, se procedió a colocar sobre la punción inoculada 50 µL de los extractos vegetales a evaluar. Los tratamientos fueron expuestos en el interior de una cámara climática con 26 °C y lámpara fluorescente (25 µmol m^{-2} s^{-1}, 400-750 nM) y una humedad relativa de 30%. Al cabo de 15 días, se evaluó en zumo de pulpa el pH; los sólidos solubles totales (°Brix) disueltos en un líquido fue me-

dido con un densitómetro; se evaluó el croma con un medidor de colorimetría CR-400; el porcentaje de pérdida de peso en fruto. Finalmente, el halo de crecimiento (diámetro) en el punto de inoculación generado en el fruto. Los tratamientos a estudiar fueron seis, tal como se describen a continuación: dos extractos de plantas (orégano y cachanilla) en dos concentraciones (0,5 y 1%), fungicida Captan = Ftalimida (2000 mg·L ^{1}) además de un tratamiento control a base de agua. Cada tratamiento constó de 5 repeticiones donde cada lote incluyo 10 frutos, originando 50 unidades experimentales por tratamiento. Para la determinación del efecto en placas de agar de los extractos acuosos sobre el crecimiento micelial de *Aspergillus niger*, *Fusarium* spp. y *Helminthosporium* spp*.,* se utilizó medio agar con extracto y desarrollando la técnica de Bellotti *et al*. (2013), previo a la solidificación del medio, se procedió a agregar el extracto vegetal; las concentraciones vertidas en el medio agar fueron de 0,5 y 1%. Las placas fueron inoculadas en el centro con 50 L de la suspensión de esporas e incubadas a 25 °C; a las 96 hrs se midió el diámetro promedio de la colonia. Con los resultados obtenidos se calculó el porcentaje de inhibición del micelio (PIM*)* como el porcentaje de reducción del diámetro de la colonia respecto al control sin extracto. Para evaluar la actividad fungistática en fruto y la evaluación de porcentaje de inhibición *in vitro* se realizó un análisis estadístico; se aplicó un ANOVA para determinar el efecto de los extractos utilizando la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$) para comparar entre los distintos tratamientos. Se utilizó el programa Statgraphics centurión XV versión 15.2.06. Los valores de porcentaje fueron previamente transformados al arcoseno.

Resultados y discusión

Los resultados en la variable pH indican nula diferencia entre tratamientos evaluados (Tabla 1), los cuales difieren con Wade *et al*. (2003), donde indican que con *Alternaria* y *Fusarium* spp. se puede incrementar el pH hasta 9,0. Sin embargo en el presente estudio, los resultados son semejantes a los de Navarro-López *et al*. (2012), obteniendo pH de 4,17 y 4,59; respectivamente. Con relación a los sólidos solubles (°Brix), los resultados arrojan diferencias significativas entre los tratamientos de *Fusarium* spp., sobresaliendo el extracto de orégano, cachanilla y el Captan. Asimismo, se puede apreciar que, entre dosis de los extractos resalta la de 0,5% para ambas plantas (Tabla 1). Con relación a *Aspergillus niger* y *Helminthosporium* spp, destaca la dosis de 0,5% de los extractos de ambas plantas, aunado al control químico Captan. Barco-Hernández *et al*. (2011), mencionan que en tomates de postcosecha sin ninguna inoculación, el comportamiento normal de los sólidos solubles va en aumento con respecto al día de inicio hasta los 15 días de evaluación, sin embargo, cuando los frutos se exponen a una inoculación y tratamiento-control la fisiología del fruto es modificada reflejándose principalmente en los sólidos solubles. Estudios reportados por Zapata *et al*. (2007), indican que el comportamiento de los °Brix durante diez días tuvo un incremento de 4,1 a 4,6 marcando un gran aumento en los sólidos solubles. Con relación al croma obtenido en frutos, los tratamientos inoculados con *Fusarium* spp. y tratados con extractos a una dosis de 0,5% y el tratamiento Captan, resultaron ser significativos, en comparación la dosis de 1% y el tratamiento control a base de agua. Considerando la inoculación de *A. niger*, la dosis de 0,5% a base de orégano y el fungicida Captan fueron los que resultaron superiores ($P < 0,05$), siguiéndoles en segunda posición la dosis de 0,5% de la planta cachanilla. Con relación a *Helminthosporium* spp., existieron diferencias significativas en la cantidad de croma presente, sobresaliendo el fungicida y la dosis de 0,5% del extracto de orégano (Tabla 1). Estudios relacionados con el croma concuerdan con los obtenidos en el presente estudio (Zapata *et al*., 2007).

Tabla 1. Valores medios (n = XX) medidos sobre zumo de fruto (Grados Brix) y sobre fruto (Croma, pérdida de peso y halo de crecimiento) por el efecto de los distintos tratamientos evaluados. Se presenta la comparación para cada especie de hongo fitopatógeno inoculado (*Fusarium* spp., *Aspergillus niger*, *Helminthosporium* spp). Valores seguidos por la misma letra no son significativamente diferentes a P = 0,05

*Table 1. Mean values (n = XX) measured on the fruit juice (Brix Grades) and on the fruit (Chroma, weight loss and growth halo) by the effect of the different types of treatments evaluated. The comparison is presented for each specie of inoculated phytopathogenic fungus (*Fusarium *spp.,* Aspergillus niger, Helminthosporium *spp.). Values followed by the same letter are not different from P = 0.05*

Tratamientos	pH	Grados Brix*	Croma	Pérdida de peso (%)	Halo de crecimiento en fruto (mm)
Fusarium spp					
Orégano 0,05%	4,5a	6,92a	35,21a	17,21d	0,56b
Orégano 1%	4,4a	6,23b	26,34b	18,19c	0,69b
Cachanilla 0,05%	4,4a	6,92a	35,12a	17,97d	0,65b
Cachanilla	4,5a	6,12bc	26,12b	19,28b	0,68b
Captan	4,3a	6,88a	37,12a	19,23b	0,58b
Control a base de agua	4,5a	5,67d	28,23b	33,12a	101,01a
Aspergillus niger					
Orégano 0,05%	4,5a	6,78a	37,12a	17,23e	0,64b
Orégano 1%	4,4a	6,28b	27,67c	19,09c	0,66b
Cachanilla 0,05%	4,3a	6,87a	35,29b	16,33f	0,65b
Cachanilla 1%	4,4a	6,21b	27,54c	18,34d	0,71b
Captan	4,3a	6,96a	38,02a	20,10b	0,56b
Control a base de agua	4,4a	5,46c	27,21c	36,23a	110,21a
Helminthosporium spp					
Orégano 0,05%	4,5a	6,87a	35,21b	16,77e	0,61b
Orégano 1%	4,4a	6,32b	28,21d	18,22cd	0,69b
Cachanilla 0,05%	4,5a	6,77a	34,12bc	16,39e	0,63b
Cachanilla 1%	4,5a	6,21b	26,21f	19,26b	0,67b
Captan	4,3a	6,89a	38,18a	18,72c	0,51b
Control a base de agua	4,4a	5,76c	27,33de	41,21a	99,96a

*****Sólidos solubles totales. Literales diferentes indican diferencia significativa con P < 0,05. Los valores corresponden a la media de 10 unidades experimentales de 5 repeticiones por tratamiento.

En la variable pérdida de peso (%), se apreció un comportamiento inverso a las dos previas variables (°Brix y croma), destacando el tratamiento control. Los tratamientos que ejercieron una pérdida de peso menor fueron los tratamientos a base de extractos acuoso específicamente las dosis de 0,5% (Tabla 1). Se reporta que el límite en la pérdida de peso del fruto de tomate para su comercialización no debe exceder del 7% de su peso original (Riquelme-Ballesteros, 1999). Sin embargo, el presente estudio con la presencia de hongos fitopatógenos supera el porcentaje de la pérdida de peso; resultados que concuerdan con Navarro-López *et al*. (2012). Por su parte el estudio de González *et al*. (2012), coincide en una pérdida de peso hasta en un 60%; resultado superior al obtenido en el presente estudio.

Con relación a la variable halo de crecimiento (mm), los tratamientos con extractos inhiben el crecimiento hasta en un 100% en comparación de los controles inoculados con los hongos en estudio, éstos resultados concuerdan con Alvarado-Hernández *et al*. (2011), al evaluar aceites esenciales y mezclas de quitosano en heridas de tomate inoculado con *Rhizopus stolonifer*; también concuerdan con Tian *et al*. (2015), al utilizar el perilaldehído (PAE) obtenido de *Perilla frutescens,* y evaluado en tomate cherry con los hongos *Aspergillus* y *Alternaria alternata*.

La inhibición de desarrollo micelial de *Fusarium* sp. fue significativa al aplicar el extracto de orégano, en comparación del extracto de cachanilla. La dosis que sobresale es la concentración 0,05% para orégano (Figura 1), en

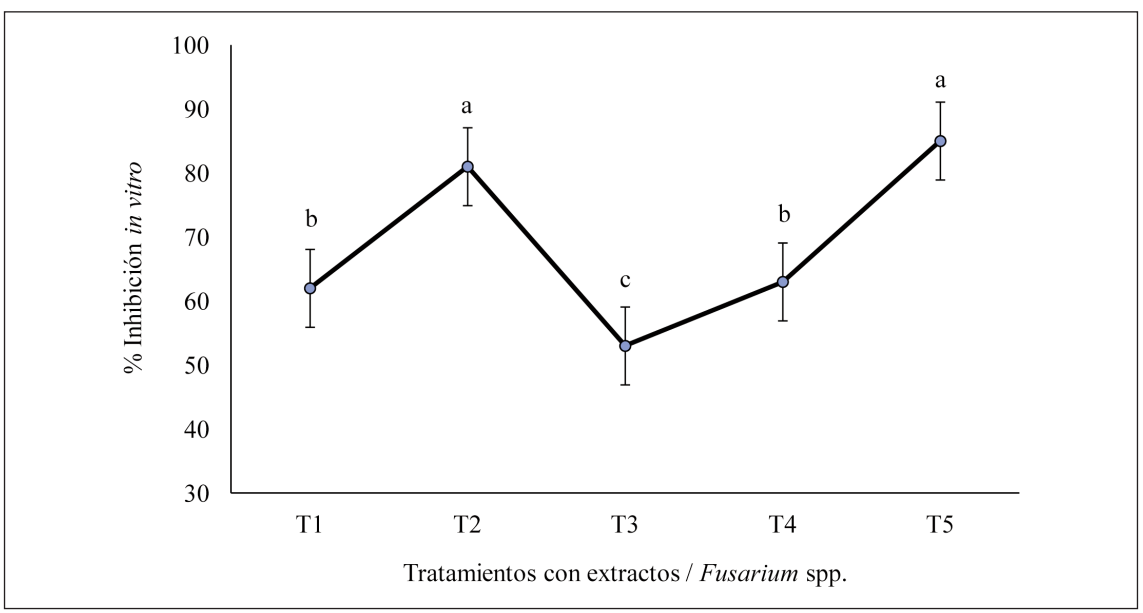


Figura 1. Inhibición en placas de agar (%) de *Fusarium* spp. sobre agar envenenado por los extractos acuosos donde: T1: *Lippia palmeri* (0,5%); T2: *Lippia palmeri* (1,0%); T3: *Pluchea sericea* (0,5%) y T4: *Pluchea sericea* (1,0%); T5: Captan. Literales diferentes indican diferencia significativa con $P < 0,05$. Los valores corresponden a la media de 10 unidades experimentales de 5 repeticiones.
Figure 1. Inhibition on agar plates (%) of Fusarium *spp. on agar poisoned by aqueous extracts where: T1:* Lippia palmeri *(0.5%); T2:* Lippia palmeri *(1.0%); T3:* Plicea sericea *(0.5%) and T4:* Pluchea sericea *(1.0%); T5: Captan. Different literals indicate significant difference with $P < 0.05$. Values correspond to the average of 10 experimental units of 5 repetitions.*

comparación de 1%. Se pudo apreciar que el tratamiento a base del fungicida Captan resalta en la inhibición de crecimiento micelial de *Fusarium* spp. Por su parte, sobre *Aspergillus niger* los tratamientos sobresalientes en la inhibición son con orégano en las dos dosis evaluadas, de 0,5 y 1%, en un 93 y 95%, respectivamente. El extracto acuoso a base de cachanilla figuró con valores no significativos, en ambas concentraciones (Figura 2). Un similar comportamiento fue observado en la evaluación de inhibición de desarrollo micelial con el hongo *Helminthosporium* spp. Los resultados evidencian que con ambos extractos se presentaron diferencias (P < 0,05) (Figura 3). Se pudo apreciar que el tratamiento control a base de agua para cada hongo evaluado en el presente estudio provocó una pudrición del fruto, evitando la manipulación y cuantificación de la variable crecimiento micelial.

Los resultados obtenidos indican que, con el uso de extractos vegetales, una participación de metabolitos secundarios juega un rol importante en la inhibición de los hongos. Arango-Bedoya *et al*. (2015), reportan que entre los componentes mayoritarios como responsables de una actividad inhibitoria figuran el Carvacrol, Timol, *p*-cimeno y cineol 1,8. Silva-Vázquez *et al*. (2015), en condiciones *in vitro*, probaron extractos acuosos y aceite esencial de orégano *vs* el fitopatógeno *Phytophthora infestans*, obteniendo resultados significativos (20,53 µg/ml) en una inhibición en el crecimiento del patógeno de 50% (CE50). Por su parte Martínez (2013), reporta una activi-

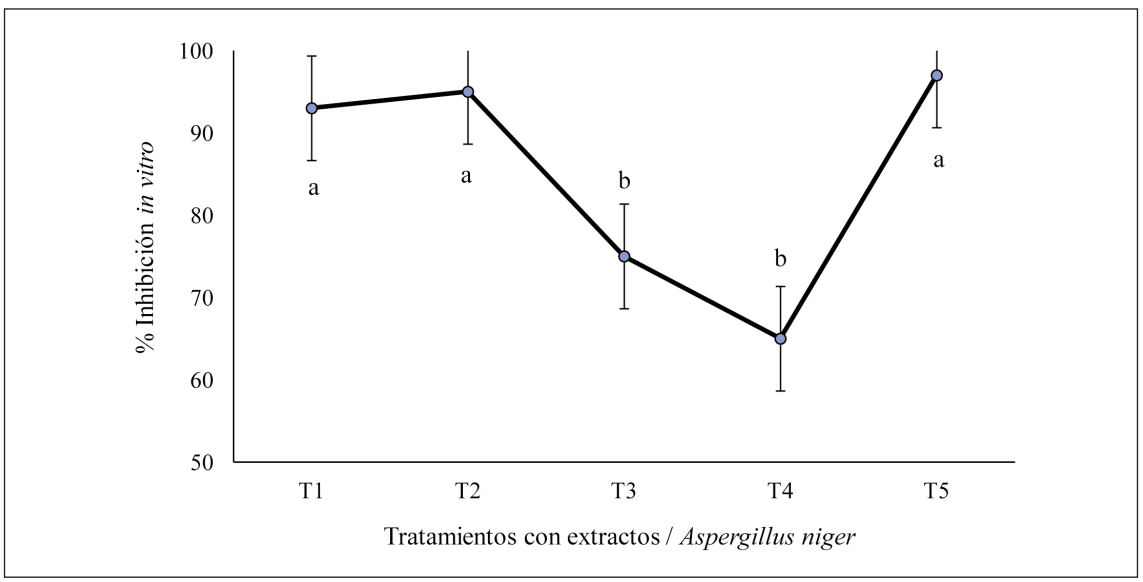


Figura 2. Inhibición en placas de agar (%) de *Aspergillus niger* sobre agar envenenado por los extractos acuosos donde T1: *Lippia palmeri* (0,5%); T2: *Lippia palmeri* (1,0%); T3: *Pluchea sericea* (0,5%) y T4: *Pluchea sericea* (1,0%); T5: Captan. Literales diferentes indican diferencia significativa con P < 0,05. Los valores corresponden a la media de 10 unidades experimentales de 5 repeticiones.
Figure 2. Inhibition on agar plates (%) of Aspergillus niger *on agar poisoned by aqueous extracts where T1:* Lippia palmeri *(0.5%); T2:* Lippia palmeri *(1.0%); T3:* Plicea sericea *(0.5%) and T4:* Pluchea sericea *(1.0%); T5: Captan. Different literals indicate significant difference with P < 0.05. Values correspond to the average of 10 experimental units of 5 repetitions.*

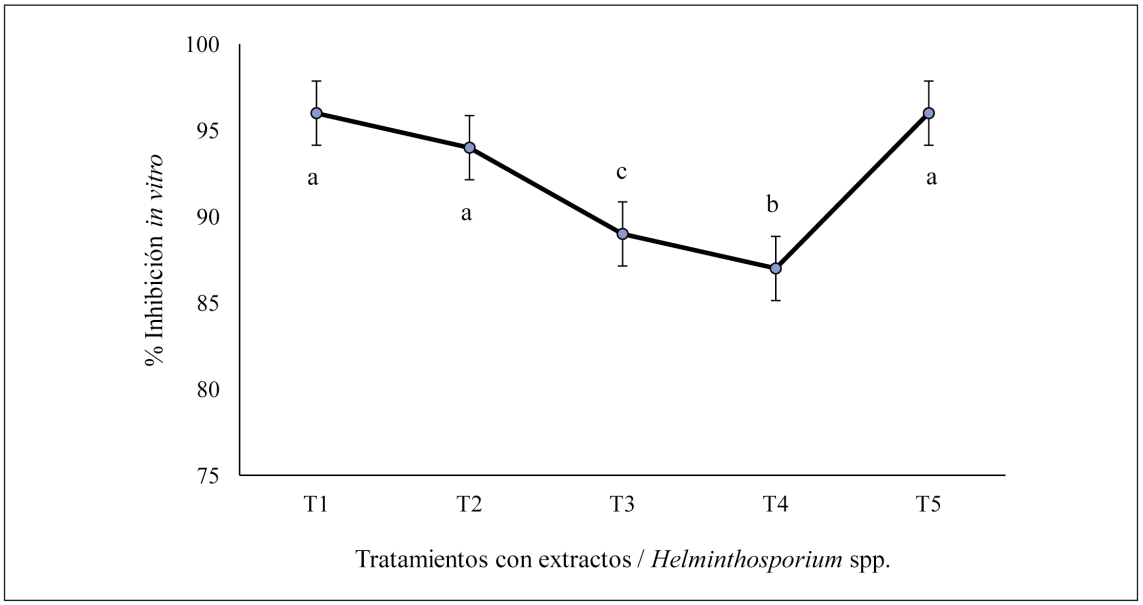


Figura 3. Inhibición en placas de agar (%) de *Helminthosporium* spp. sobre agar envenenado por los extractos acuosos donde: T1: *Lippia palmeri* (0,5%); T2: *Lippia palmeri* (1,0%); T3: *Pluchea sericea* (0,5%) y T4: *Pluchea sericea* (1,0%); T5: Captan. Literales diferentes indican diferencia significativa con $P < 0,05$. Los valores corresponden a la media de 10 unidades experimentales de 5 repeticiones.
Figure 3. Inhibition on agar plates (%) of Helminthosporium *spp. on agar poisoned by aqueous extracts where: T1:* Lippia palmeri *(0.5%); T2:* Lippia palmeri *(1.0%); T3:* Plicea sericea *(0.5%) and T4:* Pluchea sericea *(1.0%); T5: Captan. Different literals indicate significant difference with $P < 0.05$. Values correspond to the average of 10 experimental units of 5 repetitions.*

dad antimicrobiana de aceites esenciales de orégano contra cuatro bacterias Gram-positivas y seis bacterias Gram-negativas; los resultados de estos autores muestran una mayor actividad contra *Escherichia coli* O157:H7 y *Staphylococcus aureus*, bacterias importantes que se encuentran afectando la salud humana y reportadas en productos hortofrutícolas. La efectividad del fungicida Captan puede deberse a la solubilidad y su capacidad de difusión, efecto que ya ha sido mencionado por otros autores como un factor a tomar en cuenta al realizar diferentes pruebas de sensibilidad a los plaguicidas (Gaviria-Hernández *et al.,* 2013).

Conclusiones

Los resultados obtenidos en el presente estudio demuestran que el uso de extractos vegetales de orégano y cachanilla, procedentes de ambientes desérticos como es el de Sonora, reducen significativamente el desarrollo de los hongos *Fusarium* spp.*, Aspergillus niger* y *Helminthosporium* spp. en frutos de tomate. La dosis sobresaliente es la de 0,5% aplicando extracto de orégano y cachanilla. Sin embargo, el efecto inhibitorio micelial la dosis sobresaliente es la de 1,0%, y a base de orégano. Se recomienda realizar estudios bajo las condiciones que el agroproductor tiene en el campo al momento de la cosecha.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología en México, por otorgarme la beca doctoral, la cual fue indispensable para la realización de este trabajo. A la Universidad Autónoma de Baja California (UABC), en especial al Instituto de Ciencias Agrícolas (ICA-UABC), por la infraestructura proporcionada para la realización de la investigación.

Bibliografía

Alvarado-Hernández A, Barrera-Necha L, Hernández-Lauzardo A, Velázquez-del Valle M (2011). Actividad antifúngica del quitosano y aceites esenciales sobre *Rhizopus stolonifer* (Ehrenb.: Fr.) Vuill., agente causal de la pudrición blanda del tomate. Revista Colombiana de Biotecnología 13(2): 127-134.

Arango-Bedoya O, Hurtado-Benavides A, Pantoja-Daza D, Santacruz-Chazatar L (2015). Actividad inhibitoria del aceite esencial de *Lippia origanoides* HBK sobre el crecimiento de *Phytophthora infestans*. Acta Agronómica 64(2): 116-124.

Barco-Hernández P, Burbano-Delgado A, Mosquera-Sánchez S, Villada-Castillo H, Navia-Porras D (2011). Efecto del recubrimiento a base de almidón de yuca modificado sobre la maduración del tomate. Revista Lasallista de Investigación, 8(2): 96-103.

Bellotti N, Bogdan S, Deyá C, Del Amo B, Romagnoli R (2013). Evaluación de extractos vegetales como agentes antifúngicos para pinturas. 3er Congreso Iberoamericano y XI Jornada Técnicas de Restauración y Conservación del Patrimonio, 16-18 de octubre, La Plata, Argentina. 3(14): 1-7.

Fajardo M, González-Jaimes E, Castaño H (2013). Estudio de extractos vegetales en la inhibición de la liberación de zoosporas de *Spongospora subterranea* f. sp. *subterranea*. Revista Politécnica 9(17): 113-121.

Flores-Bazauri W, Chico-Ruíz J, Cerna-Rebaza L (2015). Actividad antagónica *in vitro* de *Clonostachys rosea* sobre *Fusarium oxysporum*, *Alternaria solani* y *Botrytis cinerea*. Revista Rebiol 35(1): 34-42.

Gaviria-Hernández V, Patiño-Hoyos L, Saldarriaga-Cardona A (2013). Evaluación *in vitro* de fungicidas comerciales para el control de *Colletotrichum* spp., en mora de castilla. Revista Corpoica: Ciencia y Tecnología Agropecuaria 14(1): 67-75.

González I, Arias Y, Peteira B (2012). Aspectos generales de la interacción *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*-tomate. Revista de Protección Vegetal 27(1): 1-7.

Hernández-Martínez R, López-Benítez A, Borrego-Escalante F, Espinoza-Velázquez J, Sánchez-Aspeytia D, Maldonado-Mendoza I, López-Ochoa L (2014). Razas de *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* en predios tomateros en San Luis Potosí. Revista mexicana de ciencias agrícolas 5(7): 1169-1178.

Martínez P (2013). Evaluación del poder antifúngico de los extractos de romero, menta y salvia sobre hongos que atacan a las naranjas. Revista sobre Estudios e Investigaciones del Saber Académico 7(7): 28-32.

Navarro-López E, Nieto-Ángel R, Corrales-García J, García-Mateos M, Ramírez-Arias A (2012). Calidad poscosecha en frutos de tomate hidropónico producidos con agua residual y de pozo. Revista Chapingo Serie Horticultura 18(3): 263-277.

Peñuelas-Rubio O, Arellano-Gil M, Vargas-Arispuro I, Lares-Villa F, Cantú-Soto E, Hernández-Rodríguez S, Gutiérrez-Coronado M, Mungarro-Ibarra C (2015). Bioactividad *in vitro* de extractos de gobernadora (*Larrea tridentata*) sobre la inhibición de hongos poscosecha: *Alternaria tenuissima*, *Aspergillus niger*, *Penicillium polonicum* y *Rhizopus oryzae*. Polibotánica (40): 183-198.

Perales-Segovia C, Bocanegra-García J, Carrillo-Rodríguez J, Chávez-Servía J, Silos-Espino H, Aguilar-Ojeda L, Tafoya-Rangel F (2015). Efecto de extractos vegetales en mosquita blanca bajo dos esquemas de aplicación. Revista Mexicana de Agroecosistemas 2(1): 1-7.

Riquelme-Ballesteros F (1999). Poscosecha del tomate para consumo en fresco. En: El Cultivo del Tomate. (Ed. Nuez F), pp. 589-623. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España.

Silva-Vázquez R, Durán-Meléndez L, Santellano-Estrada E, Rodríguez-Muela C, Villalobos-Villalobos G, Méndez-Zamora G, Hume M (2015). Performance of broiler chickens supplemented with Mexican oregano oil (*Lippia berlandieri* Schauer). Revista Brasileira de Zootecnia 44(8): 283-289.

Taborda-Andrade L, Sánchez-Orozco M, Bonilla-Correa C, Huertas-Davey C (2015). Efecto fungistático de extractos y aceites esenciales de *Lippia ori-ganoides* HBK y *Thymus vulgaris* L. como alternativas de manejo de *Botrytis cinerea* en fresa. Acta Agronómica 64(1): 93-99.

Tian J, Zeng X, Lü A, Zhu A, Peng X, Wang Y (2015). Perillaldehyde, a potential preservative agent in foods: Assessment of antifungal activity against microbial spoilage of cherry tomatoes. LWT-Food Science and Technology 60(1): 63-70.

Villa-Martínez A, Pérez-Leal R, Morales-Morales H, Basurto-Sotelo M, Soto-Parra J, Martínez-Escudero E (2015). Situación actual en el control de *Fusarium* spp. y evaluación de la actividad antifúngica de extractos vegetales. Acta Agronómica 64(2): 194-205.

Wade W, Vasdinnyei R, Deak T, Beuchat L (2003). Proteolytic yeasts isolated from raw, ripe tomatoes and metabiotic association of *Geotrichum candidum* with *Salmonella*. International Journal of Food Microbiology 86(1-2): 101-111.

Zapata L, Gerard L, Davies C, Oliva L, Schvab M (2007). Correlación matemática de índices de color del tomate con parámetros texturales y concentración de carotenoides. Ciencia, docencia y tecnología (34): 207-226.

(Aceptado para publicación el 29 de agosto de 2018)

Efecto de la inclusión de ensilado de haba forrajera en la dieta de vacuno lechero sobre la ingestión voluntaria y la producción y composición de la leche

S. Baizán[1], F. Vicente[1], N. Barhoumi[1], I. Feito[2], L. Rodríguez[2] y A. Martínez-Fernández[1,*]

[1] Área de Nutrición, Pastos y Forrajes. Servicio de Investigación y Desarrollo Agroalimentario (SERIDA). 33300. Villaviciosa (Asturias), España

[2] Programa de Investigación Forestal. Servicio de Investigación y Desarrollo Agroalimentario (SERIDA). Finca Experimental La Mata. 33825. Grado (Asturias), España

Resumen

Se cuantificó el contenido de compuestos secundarios (fenoles totales y taninos condensados) del haba en monocultivo, del raigrás italiano en monocultivo y del intercultivo de haba y raigrás, desde forraje verde hasta su inclusión como ensilado en raciones *unifeed* para vacas lecheras. Se evaluó el efecto de la inclusión de estos ensilados sobre la ingestión voluntaria y sobre la producción y composición química de leche. Para ello, se asignaron al azar 3 raciones *unifeed* formuladas con ensilado de haba (60% de la materia seca de la ración), raigrás italiano (46%) e intercultivo haba-raigrás (52%), a 9 vacas frisonas distribuidas en 3 grupos siguiendo un diseño en cuadrado latino de 3 x 3. El haba en monocultivo fue el forraje más rico en compuestos secundarios. La concentración de dichos compuestos disminuyó con los procesos de prehenificado y ensilado y se diluyó en la ración con la inclusión de nuevos ingredientes hasta no mostrar diferencias significativas entre dietas. Los valores de ingestión de materia seca de raciones no presentaron diferencias significativas entre dietas (10,29; 10,24 y 10,78 kg de materia seca d^{-1} para haba, intercultivo de haba-raigrás y raigrás italiano respectivamente). Se observaron diferencias estadísticas en la producción de leche en beneficio de las vacas alimentadas con raciones a base del ensilado de raigrás italiano ($P<0,001$). La presencia de haba en la ración mejoró significativamente la composición en grasa y proteína de la leche, de manera que al corregir la producción de leche por grasa se anularon las diferencias entre dietas. La presencia de haba en la ración indujo un mayor contenido en urea de la leche.

Palabras clave: Leguminosas, fenoles totales, taninos condensados, producción láctea.

Abstract

Effect of faba bean silage in dairy cow diets on voluntary intake, milk production and composition of milk

The content of secondary compounds (total phenols and condensed tannins) of monocultures of faba bean and Italian ryegrass and faba-ryegras intercrop, from fresh forage to silage and their later inclusion in unifeed rations for dairy cows was measured. The effects of these silages on voluntary intake, dairy production and milk chemical composition were evaluated. For this purpose, three unifeed rations

* Autor para correspondencia: admartinez@serida.org

https://doi.org/10.12706/itea.2018.021

were formulated with faba bean (60% of the ration dry matter), Italian ryegrass (46%) or faba-ryegras intercrop (52%) silages, and were randomly assigned to 9 Holstein-Friesian cows divided into 3 groups following a 3 x 3 Latin square design. The faba bean monoculture was the forage with the highest content in secondary compounds. The concentration of these compounds decreased through the wilting and silage processes, and their content was diluted in the ration with the inclusion of new ingredients promoting no significant differences among diets. The dry matter intake of unifeed rations did not show significant differences among diets (10.29, 10.24 and 10.78 kg dry matter d^{-1} for faba bean, faba-ryegras intercrop and Italian ryegrass respectively). Statistical differences were observed in milk production with the highest values for cows fed rations based on Italian ryegrass silage ($P<0.001$). The presence of faba bean in the ration improved significantly the milk fat and protein proportion, so, after correcting milk production by fat the differences between diets disappeared. The presence of faba bean in the rations induced higher urea content in milk.

Keywords: Legumes, total phenols, condensed tannins, dairy production.

Introducción

El sector agrícola se enfrenta al desafío de aumentar su producción para suplir la creciente demanda de alimentos, al tiempo que debe ser más eficiente en el uso de los recursos naturales, adaptarse a los nuevos patrones climáticos y hacer una contribución positiva al medio ambiente y la sociedad. Las explotaciones agrarias deben afrontar esta nueva realidad y cambiar sus prácticas agrícolas habituales por otras más sostenibles, ya que según afirma García-Azcárate (2011), "no hay contradicción entre agricultura sostenible y agricultura competitiva, simplemente porque si la agricultura no es sostenible, simplemente no será".

El manejo tradicional utilizado en las explotaciones lecheras de la Cornisa Cantábrica para intensificar la producción forrajera consiste en una rotación anual de dos cultivos (raigrás italiano y maíz forrajero). Esta rotación forrajera es altamente productiva pero no cumple con los requerimientos actuales orientados hacia una agricultura más sostenible, ya que constituye un abuso de gramíneas, es muy exigente en abonos nitrogenados y, repetida de forma continuada, tiene un efecto negativo sobre la fertilidad del suelo (Jiménez-Calderón *et al*., 2018). La sustitución del maíz como cultivo de verano es difícil por su elevada rentabilidad (Martínez-Fernández *et al.,* 2011), por lo que es preciso buscar nuevos cultivos de invierno que puedan sustituir al raigrás italiano.

Baizán *et al*. (2015) indican que cultivos multifuncionales como las leguminosas forrajeras (haba, altramuz y trébol violeta) se presentan como una gran oportunidad para solventar estos desafíos agronómicos y ambientales, destacando el haba forrajera, tanto en monocultivo como asociada con raigrás italiano, como una alternativa invernal sostenible al raigrás italiano en las condiciones edafoclimáticas de la Cornisa Cantábrica, debido a su elevado rendimiento, su alto contenido en proteína, por mejorar el perfil edáfico (Baizán *et al.,* 2017) y no requerir aporte complementario de nitrógeno en primavera.

Revisiones bibliográficas como las de Lüscher *et al.* (2014) y Preissel *et al.* (2015) describen también el potencial de las leguminosas, destacando propiedades como la menor dependencia de fertilizantes nitrogenados, menores emisiones de gases de efecto invernadero y nitratos, y mayor autosuficiencia proteica en la explotación agroganadera, lo que permitiría ayudar a los agricultores a reducir costes y a proteger el medio ambiente. Jiménez-Calderón *et al.* (2018) corroboran estos resultados

con un intercultivo de haba y colza. Sin embargo, Jiménez-Calderón (2017), observó una reducción significativa en la ingestión voluntaria en vacuno lechero con las dietas formuladas con ensilado de este intercultivo, que achacó a la presencia de glucosinolatos en la colza o de compuestos secundarios en el haba.

Los compuestos secundarios presentes en las leguminosas, aunque en el pasado fueron considerados como antinutricionales, pueden tener efectos beneficiosos en la alimentación de rumiantes, al inhibir la oxidación de las grasas y mejorar la utilización de las proteínas de la dieta, incrementando así la eficiencia de producción de carne, lana y leche (Mueller-Harvey, 2006; Waghorn, 2008). Además, pueden afectar positivamente a la sanidad de los rumiantes cuando son utilizados como alternativas antiparasitarias (Frutos *et al*., 2008) y pueden actuar como reductores de la emisión de ciertos contaminantes como nitrógeno y metano (Baumont *et al.,* 2016). Por otro lado, Copani *et al.* (2014) señalan que los taninos tienen un efecto positivo en la calidad del ensilado, al limitar la degradabilidad de la proteína mejorando eficazmente el valor de nitrógeno del ensilado e incrementando la fermentación láctica en el silo.

La concentración y composición de compuestos secundarios dependen de la especie vegetal, variedad, órgano de la planta, estación del año y método de conservación (Lüscher *et al.,* 2014). Dentro de este grupo de compuestos, los más habituales son los taninos condensados, compuestos polifenólicos presentes en las plantas que desempeñan un papel de defensa contra herbívoros y patógenos. Sin embargo, algunos autores indican que una concentración elevada de taninos condensados en la dieta (> 50 g kg^{-1} de materia seca –MS–) causa una menor ingesta de alimento debido a su efecto astringente (Min *et al*., 2003; Frutos *et al.,* 2004).

El contenido medio en taninos condensados en el haba es muy variable, desde 5 a 56,4 g kg^{-1} MS (Vilariño *et al*., 2009; Molina-Alcaide, 2016). Sin embargo, es importante señalar que los contenidos de estos compuestos deben ser interpretados con precaución, ya que el uso de diferentes metodologías de análisis y de diferentes estándares (quebracho, ácido tánico, catequina, cianidina, delfinidina, estándar interno de la propia planta, etc.) pueden dar lugar a resultados muy diferentes y por ello muy equívocos (Frutos *et al.,* 2004).

Por todo lo expuesto, se considera que el haba forrajera es una alternativa al raigrás italiano en cuanto a rendimiento y suficiencia proteica, además de por sus múltiples servicios ecosistémicos. Sin embargo, al ser una leguminosa con presencia de compuestos secundarios, antes de recomendar este cultivo a los ganaderos para que lo integren en sus explotaciones es necesario comprobar su efecto sobre la ingestión, así como sobre la producción y composición de la leche.

Por consiguiente, los objetivos de este trabajo fueron dos. En primer lugar, caracterizar el contenido en fenoles totales y taninos condensados del haba forrajera en monocultivo o asociada con raigrás italiano, desde forraje verde hasta el ensilado, así como de las raciones *unifeed* que incluyan a éste último y, en segundo lugar, evaluar si el contenido de estos compuestos afecta a la ingestión y a la producción y composición de la leche.

Material y métodos

Ensayo agronómico: cultivos forrajeros y ensilados

El ensayo se llevó a cabo en la finca experimental del SERIDA de Villaviciosa (43° 28′ 20″ N, 5° 26′ 10″ O; 10 msnm) en Asturias (España). Se utilizó una superficie de tres hectáreas sin irrigación, dividida en tres parcelas colindantes, con un suelo de textura franco-arenosa (75,77% arena – 13,48% limo –

10,76% arcilla). Se realizó un abonado de fondo previo a la siembra, de acuerdo con los resultados del análisis del suelo, siguiendo las recomendaciones de Martínez-Fernández y Argamentería-Gutiérrez (2013) para un suelo de fertilidad media, incorporando 60 unidades fertilizantes (UF) de N, 60 UF de P_2O_5 y 130 UF de K_2O. Las parcelas se sembraron (30/10/2015) con un monocultivo de haba forrajera (HB, *Vicia faba,* L., cv. 'Prothabon 101' a 150 kg ha^{-1}), un monocultivo de raigrás italiano (RI, *Lolium multiflorum*, Lam., cv. 'Barextra' a 50 kg ha^{-1}), y un intercultivo de haba y raigrás (HBRI) con una dosis de siembra de 75+25 kg ha^{-1} respectivamente. En la parcela de RI se realizaron dos cortes para ensilar en la primavera de 2016 (el 13 de abril y 30 de mayo) cuando el RI se encontraba en estado fenológico de pre-espigado. Tras el primer corte para ensilar, se añadieron 60 UF complementarias de N en cobertera. En el monocultivo de HB y el intercultivo HBRI no se utilizó N complementario de cobertera para aprovechar la capacidad de fijar N atmosférico de la leguminosa, y ambas parcelas se aprovecharon en un único corte el 21 de abril de 2016 con las habas en estado de floración. Tras un periodo de prehenificado de 24 horas sobre el terreno, para que la materia seca del forraje estuviera en torno a un 25% y asegurar una correcta fermentación, los forrajes (HB, RI y HBRI) fueron ensilados en forma de rotopacas. Se tomaron muestras de los forrajes en verde en el momento de la cosecha, tras la prehenificación y posteriormente de los correspondientes ensilados para la determinación de principios nutritivos, compuestos secundarios (taninos condensados y fenoles totales) y estimación del aporte energético de cada cultivo.

Ensayo de alimentación

Los ensilados de HB, primer corte de RI y HBRI se utilizaron en un ensayo de alimentación de vacuno lechero realizado entre el 10 de octubre y el 7 de diciembre de 2016, bajo las condiciones establecidas en el Real Decreto 53/2013 de protección de animales utilizados en experimentación. Se utilizaron 9 vacas frisonas, distribuidas al azar en 3 grupos, en un diseño en cuadrado latino de 3 tratamientos x 3 períodos. Al inicio del experimento, las vacas se encontraban en el segundo tercio de lactación con un peso vivo promedio de 664 (± 61,9) kg y una producción media de leche diaria de 36,3 (± 5,01) kg. Cada periodo de ensayo constaba de 21 días, incluyendo 14 días de adaptación a la dieta y 7 de control de la ingestión y de la producción de leche, y de toma de muestras de las raciones y de la leche. Los tratamientos consistieron en 3 raciones *unifeed* formuladas con los ensilados en estudio junto con paja de cebada y concentrado (Tabla 1).

Las raciones fueron ofertadas *ad libitum* en pesebre como complemento a un pastoreo diario de 18 horas en praderas polifitas. En el momento del ordeño, las vacas recibían un concentrado suplementario ofertado en función de la producción de leche. Al inicio de cada periodo de muestreo, se realizó un control de producción de la parcela de pastoreo para determinar la disponibilidad de pasto. El consumo de las raciones *unifeed* fue registrado mediante un sistema de monitorización de ingestión voluntaria y el consumo de concentrado en ordeño mediante un dispensador de pienso instalado en el robot de ordeño. La ingestión de hierba en pastoreo se estimó según el método de rendimiento animal propuesto por Macoon *et al.* (2003). Se tomaron muestras diarias de cada una de las raciones *unifeed*, y semanales de la hierba durante el pastoreo y del concentrado en ordeño. La producción de leche se registró en los ordeños de mañana y tarde, muestreando la leche tres veces por semana en días alternos en ambos ordeños mediante un muestreador automático acoplado al robot de ordeño.

Tabla 1. Cantidades de ingredientes (% MS), composición química (% MS) y contenido en energía metabolizable (MJ kg^{-1} MS) de las diferentes raciones *unifeed* ofertadas en el ensayo de alimentación
Table 1. Ingredient content (% DM), chemical composition (% DM) and metabolizable energy content (MJ kg^{-1} DM) of unifeed rations offered in the feeding trial

	RI[1]	HBRI[2]	HB[3]
Ingredientes (% MS)			
Ensilado de raigrás italiano	45,91	–	–
Ensilado de haba + raigrás italiano	–	52,37	–
Ensilado de haba	–	–	60,46
Paja de cebada	5,66	4,71	4,14
Concentrado[4]	48,43	42,92	35,40
Composición química (% MS)			
Materia seca	29,87	30,61	35,07
Materia orgánica	87,84	88,97	89,38
Proteína bruta	14,75	15,40	14,63
Extracto etéreo	4,55	4,08	3,52
Fibra bruta	20,53	26,19	27,52
Fibra neutro detergente	41,81	47,55	48,94
Fibra ácido detergente	23,87	27,72	28,91
Energía metabolizable *(MJ kg^{-1} MS)*	10,03	9,33	9,32

[1]Monocultivo de raigrás italiano de primer corte; [2]Intercultivo haba forrajera-raigrás italiano (60% - 40%); [3]Haba forrajera en monocultivo; [4]Copos de maíz termoaplastados (44%); harina de extracción de soja tostada (34%); maíz (4,73%); pulpa de remolacha azucarera (6,21%); sales de ácidos grasos de palma (2,63%); cebada (2,20%); semilla de algodón (2,20%); bicarbonato de sodio (1,85%); carbonato de calcio (0,70%); cloruro de sodio (0,66%); fosfato bicálcico (0,62%); corrector vitamínico mineral (0,20%).

Determinaciones analíticas

El valor nutritivo de los forrajes verdes y prehenificados, de sus correspondientes ensilados y de las raciones *unifeed* ensayadas fue determinado en el Laboratorio de Nutrición del SERIDA, acreditado por la Entidad Nacional de Acreditación (ENAC, Expediente LE/930) conforme a los criterios recogidos en la norma UNE-EN-ISO/IEC 17025. Las muestras fueron secadas a 60ºC durante 24 h (de la Roza-Delgado *et al.,* 2002) y molidas a un tamaño de partícula de 0,75 mm para su análisis de materia seca, cenizas, proteína bruta, extracto etéreo, fibra bruta, fibra neutro detergente y fibra ácido detergente mediante espectroscopía del infrarrojo cercano (NIR) (FOSS NIRSystem 5000, Silver Spring, MD, USA). La digestibilidad de la materia orgánica se estimó según Riveros y Argamentería (1987) a partir de la digestibilidad enzimática de la materia orgánica, estimada por NIR, y de los

contenidos de proteína bruta y fibra neutro detergente. La energía metabolizable (EM) se estimó tomando el valor promedio de la EM calculada por las ecuaciones propuestas por el Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries (MAFF, 1984) y el Agricultural Development and Advisory Service (ADAS, 1985) a partir de la materia orgánica digestible (MOD) en los forrajes y de la materia orgánica, proteína bruta, extracto etéreo, fibra bruta y extractos libres de nitrógeno en las mezclas *unifeed*.

La determinación del contenido en compuestos secundarios (fenoles totales y taninos condensados) de los forrajes (frescos, prehenificados y ensilados) y sus correspondientes raciones *unifeed* se realizó en el laboratorio del Centro Tecnológico Forestal y de la Madera (CETEMAS, Carbayín-Siero, Asturias). No se llevó a cabo la determinación de estos compuestos en el pasto debido a que la composición botánica de éste incluye más de un 60% de *Lolium perenne*, *Bromus* spp. y *Agrostis* spp., especies con escasa o nula presencia de fenoles totales y taninos. Los extractos para la cuantificación de compuestos fenólicos se obtuvieron, según el protocolo descrito por Sanz *et al*. (2010), partiendo de 1 g de muestra liofilizada y molida en nitrógeno líquido, a la que se añadieron 100 mL de metanol: agua (50:50, v/v). La determinación de fenoles totales se realizó utilizando una modificación del método de Folin-Ciocalteu (Organización Internacional de la Viña y el Vino, 2011) para adaptar los volúmenes a una microplaca de 96 pocillos. En cada pocillo se adicionaron 10 µL de muestra, 215 µL de H_2O, 15 µL de reactivo de Folin-Ciocalteu (Sigma-Aldrich Inc., St Louis, MO, USA) y 60 µL de Na_2CO_3 (20%, m/v). En cada placa se incluyó un blanco (metanol) y una curva patrón de ácido gálico (0,0125 - 0,6 mg mL^{-1}) (Sigma-Aldrich Inc., St Louis, MO, USA). Tras agitar e incubar 30 min a 25ºC se realizó la lectura espectrofotométrica a 750 nm. Los resultados fueron expresados como mg equivalentes de ácido gálico por gramo de materia seca (mg EAG g^{-1} MS). La cuantificación de taninos condensados se realizó según el método de Sun *et al.* (1998) mediante el ensayo de la vainillina. Este método se modificó para adaptar los volúmenes a una microplaca de 96 pocillos. En cada pocillo se adicionaron 50 µL de muestra, 125 µL de vainillina 1% (m/v, en metanol) y 125 µL de H_2SO_4 25% (v/v, en metanol). En cada placa se incluyó un blanco (metanol) y una curva patrón de (+)- Catequina hidratada (0,015 - 0,5 mg mL^{-1}) (Sigma-Aldrich Inc., St Louis, MO, USA). Tras agitar e incubar 15 min a 30ºC se realizó la lectura espectrofotométrica a 500 nm. Los resultados fueron expresados como mg equivalentes de (+)- Catequina por gramo de materia seca (mg EC g^{-1} MS).

El consumo de fenoles totales y taninos condensados (g $día^{-1}$) se estimó multiplicando el contenido de estos compuestos presentes en las raciones *unifeed* por la cantidad de MS de la ración ingerida.

El análisis en nutrientes de la leche se realizó en el Laboratorio interprofesional lechero y agroalimentario de Asturias (LILA, Llanera, Asturias) mediante equipos de reflectancia de infrarrojo medio FTIR acreditados por ENAC (Expediente LE/476). La cantidad de leche individual producida diariamente fue corregida por el 4% de grasa.

Análisis estadístico

Todos los resultados fueron analizados mediante el software estadístico R (R Core Team, 2016). Los resultados de fenoles totales y taninos condensados, así como la composición química de los forrajes (verdes y prehenificados), de sus correspondientes ensilados y de las raciones *unifeed* fueron contrastados mediante un análisis de varianza utilizando el tipo de forraje y el método de conservación como factores principales. Para la ingestión voluntaria y producción de leche se realizó un análisis de varianza considerando el tipo de forraje y período como efectos fijos y la vaca como efecto aleatorio.

Resultados

En la Tabla 2 se muestra el contenido en proteína bruta (PB), materia orgánica digestible (MOD) y energía metabolizable (EM) de los forrajes en verde, prehenificados y ensilados, y de las raciones elaboradas con dichos ensilados. El mayor aporte proteico corresponde al monocultivo de HB, mientras que el RI es el forraje con mayor contenido en MOD y EM. Tras la elaboración de las raciones, el contenido en PB se iguala (P>0,05), ya que di-

Tabla 2. Contenido en proteína bruta (% PB), materia orgánica digestible (% MOD) y energía metabolizable (EM, MJ kg^{-1} MS) en el forraje verde en corte directo, prehenificado, ensilado y en las raciones *unifeed* elaboradas a partir de los ensilados de los forrajes ensayados (los resultados se expresan referidos a materia seca)

Table 2. Crude protein content (% CP), organic matter digestibility (% OMD) and metabolizable energy (ME, MJ kg^{-1} DM) in fresh forage, wilted forage, silage and unifeed rations elaborated with the silages of tested forages (results expressed on dry matter basis)

	RI[1]	HBRI[2]	HB[3]	e.e.m.[4]	P
Proteína bruta (% PB)					
Forraje verde	8,50$^{a\ A}$	10,83$^{ab\ A}$	11,99$^{b\ A}$	1,135	*
Forraje prehenificado	8,53$^{a\ A}$	10,02$^{ab\ A}$	12,58$^{b\ AB}$	1,008	**
Forraje ensilado	11,24$^{a\ A}$	12,34$^{ab\ AB}$	13,41$^{b\ AB}$	0,561	**
Raciones *unifeed*	14,75^{B}	15,40^{B}	14,63^{B}	0,946	NS
e.e.m.[4]	0,855	0,894	1,039		
P	***	***	*		
Materia orgánica digestible (% MOD)					
Forraje verde	75,52^{c}	67,10$^{b\ B}$	49,80^{a}	1,741	***
Forraje prehenificado	71,08^{b}	64,76$^{b\ B}$	46,16^{a}	2,938	***
Forraje ensilado	73,29^{b}	55,55$^{a\ A}$	54,39^{a}	3,338	***
Raciones *unifeed*	ND[5]	ND	ND		
e.e.m.[4]	1,967	2,685	3,425		
P	NS	**	NS		
Energía metabolizable (EM, MJ kg^{-1} MS)					
Forraje verde	12,08$^{c\ C}$	10,70$^{b\ A}$	7,39$^{a\ A}$	1,135	***
Forraje prehenificado	11,37$^{b\ B}$	10,36$^{b\ A}$	7,39$^{a\ A}$	1,008	***
Forraje ensilado	11,73$^{b\ BC}$	8,89$^{a\ B}$	8,70$^{a\ B}$	0,561	***
Raciones *unified*	10,03$^{b\ A}$	9,33$^{a\ B}$	9,32$^{a\ B}$	0,946	**
e.e.m.[4]	0,261	0,362	0,493		
P	***	***	***		

[1]Monocultivo de raigrás italiano de primer corte; [2]Intercultivo haba forrajera-raigrás italiano (60% - 40%); [3]Haba forrajera en monocultivo; [4]Error estándar de la media. [5]No determinado. Letras minúsculas diferentes en la misma fila indican diferencias significativas entre tipo de forraje. Letras mayúsculas diferentes en la misma columna indican diferencias significativas entre tipo de conservación.

chas raciones se formularon para ser isoproteícas. En cuanto a la EM, aunque se procuró que las raciones fueran isoenergéticas, la mayor proporción de concentrado finalmente utilizada para elaborar la ración con el ensilado de RI para alcanzar el mismo nivel de PB hizo que aparecieran diferencias significativas entre tratamientos (P<0,05), con un valor energético ligeramente superior con la ración a base de ensilado de raigrás (10,03 *vs.* 9,33 *vs.* 9,32 para MJ kg^{-1} MS para las raciones de RI, HBRI y HB, respectivamente).

En la Tabla 3 se detalla el contenido en fenoles totales y taninos condensados de los tres forrajes evaluados desde que son cosechados hasta que pasan a formar parte de la ración ofertada a las vacas. Se puede observar que el contenido en fenoles totales del HB en monocultivo y del intercultivo HBRI es muy superior (P<0,001) al de RI en monocultivo en el forraje verde. Tras el proceso de prehenificación, la concentración de fenoles totales disminuye significativamente respecto a los contenidos observados en los forrajes recién cortados. No existen diferencias en la concentración de fenoles entre el prehenificado y el ensilado.

La concentración de taninos condensados en HB es significativamente superior (P<0,05) a la de RI, tanto en el forraje verde como en el pre-

Tabla 3. Contenido en fenoles totales y en taninos condensados en el forraje verde en corte directo, prehenificado, ensilado y en las raciones *unifeed* elaboradas a partir de los ensilados de los forrajes ensayados

Table 3. Total phenols and condensed tannins contents in fresh forage, wilted forage, silage and unifeed rations elaborated with the silages of tested forages

	RI[1]	HBRI[2]	HB[3]	e.e.m.[4]	P
Fenoles totales (mg EAG g^{-1} MS)[5]					
Forraje verde	13,05$^{a\ B}$	33,44$^{b\ C}$	40,72$^{b\ C}$	3,263	***
Forraje prehenificado	7,99$^{a\ A}$	17,45$^{b\ B}$	22,25$^{c\ B}$	1,048	***
Forraje ensilado	10,24$^{a\ AB}$	17,74$^{b\ B}$	18,75$^{b\ B}$	1,844	**
Raciones *unifeed*	6,87^{A}	8,05^{A}	9,73^{A}	1,235	0,067
e.e.m.[4]	1,473	1,989	2,103		
P	***	***	***		
Taninos condensados (mg EC g^{-1} MS)[6]					
Forraje verde	0,67$^{a\ B}$	0,86$^{ab\ B}$	1,01$^{b\ B}$	0,106	*
Forraje prehenificado	0,42$^{a\ AB}$	0,41$^{a\ A}$	0,82$^{b\ B}$	0,055	***
Forraje ensilado	0,44$^{A\ B}$	0,45^{A}	0,39^{A}	0,184	NS
Raciones *unifeed*	0,24^{A}	0,26^{A}	0,29^{A}	0,035	NS
e.e.m.[4]	0,122	0,103	0,071		
P	**	***	***		

[1]Monocultivo de raigrás italiano de primer corte; [2]Intercultivo haba forrajera-raigrás italiano (60% - 40%); [3]Haba forrajera en monocultivo; [4]Error estándar de la media; [5]Equivalentes de ácido gálico; [6]Equivalentes de catequina. Letras minúsculas diferentes en la misma fila indican diferencias significativas entre tipo de forraje. Letras mayúsculas diferentes en la misma columna indican diferencias significativas entre tipo de conservación.

henificado, desapareciendo las diferencias (P>0,05) con el ensilado. En las raciones *unifeed* elaboradas, tanto la concentración de fenoles totales como la de taninos condensados se diluye, no observándose diferencias significativas en el contenido de taninos condensados (P>0,05), aunque se observó una tendencia a la significación estadística (P=0,067) en el contenido de fenoles, con una mayor concentración en la ración *unifeed* elaborada con HB respecto a la elaborada con RI.

Como se puede observar en la Tabla 4, no existen diferencias significativas (P>0,05) ni en el peso vivo al inicio o al final del experimento, ni en la variación diaria de peso vivo de los animales en función de la dieta ingerida. El consumo de MS de las raciones *unifeed*, de pienso y de hierba tampoco presentó diferencias significativas entre las dietas (P>0,05) siendo la ingestión total diaria de MS de las vacas similar entre tratamientos. El consumo diario de fenoles totales provenientes de la ración *unifeed* ofertada presentó diferencias significativas entre dietas (P<0,001), con un mayor consumo en la dieta elaborada con ensilado de HB. Sin embargo, el consumo diario de taninos condensados procedente de la ración *unifeed* fue similar entre dietas (P>0,05).

Los efectos de las diferentes raciones ensayadas sobre la producción y composición de la leche se muestran en la Tabla 5. La producción de leche fue menor en las vacas alimentadas con HB y HBRI presentando diferencias significativas frente a la ración elaborada con ensilado de RI (P<0,001). El efecto tratamiento influyó sobre el contenido de grasa y proteína de la leche (P<0,001), obteniéndose las mayores concentraciones para ambas varia-

Tabla 4. Peso vivo (kg), variación del peso corporal de las vacas (kg día^{-1}) y consumo de materia seca de alimentos (kg MS día^{-1} vaca^{-1}) y de fenoles y taninos (g día^{-1}) a partir de las raciones *unifeed* durante el ensayo de alimentación

Table 4. Body weight (kg), variation of body weight (kg day^{-1}) and total dry matter intake of feed (kg DM day^{-1} cow^{-1}) during the feeding trial and phenols and tannins (g day^{-1}) from the unified rations

	RI[1]	HBRI[2]	HB[3]	e.e.m.[4]	P
Peso vivo inicial	656	650	652	7,718	NS
Peso vivo final	658	655	660	8,965	NS
Variación de peso	0,38	0,88	1,25	0,858	NS
Unifeed	10,78	10,24	10,29	0,972	NS
Concentrado en ordeño	4,29	4,14	4,10	0,264	NS
Hierba	11,60	10,54	14,26	3,763	NS
Total	26,67	24,92	28,65	3,624	NS
Fenoles	73,45^{a}	82,16^{ab}	98,83^{b}	8,131	***
Taninos	2,56	2,61	2,88	0,249	NS

[1]Monocultivo de raigrás italiano de primer corte; [2]Intercultivo haba forrajera-raigrás italiano (60% - 40%); [3]Haba forrajera en monocultivo; [4]Error estándar de la media. Letras minúsculas diferentes en la misma fila indican diferencias significativas entre tipo de forraje.

Tabla 5. Producción (kg día^{-1}) y composición (g kg^{-1}) de la leche de las vacas alimentadas con los diferentes forrajes considerados en el ensayo de alimentación
Table 5. Milk yield (kg day^{-1}) and milk composition (g kg^{-1}) of dairy cows fed the different forages considered in the feeding trial

	RI[1]	HBRI[2]	HB[3]	e.e.m.[4]	P
Producción de leche	34,42^{b}	32,81^{a}	32,11^{a}	1,720	***
Leche corregida por grasa	31,63	30,61	30,67	2,041	NS
Grasa	34,50^{a}	35,10^{a}	37,10^{b}	3,128	***
Proteína	30,60^{a}	30,10^{a}	32,90^{b}	1,645	***
Lactosa	47,40	47,60	47,20	1,794	NS
Extracto seco magro	85,20	84,60	85,80	2,862	NS
Urea (mg L^{-1})	212,57^{a}	271,12^{b}	348,38^{c}	10,259	***

[1]Monocultivo de raigrás italiano de primer corte; [2]Intercultivo haba forrajera-raigrás italiano (60% - 40%); [3]Haba forrajera en monocultivo; [4]Error estándar de la media. Letras minúsculas diferentes en la misma fila indican diferencias significativas entre tipo de forraje.

bles con el tratamiento HB. Tras el cálculo de producción de leche corregida al 4% de grasa no hubo diferencias entre tratamientos (P>0,05). Tampoco se observaron diferencias (P>0,05) entre tratamientos en los contenidos en lactosa y extracto seco magro. El contenido de urea también fue significativamente diferente (P<0,001) entre dietas.

Discusión

En el ámbito de los pastos, la familia botánica con mayor contenido en proteína es la de las leguminosas. Por tanto, como era esperable, y coincidiendo con otros estudios en la misma zona geográfica y con los mismos forrajes de invierno (de la Roza-Delgado *et al.*, 2004; Baizán *et al.,* 2015), el mayor contenido en PB corresponde al monocultivo de HB, tanto en verde como prehenificado. Sin embargo, Borreani *et al.* (2009) reportan unos valores más altos, tanto en forraje verde (20% *vs.* 12% PB sobre MS en nuestro ensayo) como prehenificado (21% *vs.*13%). Esta diferencia puede deberse a diferencias ambientales y/o de manejo. El HB es una leguminosa de alto porte, que puede alcanzar una altura de 1,5 a 2 m y cuyos tallos tienen más del 50% de fibra ácido detergente y más del 10% de lignina (Heuzé *et al*., 2016). Esto se refleja en el menor porcentaje de MOD encontrado en HB y HBRI frente al RI. Por otra parte, las gramíneas en general contienen más hidratos de carbono no estructurales (almidón o azúcares) que las leguminosas. Por ello, el valor energético de HB, tanto en monocultivo como en asociación, no puede competir con el RI que, al igual que en los ensayos realizados por Baizán *et al.* (2015), fue el cultivo que presentó mayor contenido energético respecto a las otras dos alternativas ensayadas.

Los taninos condensados se encuentran extensamente distribuidos en las plantas dicotiledóneas, en especial en las leguminosas, y se manifiestan con poca frecuencia en gramíneas (Waghorn, 2008). Heuzé *et al*. (2016) reportan una concentración media de tani-

nos condensados en todas las variedades de *Vicia faba* de 4,8 mg EC g^{-1} MS y, para las variedades bajas en taninos, de 0,1 mg EC g^{-1} MS. El contenido varía en función del genotipo de la planta. Las flores de los cultivares ricos en taninos muestran una gran mancha negra en los pétalos que suelen ser de color rosa pálido, rosa o rojo, mientras que los cultivares bajos en taninos tienen flores blancas (Crépon *et al.,* 2010). Duc *et al*. (1999) estudiaron el contenido de taninos en las semillas de haba de 12 genotipos diferentes. Las variedades de invierno con flores coloreadas 'Bourbon' y 'Fabiola' presentaron concentraciones de 8 y 10,4 mg EC g^{-1} MS, respectivamente, mientras que las variedades de invierno con flores blancas 'Glacier' y 'Fabiola ZT' contenían 0,2 mg EC g^{-1} MS. En el presente estudio se utilizó la variedad 'Prothabon 101' de flores blancas, con un contenido en taninos condensados de 1,01 mg EC g^{-1} MS en la planta entera. Hay que considerar que la concentración de taninos condensados depende, además de la variedad de haba y de la parte de la planta analizada, de los procedimientos de extracción y del patrón de referencia con el que se expresa la cantidad obtenida (Frutos *et al.,* 2004), haciendo difícil la comparación de resultados.

Los taninos condensados descienden con el prehenificado, aunque este descenso solo fue significativo en HBRI. En un estudio realizado por Copani *et al.* (2014) con esparceta, también se observó un descenso en el contenido de taninos condensados del forraje verde al prehenificado (35,6 y 25,6 g kg^{-1} MS, respectivamente), aunque la diferencia tampoco fue estadísticamente significativa. Estos autores hipotetizan que los taninos condensados no se degradan a temperatura ambiente, por lo que la cantidad de taninos condensados se mantiene entre el forraje fresco y el prehenificado.

Se observó una disminución, significativa en el caso del HB y HBRI, de la concentración de taninos condensados tras el proceso de ensilado. Un estudio llevado a cabo por Gefrom *et al*. (2013), en el que se observa una importante reducción de fenoles totales (32-51% para haba y guisante respectivamente) y de taninos condensados (75% para haba y guisante) tras el proceso de ensilado, atribuye dicha disminución a la capacidad que tienen las bacterias epifitas responsables de la fermentación para degradar estos compuestos. Estos autores proponen este método de conservación como una forma fiable de reducir los compuestos antinutricionales que se atribuyen a las leguminosas, aunque señalan que la tasa de reducción de fenoles y taninos no se incrementa con el uso de aditivos para ensilar.

Entre los efectos negativos vinculados al consumo de taninos que se han estudiado, los trabajos se han centrado principalmente en la disminución de la ingestión voluntaria. Como el efecto de los taninos depende de la concentración, y ésta a su vez de la especie, variedad y órgano de la planta, los resultados que se encuentran en la literatura sobre su efecto son muy diversos, y en algunos casos pueden parecer contradictorios. Varios autores (Min *et al.*, 2003; Frutos *et al.*, 2004) señalan que la ingestión de especies vegetales con un elevado contenido de taninos condensados, en general por encima de 50 g kg^{-1} de MS, reduce significativamente la ingestión voluntaria. Esta recomendación se basa, principalmente, en estudios con especies de *Lotus,* y puede no ser aplicable a otras especies (Mueller-Harvey, 2006). Además, los diferentes métodos de análisis y estándares utilizados pueden conducir a resultados ambiguos. En el presente trabajo, la inclusión de HB en la ración no deprimió el consumo, ya que el contenido en taninos del forraje verde está por debajo de la concentración considerada como limitante para deprimir la ingestión y, además, este contenido disminuyó con el proceso de ensilado y finalmente se diluyó con la elaboración de la ración *unifeed*. En un trabajo realizado por Baizán *et al.* (2017) con dietas y animales similares, la ingestión

tampoco se vio deprimida por la inclusión del ensilado de haba en la ración. Sin embargo, estudios realizados por Jiménez-Calderón (2017) con raciones elaboradas con un intercultivo de haba y colza, mostraron una reducción significativa en la ingestión voluntaria en comparación con raciones elaboradas con raigrás italiano. Los resultados encontrados en este trabajo, junto con los de Baizán *et al.* (2017), inducen a pensar que el efecto depresivo sobre la ingestión en raciones con haba y colza pudo ser debido a los glucosinolatos de la colza (Pailan y Singhal, 2007) y no a la presencia del haba forrajera.

Las vacas alimentadas con RI tuvieron una mayor producción de leche, y un menor contenido en grasa de la misma, posiblemente debido al mayor contenido en energía que presenta esta dieta. Aunque hubiera sido de esperar una mayor concentración de proteína de la leche, se puede especular que la proteólisis que tiene lugar cuando se corta el forraje incrementaría la desaminación microbiana en el rumen, lo que resultaría en una disminución en la absorción de proteínas en el intestino y en un aumento del amoníaco en plasma (Kaufmann *et al.*, 2012). En cualquier caso, el incremento en volumen de leche por animal normalmente lleva aparejada una disminución de los sólidos totales. Cuando la producción de leche se corrigió al 4% de grasa las diferencias de producción no fueron significativas. Por lo tanto, la excreción de grasa total, estimada como producción de leche (kg día^{-1}) por contenido en grasa (g kg^{-1}), fue de 1187 g día^{-1} en el tratamiento RI, siendo similar a la del tratamiento HB (1191 g día^{-1}). Se observó lo mismo en la excreción diaria de proteína (1053 g día^{-1} para el RI y 1056 g día^{-1} para el HB). La excreción de grasa y proteína del intercultivo de HBRI fue ligeramente menor en comparación con ambos monocultivos (1151 g día^{-1} para la grasa y 987 g día^{-1} para la proteína). En consecuencia, a la hora de buscar una alternativa forrajera más sostenible, que mejore la suficiencia proteica de la explotación, permitiendo reducir la compra de proteína externa, sin afectar la producción de leche, las raciones de HB son de gran interés. Baizán *et al.* (2017) y Jiménez-Calderón (2017) no observaron diferencias en la concentración de grasa y proteína, pero si en la de urea, con intercultivos de haba con colza. El resultado de urea observado en este estudio para el HB se encuentra por encima del rango óptimo establecido por Salcedo-Díaz y Villar-Bonet (2015), que está entre 210 y 320 mg L^{-1}. El nivel de urea en leche es un reflejo del consumo de proteína dietética (Wittwer *et al.,* 1999), y puede ser atribuido a un exceso de proteína en la dieta o a una ineficiente utilización de la misma (Vicente, 2002). Factores como la relación proteína/energía de la dieta o la relación proteína no degradable/degradable en el rumen pueden afectar al contenido de urea en leche (Baker *et al.,* 1995). Si el aporte de energía con la dieta con haba forrajera fue el adecuado, lo que se refleja en su mayor concentración de proteína en la leche, también se esperaría una excreción de urea menor. Por ello, la mayor excreción de urea con dicha dieta puede estar relacionada con el mayor contenido en nitrógeno amoniacal respecto al nitrógeno total en el ensilado de haba forrajera, tanto en monocultivo (16,04% N-NH_3) como asociada con RI (16,32% N-NH_3), que en el ensilado de raigrás italiano en monocultivo (6,04% N-NH_3).

Conclusiones

La inclusión de ensilado de haba forrajera en raciones *unifeed* no afecta negativamente a la ingestión voluntaria, aunque reduce la producción de leche. Sin embargo, la mayor concentración de grasa en la leche de vacas alimentadas con haba forrajera da como resultado que no haya diferencias significativas entre dietas en la producción de leche corregida para un 4% de grasa. El haba forra-

jera también incrementa la concentración de proteína y urea en leche. Los resultados de este trabajo confirman que el haba forrajera es una alternativa viable al raigrás italiano para rotar con maíz forrajero.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el INIA a través del proyecto RTA 2012-00065-C05-01, cofinanciado con fondos FEDER. Silvia Baizán es beneficiaria de un contrato predoctoral FPI-INIA.

Bibliografía

ADAS (1985). Compound feed evaluation for the ruminants. Technical Bulletin 85/21. Ministry of Agricultural, Fisheries and Food. Reading, UK. 2 pp.

Baizán S, Vicente F, González MA, González-García C, de la Roza-Delgado B, Soldado- Cabezuelo A, Martínez-Fernández A (2015). Alternativas forrajeras sostenibles como cultivo invernal en zonas templadas. Pastos 45 (2): 23-32.

Baizán S, Martínez-Fernández A, Vicente F (2017). Evaluación del ensilado de haba forrajera como alternativa al ensilado de raigrás italiano en la alimentación de vacuno lechero. En: XVII Jornadas sobre Producción Animal (Ed. Olazoila AM, Abecia A, Blanco M, Bernués A, Calvo JH, Latorre MA, Palacio J, Ripoll G), pp. 123-125. Asociación Interprofesional para el Desarrollo Agrario (AIDA), 30-31 de mayo, Zaragoza, España.

Baker LD, Ferguson JD, Chalupa W (1995). Responses in urea and true protein of milk to different protein feeding schemes for dairy cows. Journal of Dairy Science 78: 2424-2434.

Baumont R, Bastien D, Férard A, Maxin G, Niderkorn G (2016). Les intérêts multiples des légumineuses fourragères pour l'alimentation des ruminants. Fourrages 227: 171-180.

Borreani G, Revello Chion A, Colombini S, Odoardi M, Paoletti R, Tabacco E (2009). Fermentative profiles of field pea (*Pisum sativum*), faba bean (*Vicia faba*) and white lupin (*Lupinus albus*) silages as affected by wilting and inoculation. Animal Feed Science and Technology 151: 316-323.

Copani G, Ginane C, Le Morvan A, Niderkorn V (2014). Bioactive forage legumes as a strategy to improve silage quality and minimize nitrogenous losses. Animal Production Science 54: 1826-1829.

Crépon K, Marget P, Peyronnet C, Carrouée B, Arese P, Duc G (2010). Nutritional value of faba bean (*Vicia faba L.*) seeds for feed and food. Field Crops Research 115: 329-339.

de la Roza-Delgado B, Martínez-Fernández A, Argamentería-Gutiérrez A (2002). Determinación de materia seca en pastos y forrajes a partir de la temperatura de secado para análisis. Pastos 32: 91-104.

de la Roza-Delgado B, Martínez-Fernández A, Soldado A, Argamentería A (2004). Evolución de la producción y ensilabilidad de la asociación triticale-haboncillos, según estado de desarrollo. En: Pastos y ganadería extensiva. (Ed. García B, García A, Vázquez BR, Zabalgogeazcoa I) pp. 273-278. Sociedad Española para el Estudio de los Pastos. 10-14 de mayo, Salamanca, España.

Duc G, Marget P, Esnault R, Le Guen J, Bastianelli D (1999). Genetic variability for feeding value of faba bean seeds (*Vicia faba*): Comparative chemical composition of isogenics involving zero-tannin and zero-vicine genes. Journal of Agricultural Science 133: 185-196.

Frutos P, Hervás G, Giráldez FJ, Mantecón AR (2004). Review: Tannins and ruminant nutrition. Spanish Journal of Agriculture Research 2: 191-202.

Frutos P, Moreno-Gonzalo J, Hervás G, García U, Ferrreira LMM, Celaya R, Toral PG, Ortega-Mora LM, Ferre I, Osoro K (2008). Is the anthelmintic effect of heather supplementation to grazing goats always accompanied by anti-nutitional effects? Animal 2: 1449-1456.

García-Azcárate T (2011). Una visión agronómica de propuesta de la futura PAC para después de 2013. Mundo del Agrónomo 17, 24-26.

Gefrom A, Ott EM, Hoedtke S, Zeyner A (2013). Effect of ensiling moist field bean (*Vicia faba*), pea (*Pisum sativum*) and lupine (*Lupinus spp*.) grains on the contents of alkaloids, oligosaccharides and tannins. Animal Physiology and Animal Nutrition 97: 1152-1160.

Heuzé V, Tran G, Delagarde R, Lessire M, Lebas F (2016). Faba bean (*Vicia faba*). Feedipedia, a programme by INRA, CIRAD, AFZ and FAO. Disponible en: https://www.feedipedia.org/node/4926 (19 diciembre 2017).

Jiménez-Calderón, JD (2017). Producción sostenible de leche de vaca mediante pastoreo y cultivos forrajeros obtenidos con fertilización orgánica. Tesis Doctoral, Universidad de Zaragoza, España.

Jiménez-Calderón JD, Martínez-Fernández A, Benaouda M, Vicente F (2018). A winter intercrop of faba bean and rapeseed for silage as a substitute for Italian ryegrass in rotation with maize. Archives of Agronomy and Soil Science 64: 983-993. DOI: 10.1080/03650340.2017.1406080.

Lüscher A, Mueller-Harvey I, Soussana JF, Rees RM, Peyraud JL (2014). Potential of legume-based grassland-livestock systems in Europe: a review. Grass and Forage Science 69: 206-228.

Kaufmann LD, Dohme-Meier F, Münger A, Bruckmaier RM, van Dorland HA (2012). Metabolism of grazed vs. zero-grazed dairy cows throughout the vegetation period: hepatic and blood plasma parameters. Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition 96: 228-236.

Macoon B, Sollenberger LE, Moore JE, Staples CR, Fike JH, Portier KM (2003). Comparison of three techniques for estimating the forage intake of lactating dairy cows on pasture. Journal of Animal Science 81: 2357-2366.

MAFF (1984). Energy allowances and feeding systems for ruminants, 2nd ed. Reference Book 433. Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, London, UK, 85 pp.

Martínez-Fernández A, Carballal-Samalea A, de la Roza-Delgado B, Soldado-Cabezuelo A, Modroño-Lozano S, Argamentería-Gutiérrez A (2011). Ensayos de variedades de maíz para ensilar en Asturias (1996-2011). Diferencias entre variedades actuales y obsoletas y su relación con la venta de semillas. Pastos 41 (2): 211-227.

Martínez-Fernández A, Argamentería-Gutiérrez A (2013) Recomendaciones para la fertilización de praderas y cultivos forrajeros anuales en zonas templado-húmedas. Afriga 102: 100-110.

Min BR, Barry TN, Attwood GT, McNabb WC (2003). The effect of condensed tannins on the nutrition and health of ruminants fed fresh temperate forages: a review. Animal Feed Science and Technology 106: 3-19.

Molina-Alcaíde E. (2016). Las leguminosas en nutrición de rumiantes. XXVIII Foro de Colaboración Público-Privada. Leguminosas. Producción y consumo. Una revolución pendiente. 15 marzo 2016, Madrid (España). Disponible en: http://wwwsp.inia.es/Investigacion/OtrasUni/TransferenciaTecnologia/ForosINIA/Legumin/Lists/Presentaciones/Attachments/28/27EduardaMolinaEEZ.pdf (Consultado: 2 mayo 2018).

Mueller-Harvey I (2006). Unravelling the conundrum of tannins in animal nutrition and health. Journal of the Science of Food and Agriculture 86: 2010-2037.

Organización Internacional de la Viña y el Vino (2011). Compedium of International Methods of Analysis, Method OIV-MA-AS2-10 R2009 1 (extract of ISO 78-2:1999 Standars).

Pailan GH, Singhal KK (2007). Effect of dietary glucosinolates on nutrient utilization, milk yield and blood constituents of lactating goats. Small Ruminant Research 71: 31-37.

Preissel S, Reckling M, Schläfke N, Zander P (2015). Magnitude and farm-economic value of grain legume pre-crop benefits in Europe: A review. Field Crops Research 175: 64-79.

R Core Team (2016). R: A language and environment for statistical computing. R. Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponible en: https://www.R-project.org (Consultado: 19 diciembre 2017).

Riveros E, Argamentería A (1987). Métodos enzimáticos de la predicción de la digestibilidad in vivo de la materia orgánica de forrajes. I. Forrajes verdes. II. Henos. III. Ensilados y pajas. Avances en Producción Animal 12: 49-75.

Salcedo-Díaz G, Villar-Bonet A (2015). Interpretación del contenido de urea en leche. Claves para su minimización en las explotaciones de Cantabria. Ed. Consejería de Medio Rural, Pesca y Alimentación, Gobierno de Cantabria. Santander, España, 64 pp.

Sanz M, Cadahía E, Esteruelas E, Muñoz MA, Fernández de Simón B, Hernández T, Estrella I (2010). Phenolic compounds in chestnut (*Castanea sativa* Mill.) heartwood. Effect of toasting at cooperage. Journal of Agriculture Food and Chemistry 58: 9631-9640.

Sun B, Ricardo-da-Silva JM, Spranger I (1998). Critical factors of vanillin assay for catechins and proanthocyanidins. Journal of Agricultural and Food Chemistry 46: 4267-4274.

Vicente F (2002). Informe técnico I. Relación entre la concentración de urea en leche y el manejo nutricional del ganado vacuno lechero. Serie Guías Agroganaderas 2ª Ed. SERIDA. KRK Ediciones. Oviedo, Asturias (España), 29 pp.

Vilariño M, Métayer JP, Crépon K, Duc G (2009). Effects of varying vicine, convicine and tannin contents of faba bean seeds (*Vicia faba* L.) on nutritional values for broiler chicken. Animal Feed Science Technology 150: 114-121.

Waghorn G (2008). Beneficial and detrimental effects of dietary condensed tannins for sustainable sheep and goat production-progress and challenges. Animal Feed Science and Technology 147: 116-139.

Wittwer FG, Gallardo P, Reyes J, Opitz H (1999). Bulk milk urea concentrations and their relationship with cow fertility in grazing dairy herds in Southern Chile. Preventive Veterinary Medicine 38: 159-166.

(Aceptado para publicación el 4 de mayo de 2018)

Desarrollo y evaluación de una ecuación para predecir el peso vivo en novillas cruzadas usando el ancho de cadera

S. Herrera-López[1], R. García-Herrera[1], A.J. Chay-Canul[1,*], M. González-Ronquillo[2], U. Macías-Cruz[3], V.F. Díaz-Echeverría[4], F. Casanova-Lugo[4] y A. Piñeiro-Vázquez[5]

[1] División Académica de Ciencias Agropecuarias, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Ctra. Villahermosa-Teapa, km 25. 86280, Villahermosa, Tabasco, México
[2] Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Departamento de Nutrición Animal, Instituto Literario, no. 100, Col. Centro, Toluca, 50000, México
[3] Instituto de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma de Baja California, Ejido Nuevo León S/N, Mexicali, B.C. 21705, México
[4] Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de la Zona Maya, Carretera Chetumal-Escárcega, km. 21.5, Ejido Juan Sarabia, C.P. 77960, Othón P. Blanco, Quintana Roo, México
[5] Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Conkal. Avenida Tecnológico s/n Conkal, Yucatán, C.P. 97345

Resumen

El objetivo del presente estudio fue desarrollar y evaluar una ecuación para predecir el peso vivo (PV) a partir del ancho de cadera (AC) en novillas cruzadas, criadas bajo condiciones de trópico húmedo en México. Se utilizó la información de 500 novillas (PV = 340,2 ± 105 kg, AC = 42,5 ± 9,48 cm y edad = 24 meses) producto del cruce entre Sardo negro, Suizo Americano, Simmental y Brahman para construir el modelo de predicción usando regresión no lineal. El coeficiente de correlación entre el peso vivo y ancho de cadera fue alto (r = 0,98; P < 0,001), y la ecuación final desarrollada fue: PV (kg) = 0,2615 (± 0,0167)* AC $^{1,902(\pm\ 0,0164)}$ (P < 0,0001, r^2 = 0,97; Cuadrado Medio del Error = 554,52; Desviación Estándar Residual = 23,55 y n = 500). La evaluación de la ecuación se realizó a través del Model Evaluation System utilizando datos de 70 novillas de cruces similares (PV = 282,4 ± 114 kg, AC = 37,94 ± 7,94 cm y edad = 24 meses). La correlación entre los valores de peso vivo observado y predicho fue alta (r = 0,98) y se observó una alta coincidencia ente ambos tipos de valores (Ho: β = 0 y Ha: β = 1; P > 0,05). Los parámetros de precisión y exactitud mostraron que la ecuación presentó una alta precisión (r^2 = 0,97), exactitud (Cb = 0,99) y reproducibilidad (CCC = 0,97); asimismo, tuvo una alta eficiencia predicción (MEF = 096). La raíz cuadrada del cuadrado medio del error de precisión (RMSEP) representó el 8,11% del peso vivo observado. Se concluye que el ancho de cadera se relaciona altamente con el peso vivo, y consecuentemente, la ecuación desarrollada mostró predecir el peso vivo de novillas cruzadas mantenidas en condiciones de trópico con buena precisión y exactitud.

Palabras clave: Peso vivo, medidas biométricas, novillas tropicales, modelos matemáticos.

Abstract

Development and evaluation of equation to predict live weight in crossbred heifers using hip width

The aim of this study was to evaluate the relationship between body weight (BW), and the hip width (HW) in crossbred heifers (n = 500), reared under conditions of humid tropics in Mexico. The relationship bet-

* Autor para correspondencia: aljuch@hotmail.com
https://doi.org/10.12706/itea.2018.022

ween the body weight and hip width was estimated using nonlinear regression models. The correlation coefficient between the body weight and hip width was 0.98 ($p < 0.001$). The body weight ranged from 105.00 to 695 kg, while the hip width ranged from 23.00 to 65.50 cm. The correlation coefficient between the body weight and the hip width was 0.98 ($p < 0.001$). The equation was BW (kg) = 0.2615 (± 0.0167)* $HW^{1.902(\pm 0.0164)}$ ($P < 0.0001$, $r^2 = 0.97$, Mean Square Error = 554.52, Residual Standard Deviation = 2355 and n = 500). The evaluation of the equation was assessed with the Model Evaluation System using data obtained from 70 heifers of a similar condition. Linear regression analysis between body weight values observed and predicted showed a high correlation (r=0.98) and that the intercept and slope were not different to 0 and 1 respectively ($P > 0.05$), as well as the equation explains 97% of the variance ($r^2 = 0.97$). The parameters of precision and accuracy showed that the equation proposal presented a high precision ($r^2 = 0.97$), accuracy (Cb = 0.99) and reproducibility (CCC = 0.97). The equation had a high efficiency prediction (MEF = 0.96). The root square of the mean square of error of prediction (RMSEP) accounted for 8.11% of the body weight observed. The prediction equation evaluated showed good precision and accuracy to predict the body weight of crossbred heifers. The measurement of hip width can represent an easier option to get to estimate the body weight in this type of animal.

Keywords: Body weight, body measurements, tropical heifers, mathematical models.

Introducción

El peso vivo (PV) de los anímales de granja es un rasgo económico importante y de apoyo para la toma decisiones de manejo y alimentación en las explotaciones, sin embargo, rara vez se mide por los pequeños productores debido a la falta de básculas como consecuencia de los altos costos de su adquisición (Wood *et al.*, 2015; Lukuyu *et al.*, 2016; Tebug *et al.*, 2016). Adicionalmente, se ha reportado que el pesaje, aunque es el método más exacto, es menos preferido por los productores porque es lento, y estresante para los animales (Wangchuk *et al.*, 2017). En condiciones de producción de pastoreo, como generalmente se produce en las regiones tropicales, evaluar el PV de las novillas de reposición se vuelve más complicado porque implica la movilización de los animales a los corrales de manejo, los cuales en muchos casos se encuentran a varios kilómetros, pudiendo representar una merma en el peso del ganado.

La monitorización del crecimiento de las novillas de reposición es una actividad importante para determinar el momento óptimo del manejo del primer servicio, y subsecuentemente, el primer parto; esto sin poner en riesgo el comportamiento reproductivo y la producción de leche posterior (Dingwell *et al.*, 2006; Bretschneider *et al.*, 2014). En este sentido, se han desarrollado métodos alternos para el control del PV de los animales, los cuales han resultado prácticos, de bajo costo y fácil aplicación para los pequeños ganaderos (Dingwell *et al.*, 2006; Oliveira *et al.*, 2013; Bretschneider *et al.,* 2014; Pérez-Hernández *et al.*, 2017). Algunos estudios señalan que existe una relación estrecha entre el PV del ganado y sus medidas biométricas (MB) corporales como el perímetro torácico (PT), el ancho de cadera (AC), longitud del cuerpo (LC), altura a la cruz (ALC) y altura al anca (AA); por consiguiente pueden ser usadas para el desarrollo de modelos de predicción del PV en novillas (Heinrichs *et al.*, 1992; Dingwell *et al.,* 2006; Heinrichs *et al.*, 2007; Reis *et al.*, 2008; Coopman *et al.*, 2009; Lesosky *et al.*, 2012; Bretschneider *et al.,* 2014; Lukuyu *et al.,* 2016; Heinrichs *et al.*, 2017; Pérez-Hernández *et al.*, 2017).

Por otro lado, en novillas de reposición de la raza Holstein (Bretschneider *et al.,* 2014) y tropicales cruzadas (Pérez-Hernández *et al.*, 2017) se ha reportado que el AC es una medida indirecta con potencial para ser usada

en la predicción del PV. Sin embargo ha sido poco evaluada (Bretschneider *et al.,* 2014; Pérez-Hernández *et al.*, 2017). Esta medida supone una ventaja sobre otras MB, debido a que resulta más fácil de obtener, involucrando menos manejo del animal, por lo que resulta ser una alternativa útil que puede ser usada fácilmente durante cualquier práctica habitual realizada sobre las novilla, sin necesidad de instalaciones especiales para la sujeción ni el manipuleo de estas (Bretschneider *et al.*, 2014). De hecho, Pérez-Hernández *et al.* (2017) encontraron que el PV y el AC se correlacionaban positivamente y de manera alta en novillas de reposición cruzadas de *Bos indicus* × *Bos taurus* o solamente de *Bos indicus*, las cuales fueron desarrolladas en condiciones de pastoreo de una región tropical de México. También los autores encontraron que los datos se ajustaron a una ecuación de tipo exponencial para predecir el PV a partir de AC ($Y = aX^b$), las cual explicaba el 95% de la variación del PV. No obstante, esa ecuación se realizó con una cantidad de datos limitada y no fue evaluada con otro grupo de datos independientes, lo cual es necesario para determinar la precisión, exactitud y reproducibilidad. Basado en lo anterior, el objetivo de este estudio fue desarrollar y evaluar un modelo de predicción del PV mediante el uso del AC de novillas de reemplazo cruzadas mantenidas en condiciones de pastoreo del trópico húmedo en el sureste de México.

Material y métodos

Registro de los datos, sitio de estudio, animales y manejo

Los animales incluidos en el presente estudio pertenecían a cuatro unidades de producción ubicados en los estados de Tabasco y Chiapas, en la región sur de México. El clima en esta región es trópico húmedo. Los animales en esas explotaciones son pastoreados en praderas de pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis*) y de pasto humidícola (*Brachiaria humidicola*), con ninguna suplementación. En total, se utilizaron 570 novillas de reposición cruzadas (*Bos taurus* × *Bos indicus*) de Sardo negro, Suizo Americano, Simmental y Brahman, con diferente grado de encaste en estas razas; 500 novillas fueron usadas para desarrollar el modelo de predicción mientras que las otras 70 novillas se usaron para evaluar y validar el modelo. La edad de las novillas se encontraba en un rango de 3 a 24 meses.

Datos de AC y PV se registraron individualmente para todas las hembras. El AC se midió con una forcípula de 65 cm (Haglof®, Suecia) aplicando la técnica descrita por Bretschneider *et al.* (2014) y Pérez-Hernández *et al.* (2017). El PV se tomó subiendo a los animales a una báscula fija de plataforma con capacidad de 1500 kg y precisión de 1 kg (Revuelta, Nuevo León, México).

Análisis estadístico

Los análisis estadísticos se realizaron utilizando el paquete de SAS 9.3 (SAS Ver. 9.3, 2010). Inicialmente se calcularon estadísticos descriptivos para PV y AC de los datos usados para desarrollar la ecuación y la evaluación, con el procedimiento MEANS. La relación entre el PV y la AC fue analizado con un modelo regresión no lineal usando el procedimiento NLIN, de acuerdo a lo reportado previamente por Bretschneider *et al.* (2014) y Pérez-Hernández *et al.* (2017). El coeficiente de correlación (r) entre las variables se determinó con el procedimiento CORR.

La evaluación de la ecuación se realizó con un análisis basado en una metodología descrita previamente por Oliveira *et al.* (2013), la cual consiste en aplicar regresión lineal entre valores de PV observados y predichos usando el procedimiento REG. Las hipótesis probadas

en la regresión para β_o fueron Ho: $\beta_o = 0$ y Ha: $\beta_o \neq 0$, mientras que para β_1 fueron Ho: $\beta_1 = 1$ y Ha: $\beta_1 \neq 1$. Cuando ambas Ho (β_o y β_1) fueron aceptadas (P > 0,05) se consideró que la ecuación era apropiada para redecir los valores observados. Los datos atípicos fueron detectados graficando los residuales *estudentizados* contra los valores predichos por la ecuación. Los datos fueron eliminados si el residual *estudentizado* estaba fuera del rango de –2,5 a 2,5. La bondad del ajuste de la regresión fue evaluada por la raíz del cuadrado medio del error (RCME) y el coeficiente de determinación (r^2).

De acuerdo a lo recomendado por Tedeschi (2006), se utilizaron estadísticos adicionales para evaluar la adecuación de los modelos, específicamente para determinar la distancia entre la predicción y su verdadero valor, siendo estos estadísticos la desviación estándar (DE), el cuadrado medio del error de predicción (MSEP) y la raíz del MSEP (RMSEP). Adicionalmente, el sesgo medio (MB), descrito por Cochran y Cox (1957), fue utilizado como una representación de la media de la inexactitud de la ecuación. El factor de eficiencia de modelo (MEF) que representa la proporción de la variación explicada por la línea Y = X, fue utilizado como un indicador de la bondad de ajuste (Loague y Green, 1991; Mayer y Butler, 1993). El coeficiente de determinación del modelo (CD) fue utilizado para evaluar la varianza de los datos predichos. El factor de corrección de sesgo (Cb), un componente del coeficiente de concordancia (CCC; Lin 1989), fue utilizado como un indicador de la desviación de la línea de identidad, mientras CCC como un índice de reproducibilidad, exactitud y precisión. Se asumió un alto grado de exactitud y precisión cuando los coeficientes fueron >0,80 y baja exactitud y precisión cuando estos fueron <0,50. Por último, todos los estadísticos fueron obtenidos utilizando el paquete "Model Evaluation System" (Tedeschi, 2006).

Resultados

Los valores promedios (± DE), mínimos y máximos del PV y el AC de las novillas usadas para el desarrollo y evaluación de la ecuación se muestran en la Tabla 1. La correlación entre PV y AC tuvo un valor 0,98 (P < 0,001). La

Tabla 1. Valores mínimo y máximo del peso vivo (PV) y el ancho de cadera (AC) de novillas de reposición mantenidas en condiciones de trópico húmedo
Table 1. Minimum and maximum values of body weight (BW) and hip width (HW) of replacement heifers kept in conditions of humid tropics

Variable	Descripción	Media	DE	Mínimo	Máximo
Desarrollo (n = 500)					
PV	Peso vivo (kg)	340,25	145,21	105,00	695,00
AC	Ancho de cadera (cm)	42,46	9,48	23,00	65,50
Evaluación (n = 70)					
PV	Peso vivo (kg)	273,64	104,47	136,00	555,00
AC	Ancho de cadera (cm)	37,05	6,89	27,00	54,00

ecuación final tuvo una $r^2 = 0,97$ ($P < 0,001$), siendo la siguiente:

$PV = 0,2615 (\pm 0,0167) \times AC^{1,902(\pm 0,0164)}$ ($P < 0,0001$; $r^2 = 0,97$; Cuadrado medio del error (CME) = 554,52; Desviación estándar residual (DER)= 23,55 y n = 500). La desviación estándar residual (kg) representó el 7 % del PV promedio (Figura 1).

En cuanto a la evaluación, el análisis de regresión entre valores de PV observados y predichos mostró que el intercepto fue 0 ($P = 0,06$) y la pendiente 1 ($P = 0,09$), con una $r^2 = 0,97$ entre variables (Figura 1 y Tabla 2). La correlación entre PV observado y predicho fue alta ($r = 0,98$). Los parámetros de precisión y exactitud mostraron que, la ecuación propuesta presentó una alta precisión ($r^2 = 0,97$), exactitud (Cb = 0,99) y reproducibilidad (CCC = 0,97) para predecir el PV (Tabla 2). Además, la ecuación tuvo una alta eficiencia de predicción (MEF = 0,96). La variabilidad en los datos predichos fue baja (CD = 1,19), con un sesgo (Y-X) de 9,8; y representó un 20,96% del MSEP (Tabla 2). El sesgo sistemático sugiere que el 14,08% del error de predicción fue asociado con la pendiente y la mayoría de los errores fueron explicados por el componente aleatorio (64,96%). Finalmente, la RMSEP representó el 8,11% del PV observado.

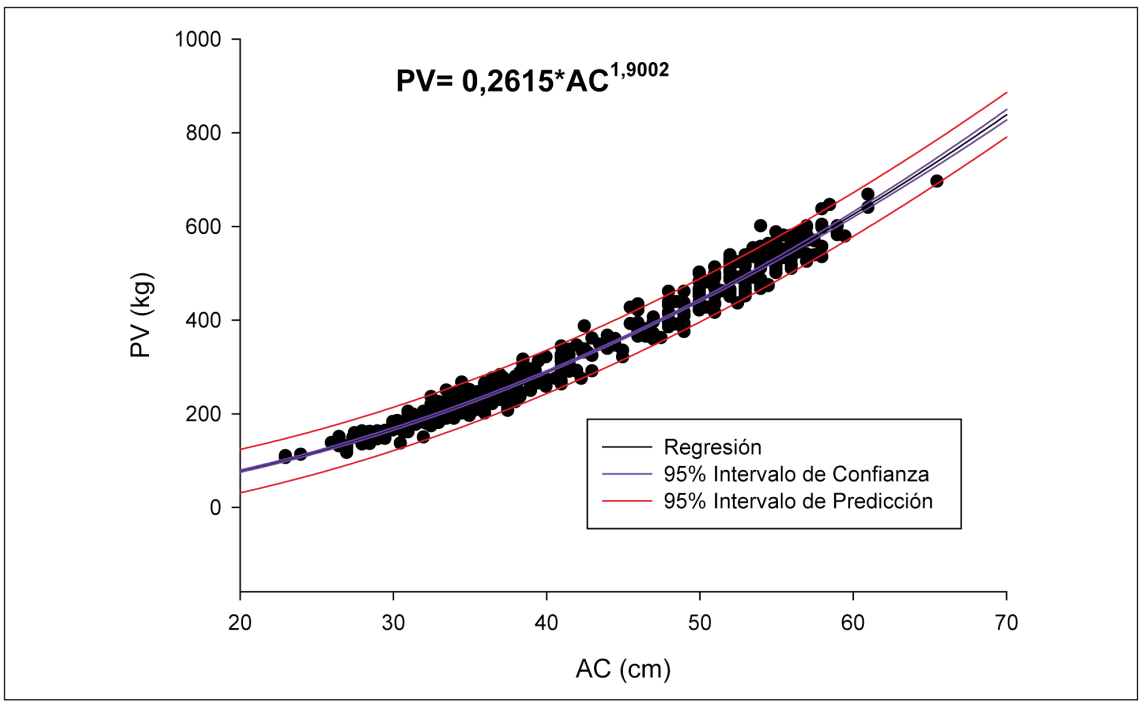


Figura 1. Ecuación para predecir el peso vivo (PV) a partir del ancho de cadera (AC). $PV = 0,2615 (\pm 0,0167)^* AC^{1,902 (\pm 0,0164)}$ ($P < 0,0001$, $r^2 = 0,97$, Cuadrado medio del error = 554,52, Desviación estándar residual = 23,55 y n = 500).
Figure 1. Equation to predict the body weight (BW) using the hip width (HW). $BW = 0.2615 (\pm 0.0167)^* HW^{1.902 (\pm 0.0164)}$ ($P < 0.0001$, $r^2 = 0.97$, Mean square error = 554.52; Residual standard deviation = 23.55 y n = 500).

Tabla 2. Promedios y estadísticos descriptivos de la exactitud y la precisión de la relación entre los valores observados (n = 70) y los valores predichos para el peso vivo (PV) en novillas de reposición cruzadas
Table 2. Mean and descriptive statistics for the accuracy and precision of the relationship between the observed (n = 70) and the predicted values for the body weight (BW) in replacement crossbred heifers

Variable[1]	Obs	[Eq. 1]
Media	273,63	263,33
DE	104,43	94,90
Máximo	555,00	515,41
Mínimo	136,00	136,20
r^2	—	0,97
CCC	—	0,97
Cb	—	0,99
MEF		0,96
CD		1,19
Análisis de Regresión		
Intercepto (β_0)		
Estimado	—	-12,71
EE	—	668
Valor de P ($\beta_0 = 0$)	—	0062
Pendiente (β_1)		
Estimado	—	109
EE	—	0023
Valor de P ($\beta_1 = 1$)	—	0097
Sesgo medio	—	980
Fuente de MSEP, % MSEP		
Sesgo medio		2096
Sesgo sistemático	—	1408
Error aleatorio	—	6496
Raíz del MSEP		
Estimado	—	2140
% de la media	—	811

[1]Obs: Evaluación de valores observados (base de datos independiente); [Eq. 1]: Ecuación 1; CCC: coeficiente de concordancia de la correlación; Cb: factor de corrección de sesgo; MSEP: cuadrado medio del error de predicción; r: Coeficiente de correlación; r^2: coeficiente de regresión; DE: error estándar de la desviación; MEF: Eficiencia del modelo; CD: coeficiente de determinación del modelo; EE: error estándar.

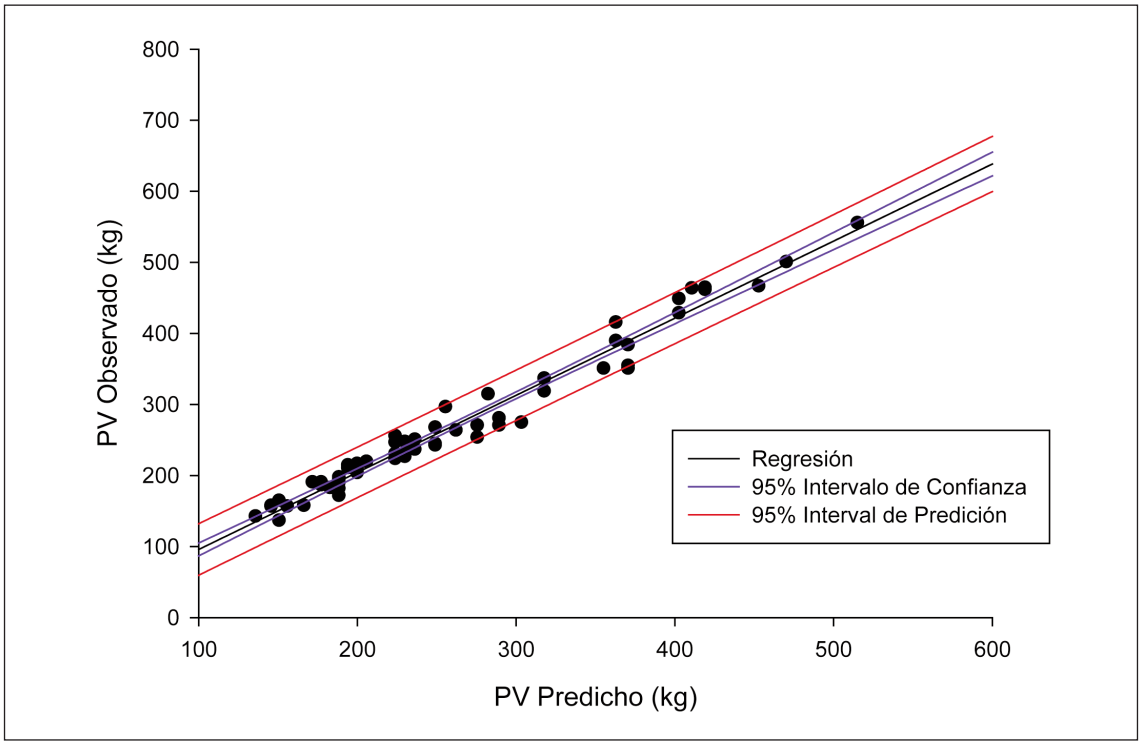


Figura 2. Ajuste da la recta de regresión con los intervalos de confianza y predicción de los valores del peso vivo (PV) observados contra los predichos.
Figure 2. Regression fitted with the confidence and prediction intervals of the predicted and observed live weight (BW).

Discusión

Para la predicción del PV en vacas y novillas cruzadas (Holstein × Cebú) se han utilizado diferentes MB como el perímetro torácico (PT), ancho de cadera (AC), largo del cuerpo (LC), y altura a la cruz (ALTC) y a la cadera (ALTCAD) (Reis *et al.*, 2008; Oliveira *et al.*, 2013; Mota *et al.*, 2013; Franco *et al.* 2017). Reis *et al.* (2008) reportan que la precisión de la estimación del PV utilizando MB, pueden ser afectadas por la raza, edad, tamaño corporal, condición corporal y estado fisiológico. Franco *et al.* (2017) reportaron un r=0,88 y una r^2=0,83 entre el PV y AC en novillas Holstein cruzadas; estos autores concluyeron que a pesar de que AC fue altamente correlacionadas con PV, mostró un bajo r^2 con un alto coeficiente de variación en relación a otras variables de MB, tales como LC, ALTC y ALTCAD. No obstante, el presente estudio demostró que la relación entre PV y AC fue alta, con un valor superior (r = 0,98 *vs.* 0,83) al reportado previamente para vacas Holstein (Franco *et al.*, 2007). De hecho, el modelo desarrollado para novillas de reposición de las cruzas *Bos indicus* × *Bos taurus* sugiere que AC explica el 97% de la variación observada en el PV. Consecuentemente, esta estrecha relación entre PV y AC en las novillas de reposición estudiadas sugiere que AC es una MB que puede ser usada para predecir el PV

en el tipo de ganado usado. Estos resultados de r y r^2 coinciden con resultados reportados para novillas Holstein (Bretschneider *et al.,* 2014), así como los encontrados en novillas de reposición de similares características a las empleadas en este estudio (Pérez-Hernández *et al.*, 2017).

En novillas Holstein de reemplazo, Bretschneider *et al.* (2014) encontraron un valor de r = 0,97 y r^2 = 0,94 entre el PV y AC, similar al valor encontrado en el presente estudio (r^2 = 0,95). Heinrichs *et al* (1992) también encontraron una alta correlación entre el PV y el AC; aunque estos autores observaron que la predicción del PV basado en el AC se ajustó a un modelo cuadrático.

La ecuación fue PV (kg) = 0,2615 (± 0,0167)* $AC^{1,902(\pm 0,0164)}$ (Figura 1, P < 0,0001; r^2 = 0,97; CME = 554,52; DER = 23,55 y n = 500). La DER (kg) representó el 7% del PV promedio. Otros autores al utilizar otras MB para estimar el PV de vacas lecheras en sistemas de bajos insumos en Senegal, reportaron que la r^2 varió de 0,77 a 0,94 y el DER de los modelos desarrollados correspondió entre 9,4 y 12,3% (29,27 a 39,24 kg) del PV promedio de los animales (Tebug *et al.* 2016). Por su parte, Bretschneider *et al.* (2014) encontraron que la DER de su modelo correspondió al 5,8% (15,95 kg) del peso vivo promedio.

Posiblemente, el AC mostró ser una buena variable predictora del PV porque es un indicativo del desarrollo del tejido óseo de los animales, además esta MB se ubica en el tren posterior, justamente donde se concentra mayor peso corporal del animal (Bretschneider *et al.*, 2014; Pérez-Hernández *et al.*, 2017). Así, si la cadera es más ancha, podría esperarse que soportara una mayor acumulación de músculo y grasa en esta región corporal, favoreciendo positivamente el cambio de PV, tal como la ecuación desarrollada lo sugiere. Por lo tanto, las mediciones anatómicas, como indicadores del tamaño del esqueleto, puede reflejar el verdadero tamaño de las novillas de reposición, y consecuentemente su PV. Considerado que la medición del AC no requiere de instalaciones específicas o equipo sofisticado, el modelo desarrollado muestra ser una alternativa práctica para llevar un control del PV a nivel de campo en novillas de reposición cruzadas mantenidas en condiciones de producción extensiva en regiones tropicales. Si esta actividad se combina con la evaluación de la condición corporal se podría tener información más precisa del estado nutricional de estas hembras.

En cuanto a la evaluación del modelo, se observó en el análisis de regresión que el intercepto y la pendiente no fueron diferentes a 0 y 1, respectivamente (P > 0,05). Siguiendo los criterios de Tedeschi (2006), estos resultados evidencian que el modelo puede ser usado para predecir el PV de novillas de reposición cruzadas. Además, el valor del CCC (Lin, 1989; Nickerson, 1997; Liao, 2003) fue de 0,97, lo cual indica una alta precisión del modelo. También este análisis confirma que el modelo presenta una alta exactitud y reproducibilidad. El sesgo medio (Y-X) y el CD fueron de 9,80 y 1,19, respectivamente, lo que sugiere una ligera subestimación del PV [CD > 1 indica subestimación y D < 1 indica una sobreestimación (Tedeschi 2006)] con una variación de alrededor del 19%. El valor del MEF fue de 0,96 resultando una buena bondad de ajuste del modelo. Por su parte, el MSEP confirmó que una alta proporción del error está asociado con los errores aleatorios (65% del MSEP) del modelo (Tedeschi *et al.*, 2006). Los resultados globales de estos indicadores confirman que la ecuación de predicción del PV para novillas de reposición cruzadas *Bos indicus* × *Bos taurus* puede ser usada con seguridad para estimar el PV de esos animales. Aunque debe tenerse en cuenta, que la ecuación va a funcionar adecuadamente solo sí se usa en novillas similares a las de este estudio y mantenidas en condiciones de producción extensivas en trópico. Si

se desea emplear la ecuación en otro tipo de animales, razas o sistemas de producción, primero se debe evaluar su funcionalidad bajo esas condiciones específicas.

Conclusiones

El AC permite predecir con una alta precisión, exactitud y reproducibilidad el PV novillas de reposición de reemplazo mantenidas bajo condiciones de trópico húmedo.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Sr. Ever Velasco, al Ing Ever Velasco, al Sr. Herrera y al MVZ Miguel Magaña Núñez, por las facilidades otorgadas para realizar el presente estudio; así como su disponibilidad y su atención hacia nosotros.

Bibliografía

Bretschneider G, Cuatrin A, Arias D, Vottero D (2014). Estimation of body weight by an indirect measurement method in developing replacement Holstein heifers raised on pasture. Archivos de Medicina Veterinaria 46: 439-443.

Cochran WG, Cox GM (1957) Experimental Design, 2nd. Ed. John Wiley & Sons, New York, NY. 615 pp.

Coopman F, De Smet S, Laevens H.C, Zeveren AV, Duchateau L (2009). Live weight assessment based on easily accessible morphometric characteristics in the double-muscled Belgian Blue beef breed. Livestock Science 125: 318-322.

Dingwell RT, Wallace MM, McLaren CJ, Leslie CF, Leslie KE (2006). An evaluation of two indirect methods of estimating body weight in Holstein calves and heifers. Journal of Dairy Science 89: 3992-3998.

Franco MO, Marcondes MI, Campos JMS, Freitas DR, Detmann E, Valadares-Filho SC (2017). Evaluation of body weight prediction Equations in growing heifers. Acta Scientiarum. Animal Sciences 39: 201-206.

Heinrichs AJ, Rogers GW, Cooper JB (1992). Predicting body weight and wither height in Holstein heifers using body measurements. Journal of Dairy Science 75: 3576-3581.

Heinrichs AJ, Erb HN, Rogers GW, Cooper JB, Jones CM (2007). Variability in Holstein heifer heart-girth measurements and comparison of prediction equations for live weight. Preventive Veterinary Medicine 78: 333-338.

Heinrichs AJ, Heinrichs BS, Jones CM, Erickson PS, Kalscheur KF, Nennich TD, Heins BJ, Cardoso FC (2017). Short communication: Verifying Holstein heifer heart girth to body weight prediction equations. Journal of Dairy Science 100*:* 8451-8454. DOI: 10.3168/jds.2016-12496.

Lesosky M, Dumas S, Conradie I, Handel IG, Jennings A, Thumbi S, Toye F, Bronsvoort BMC (2012). A live weight-heart girth relationship for accurate dosing of east African shorthorn zebu cattle. Tropical Animal Health and Production 45: 311-316.

Liao JJZ (2003). An improved concordance correlation coefficient. Pharmaceutical Statistics 2: 253-261.

Lin, LIK (1989). A concordance correlation coefficient to evaluate reproducibility. Biometrics 45: 255-268.

Loague K, Green RE (1991). Statistical and graphical methods for evaluating solute transport models: Overview and application. Journal of Contaminant Hydrology 7: 51-73.

Lukuyu MN, Gibson JP, Savage DB, Duncan AJ, Mujibi FDN, Okeyo AM (2016). Use of body linear measurements to estimate liveweight of crossbred dairy cattle in smallholder farms in Kenya. SpringerPlus. 5: 63. DOI:10.1186/s40064-016-1698-3.

Mayer DG, Butler DG (1993). Statistical validation. Ecological Modelling 68: 21-32.

Model Evaluation System. By license of Dr. Luis O. Tedeschi; 230 Kleberg Center, TAMU College

Station, TX 77840. 2012. Disponible en: https://nutritionmodels.tamu.edu/models/mes/ (Consultado: 22 junio 2017)

Mota DA, Berchielli TT, Canesin RC, Rosa BL, Ribeiro AF, Brandt HV (2013). Nutrient intake, productive performance and body measurements of dairy heifers fed with different sources of protein. Acta Scientiarum. Animal Sciences 35(3): 273-279.

Nickerson CAE (1997). A note on "A concordance correlation coefficient to evaluate reproducibility". Biometrics 53: 1503-1507.

Oliveira AS, Abreu DC, Fonseca MA, Antoniassi PMB (2013). Short communication: Development and evaluation of predictive models of body weight for crossbred Holstein-Zebu dairy heifers. Journal of Dairy Science 96: 6697-6702.

Pérez-Hernández F, García-Herrera R, Salazar-Cuytun R, Cruz-Sánchez O, Piñeiro-Vázquez A, Casanova-Lugo F, Magaña-Monforte J, Chay-Canul A (2017). Uso del ancho de cadera para estimar el peso vivo en novillas tropicales de reemplazo. Revista Agroproductividad 10(9): 48-52.

Reis GL, Albuquerque FHMAR, Valente BD, Martins GA, Teodoro RL, Ferreira MBD, Monteiro JBN, Silva MDA, Madalena FE (2008). Predição do peso vivo a partir de medidas corporais em animais mestiços Holandês/Gir. Ciência Rural 38: 778-783.

SAS 9.3 Software. 2010. Institute Inc., Cary, North Carolina, USA.

Tebug SF, Missohou A, Sabi SS, Juga J, Poole EJ, Tapio M, Marshall K (2016). Using body measurements to estimate live weight of dairy cattle in low-input systems in Senegal. Journal of Applied Animal Research 46: 87-93. DOI: 10.1080/09712119.2016.1262265

Tedeschi LO (2006) Assessment of the adequacy of mathematical models. Agricultural Systems 89: 225-247.

Wangchuk K, Wangdi J, Mindu M (2017). Comparison and reliability of techniques to estimate live cattle body weight. Journal of Applied Animal Research 46: 349-352. DOI: 10.1080/09712119.2017.1302876

Wood S, Reyher KK, Barrett DC (2015). Comparison of visual assessment and heart girth tape measurement for estimating the weight of cattle in clinical practice. The Veterinary Journal 203: 337-338.

(Aceptado para publicación el 8 de junio de 2018)

Viabilidad comercial del tomate español en la Unión Europea

F.J. Pérez-Mesa[1], J.C. Pérez-Mesa[2,*] y D.L. Valera-Martínez[3]

[1] Departamento de Ingeniería, Universidad de Almería, Carretera de Sacramento, s/n. Cañada de San Urbano, 04120 Almería
[2] Departamento de Economía y Empresa, Universidad de Almería, Carretera de Sacramento, s/n. Cañada de San Urbano, 04120 Almería
[3] CIAIMBITAL (Centro de Investigación en Agrosistemas Intensivos Mediterráneos y Bioecnología Agroalimentaria), Universidad de Almería, Carretera de Sacramento, s/n. Cañada de San Urbano, 04120 Almería

Resumen

Este trabajo estudia la situación comercial del tomate español en el mercado de la Unión Europea de 28 miembros, tomando como referencia a Almería como principal provincia vendedora. Este cultivo representa el 26% del valor de la cartera de productos de las empresas comercializadoras, por lo que cualquier crisis que le afecte pondría en cuestión la viabilidad económica del sector en su conjunto. El análisis realizado se basa en una revisión a largo plazo de las variables comerciales más relevantes (flujos de compraventa, precios y costes). En los últimos años, se aprecia que las ventas españolas a Francia, Países Bajos, Reino Unido y Alemania muestran síntomas de agotamiento debido al aumento de la oferta intra y extra europea. Esta situación está provocando tensiones en el margen del agricultor debido a unos precios fluctuantes, pero con tendencia negativa. Se comprueba, por tanto, que la situación del mercado está afectando negativamente a la rentabilidad en origen. El establecimiento de una relación comercial más estrecha con los miembros de la cadena de suministro, puede ser una estrategia correcta de competencia.

Palabras clave: Mercado europeo, cadena de suministro, exportación, redes, Ghepi.

Abstract
Viability of Spanish tomatoes exportation to the European Union

This paper studies the marketing of the Spanish tomato in the European Union market of 28 members, taking Almeria as reference (main seller province). This crop represents 26% of products portfolio of the marketing companies, so any crisis in this vegetable will affect the economic viability of the horticultural sector. The analysis performed is based on a long-term review of the most relevant commercial variables (purchase-sale flows, prices and costs). In recent years, it can be seen that Spanish sales to France, Netherlands, the United Kingdom and Germany show signs of exhaustion due to the increase in intra and extra European supply. This situation is negative for farmer's margin due to fluctuating prices, but with a negative trend. Thus, it is verified how the situation of the market is affecting the profitability of farmers. Establishing a closer relationship with members of the supply chain can be a right competition strategy.

Keywords: Tomato, European market, supply chain, exportation, networks, Ghepi.

* Autor para correspondencia: juancarl@ual.es
https://doi.org/10.12706/itea.2018.023

Introducción

El tomate es la hortaliza más vendida en la Unión Europea (UE). El comercio intra y extracomunitario de la UE alcanzó en el año 2016 los 3.772 millones de € (Eurostat, 2017). El principal país, por ventas, es Países Bajos con un 35% del total: a su capacidad productiva, cada vez más amplia, incluso en los meses más fríos, se le debe sumar su habilidad comercial que le permite complementar su oferta en otoño-invierno, convirtiéndose en un centro re-expedidor (Pérez-Mesa *et al*., 2015). España es el siguiente país vendedor, con un 34%. Francia y Bélgica son otras áreas comerciales relevantes que en los últimos años están potenciando sus habilidades de reventa (De Pablo *et al.,* 2016). Otros importantes suministradores fuera de la UE son: Marruecos, con una cuota del 11% de las compras europeas (en 2016 exportó por valor de 411 millones de €); y Turquía (2% del total). De forma reciente empiezan a aparecer otros orígenes, como Túnez o Senegal.

En España (Figura 1), Almería es la provincia con mayores ventas al exterior[1], seguida de Murcia y Granada. El tomate es el principal producto comercializado en Almería. En el año 2016 se cultivaron más de 10.300 hectáreas con una producción de 1,107 millones de toneladas (Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural, 2017a). Este cultivo representa el 26% del valor de la producción comercializada (Cajamar, 2017). La venta a la UE es el destino prácticamente del 50% de la producción[2]. Los clientes son, en orden de im-

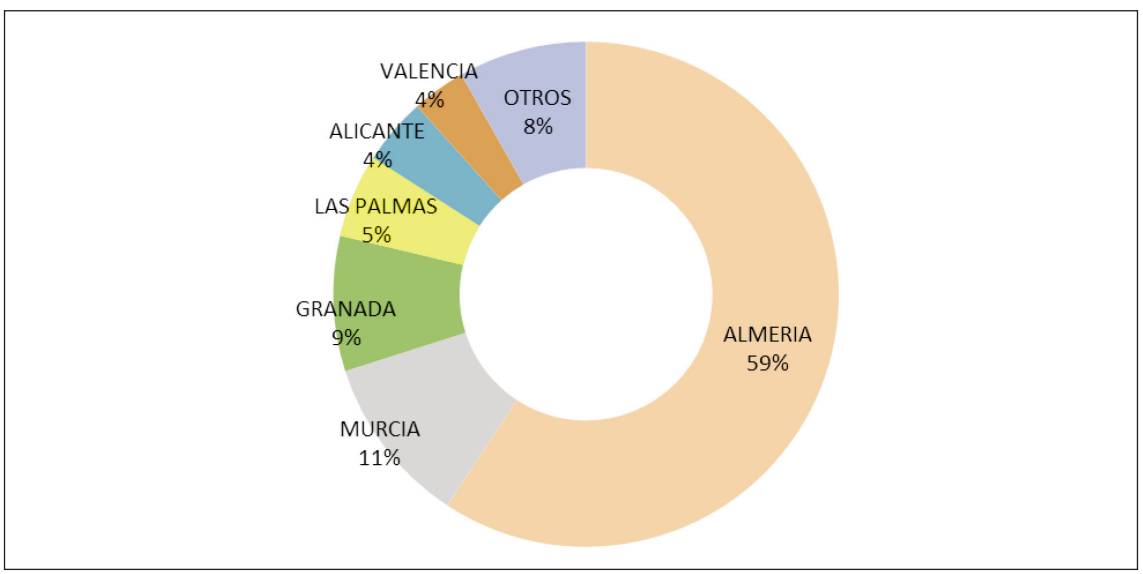


Figura 1. Principales exportadores de tomate en España. Toneladas. Año 2016.
Fuente: Elaboración propia con datos del Instituto de Comercio Exterior (ICEX, 2017).
Figure 1. Main Spanish exporting regions. Tons. Year 2016.

1. Las ventas intracomunitarias representan el 98% del total (ICEX, 2017).

2. En 2016, las ventas a la UE y las exportaciones extracomunitarias de Almería sumaron 538.111 toneladas (ICEX, 2017). En el año 2007, el porcentaje de la producción enviado al exterior fue el 43%, alcanzando un máximo de 58% en el año 2012 y 2013.

portancia: Alemania, Francia, Reino Unido y Polonia (Figura 2). En los últimos años se aprecia un aumento de las compras del este de Europa que compensan el descenso de las ventas en el mercado francés como consecuencia de la competencia del tomate procedente de Marruecos. Por otro lado, Países Bajos está perdiendo cuota como comprador de producto almeriense por varias circunstancias (Pérez-Mesa *et al.*, 2015): i) el crecimiento de la capacidad comercial de esta provincia, que ya no necesita al re-expedidor holandés y ii) el crecimiento de la producción de Países Bajos en ciclos típicos almerienses.

A la vista de los datos, se aprecia que los flujos y circunstancias que influyen en la venta de este cultivo son complejos. De hecho, diversos trabajos han analizado la comercialización de tomate desde varios puntos de vista: i) más empresarial, es el caso de De Pablo *et al.* (2017) o ii) puramente comercial (Martín *et al*., 2002; Wijnands, 2003; Pérez-Mesa, 2007; García-Álvarez-Coque *et al*., 2009; De Pablo *et al.*, 2016; Capobianco-Uriarte *et al*., 2017). En todos ellos se destaca el carácter estratégico de esta hortaliza. Es más, para el caso concreto de Almería, cualquier crisis que afecte a este producto podría

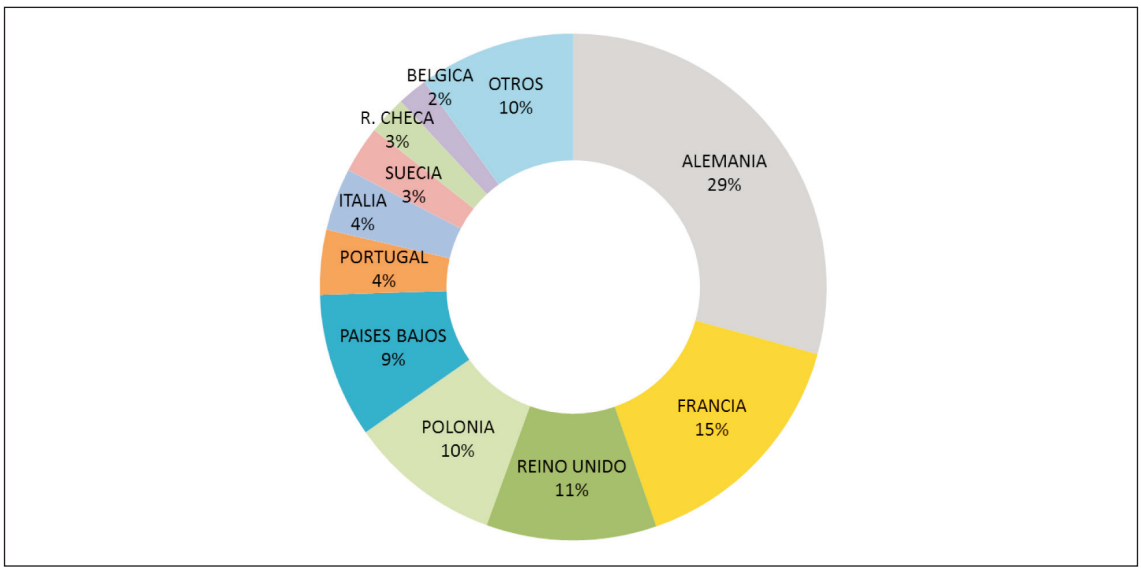


Figura 2. Destinos de la exportación de tomate Almería. Toneladas. Año 2016.
Fuente: Elaboración propia con datos ICEX (2017).
Figure 2. Destinations for tomato exports from Almeria. Tons. Year 2016.

poner en problemas la viabilidad económica del sector hortícola en su conjunto (Galdeano-Gómez *et al*., 2015).

Este trabajo tiene como objetivo analizar la situación comercial española, en relación con la competencia, en el mercado UE, centrándose en Almería como principal vendedor nacional. De la viabilidad futura del área comercial europea dependerá el mantenimiento de este cultivo en las principales zonas de exportación españolas (Almería, Murcia, Granada, Alicante y Canarias). De forma adicional, se pretende

comprobar si la situación comercial está afectando a la rentabilidad del agricultor. Para ello se estudiarán los resultados de las últimas campañas en origen. Por último, se propondrán acciones de mejora que puedan favorecer la competitividad internacional.

Material y métodos

Para el estudio propuesto se analizarán las tendencias a largo plazo de las variables que pueden determinar la competitividad comercial de un área desde el punto de vista de su ventaja comparativa, es decir, precios, volúmenes y costes (De Pablo y Pérez-Mesa, 2004). En primer lugar, se elige realizar un seguimiento de las exportaciones, en cantidad y valor. En algunos casos será preferible realizar un análisis de volumen por expresar la tendencia fundamental de compra: al hablar de un producto altamente perecedero el precio puede recoger aspectos muy diversos (calidad, variedad, estacionalidad, etc) que pueden desvirtuar el análisis. Por otro lado, la comparación con zonas competidoras deberá hacerse teniendo en cuenta las campañas de venta ya que cada país puede ocupar periodos distintos.

Como novedad este trabajo utiliza el análisis en red de flujos comerciales. Para ello se emplea el software *open-source* Gephi. Los elementos fundamentales de una red serán los nodos (o vértices) y los enlaces (aristas o conexiones). Los nodos representan las entidades genéricas que constituyen el sistema. Los enlaces muestran cómo los nodos interactúan o están relacionados entre sí. En nuestro caso los nodos serán países y las aristas harán referencia a los flujos comerciales en toneladas entre países. Ghepi facilita el cálculo de diversos índices de "centralidad" por nodo que permiten determinar su importancia relativa y mostrarlos en la red. Entre los diversos indicadores destaca el "grado" de un nodo (G), que medirá el número de relaciones (i) que tiene, tanto de salida como de entrada, es decir, será la suma de las aristas (T): $G_i = \sum_i^n T_i$. El "grado ponderado" (GP) suma el número de aristas para un nodo, pero considerando el peso (w_i) de cada arista: $GP_i = \sum_i^n w_i T_i$. Otros índices útiles son: la "cercanía" que muestra el número de caminos más cortos (geodésico) que pasan por el nodo, la "intermediación" como el número de veces que un nodo pertenece a los caminos más cortos, o el "eigenvector" que representa la importancia sistémica de la red (Umadevi, 2013). En el trabajo se mostrarán los nodos (países) diferenciados según el grado ponderado de salida (exportaciones) y de entrada (importaciones). Nótese que GP_i será, en nuestro estudio, la suma de importaciones y exportaciones.

La visualización correcta de la red es un punto crucial, hay muchas técnicas para obtener la distribución óptima, las más utilizadas son los métodos de distribución guiados por fuerzas. En general, fueron propuestos para verificar distintos criterios estéticos (Kosak *et al.*, 1994): 1) distribución uniforme de los nodos, 2) longitud uniforme de los enlaces, 3) minimización de los cruces (superposiciones) entre enlaces, y 4) simetría. En nuestro caso, se ha utilizado el algoritmo de Fruchterman y Reingold (1991). Este modelo simula la atracción electrostática entre nodos conectados.

El enfoque de redes, y el software Gephi en particular, han sido aplicado en numerosos trabajos, sobre todo para el estudio de redes sociales con el objetivo de determinar los nodos de dominio de éstas en función de las entradas y salidas de información (Hernández-García, 2014). En los últimos años, se está extendiendo su uso en agricultura, fundamentalmente como método de análisis de la coordinación entre proyectos de desarrollo agrario de muy diversa índole (Tostes *et al.*, 2017; Brinkley, 2017). Sin embargo, su utilización para el estudio del comercio agroalimentario sigue siendo escasa (Fair *et al.*, 2017).

El análisis de los flujos comerciales en tomate ha sido analizado desde diversos puntos de vista. Así Pérez-Mesa y De Pablo (2007) desarrollan una tabla input-output para clasificar a los países UE en su faceta productora, receptora o re-expedidora. Este mismo esquema es desarrollado y actualizado en De Pablo *et al.* (2016). En contraposición, el análisis de redes proporciona una método mucho más intuitivo y sencillo de interpretar.

Por último, para analizar el impacto local de la actividad comercial se elige realizar un seguimiento de precios y costes, en origen, de la provincia de Almería por ser la principal comercializadora nacional. Los costes son una variable interna, sin embargo, los precios de liquidación al agricultor serán un indicador de la situación de los mercados de destino, una vez descontados los costes incurridos en la comercialización (Galdeano-Gómez, 2007).

Resultados

La situación en destino: volumen comercializado y precio de venta en la UE

La tendencia general en el comercio de tomate dentro de la UE muestra un aumento de los intercambios: la media entre 2004-2009 y 2010-2016 crece un 9% (Tabla 1) debido a los envíos de fuera de Europa que doblan la variación respecto al producto originario del continente. Si se analiza el crecimiento en función del país de origen, se aprecia que Marruecos, Francia y Países Bajos han aumentado, de forma relevante, sus envíos a la UE. En España descienden las ventas comunitarias medias (un 2%), al igual que en Italia y de forma mucho más pronunciada en Turquía. El caso de crecimiento francés es paradigmático porque tiene su origen en producto revendido con origen en Marruecos.

Tabla 1. Ventas de tomate a la UE. Toneladas
Table 1. Sales of tomatoes in the EU. Tons

Vendedor	Media 2004-2009	País/Total (%)	Media 2010-2016	País/Total (%)	% Variación
Países Bajos	810.124	29	986.212	33	22
España	947.632	34	925.028	31	-2
Almería	420.885	15	515.172	17	38
Marruecos	264.921	10	360.223	12	36
Francia	118.452	4	188.362	6	59
Bélgica	154.089	6	167.734	6	9
Alemania	85.601	3	90.310	3	6
Italia	103.117	4	101.208	3	-2
Turquía	82.200	3	57.638	2	-30
Otros	214.525	8	147.087	5	-31
UE_INTRA	2.363.551	85	2.545.593	84	8
UE_EXTRA	417.110	15	478.209	16	15
TOTAL	2.780.661	100	3.023.802	100	9

Fuente: Elaboración propia con datos del ICEX (2017) y Eurostat (2017).

En este sentido, cabe recordar que Francia es el 79% del destino del tomate exportado por Marruecos a la UE (Pérez-Mesa, 2015). La situación española también es destacable por su heterogeneidad, ya que la provincia de Almería ha conseguido crecer a tasas muy relevantes (38%), junto con la costa granadina. Sin embargo, las ventas de suministradores nacionales como Tenerife, Las Palmas, Murcia o Alicante han descendido en las últimas campañas (Pérez-Mesa *et al*., 2015).

Por el lado de la demanda (Tabla 2), Alemania es el principal comprador, seguido de Francia y Reino Unido. El carácter re-expedidor de Países Bajos es conocido. España es un comprador de tomate, intra y extracomunitario, procedente de Portugal, Marruecos y Países Bajos[3]. De la evolución de las medias calculadas destaca: el crecimiento moderado de Alemania; y el fuerte aumento de las compras polacas e italianas, que ha provocado que España pueda recuperar parte de la cuota perdida en Francia. En general se aprecia una tendencia a un mercado más diversificado. Por el contrario, sobresale: la caída de las compras de Reino Unido, que ha tenido incidencia negativa sobre todo en las ventas canarias; y la bajada de las adquisiciones holandesas, que se explican por el crecimiento de la cosecha propia en meses no tradicionales.

Tabla 2. Compras intra y extracomunitarias de tomate de la UE. Toneladas
Table 2. Intra- and extra-EU purchases of tomato. Tons

Comprador	Media 2004-2009	País/Total (%)	Media 2010-2016	País/Total (%)	% Variación
Alemania	698.452	25	732.410	24	5
Francia	479.172	17	538.503	18	12
Reino Unido	414.747	15	397.538	13	-4
Países Bajos	204.561	7	190.038	6	-7
España	157.874	6	157.261	5	0
Polonia	79.350	3	131.242	4	65
Italia	97.080	3	122.392	4	26
Otros	649.425	23	754.417	25	16
TOTAL UE	2.780.661	100	3.023.802	100	9

Fuente: Elaboración propia con datos del ICEX (2017) y Eurostat (2017).

Si nos centramos en la evolución de las ventas intracomunitarias españolas y almerienses, podremos conocer en qué situación se encuentra su balance comercial (Tabla 3). Las ventas españolas a la UE han caído, de media, un 2%. Los países donde más descienden son, en este orden, Países Bajos, Reino Unido y Francia. La caída en Países Bajos no resulta preocupante ya que, como se ha visto es general, y por tanto no significa que se esté

3. Las principales provincias importadoras son, en este orden: Madrid, Almería, Badajoz y Barcelona.

Tabla 3. Ventas intracomunitarias de tomate de España a la UE. Toneladas
Table 3. Tomato sales from Spain to the EU. Tons

Comprador	Media 2004-2009	País/Total (%)	Media 2010-2016	País/Total (%)	% Variación
Alemania	204.703	22	204.821	22	0
Francia	151.972	16	143.025	15	-6
Reino Unido	179.711	19	142.853	15	-21
Países Bajos	158.925	17	116.848	13	-26
Polonia	40.532	4	58.487	6	44
Italia	34.170	4	42.411	5	24
Otros	177.619	19	216.583	23	22
TOTAL UE	947.632	100	925.028	100	-2

Fuente: Elaboración propia con datos del ICEX y Eurostat (2017).

abasteciendo en otra zona distinta a España (aunque en los últimos años hayan crecido de forma moderada las compras a Marruecos). Sin embargo, la situación de Reino Unido y Francia, y el crecimiento nulo de Alemania, son síntomas de un mercado saturado.

En los periodos analizados, la situación de Almería (Tabla 4) ha seguido un camino distinto al del conjunto nacional. Esta provincia ha podido crecer de forma importante en Alemania y Reino Unido. Los dos mercados con peor comportamiento son Países Bajos y Francia, con una disminución del 2%. La competencia marroquí, en este último país, ha provocado la caída de las ventas, que sin embargo han podido ser compensadas por el crecimiento de las compras de los países del este de Europa (Polonia y República Checa) e Italia.

La evolución de las cuotas de mercado de Almería y el resto de España (Figura 3), ponen en evidencia la situación comentada. Para el caso del resto de España, se pierde cuota en casi la totalidad la UE, aunque por intensa destaca la caída en Reino Unido donde se pierden 12 puntos porcentuales. El panorama en Almería es distinto: sólo en Francia existe una caída de la cuota de mercado de dos puntos. Sin embargo, al observar cifras relativas se aprecia cómo los crecimientos absolutos no muestran un aumento equitativo. Esto es relevante porque nos indica que Almería también se está viendo afectada negativamente por la existencia de fuentes alternativas de suministro (fundamentalmente provenientes del norte de África y Países Bajos) que están cubriendo los crecimientos de la demanda de las zonas tradicionales de compra (Alemania, Reino Unido y Francia).

El análisis realizado hasta ahora ha sido en unidades físicas (volumen), por lo queda responder cuál es la estrategia de precios de Almería que le ha permitido continuar vendiendo mayores cantidades que el resto de España. Si nos centramos en las ventas intracomunitarias españolas y almerienses, y estudiamos la evolución de los valores de venta a los clientes dentro de la UE (Figura 4), se aprecia que Almería ha tendido a reducir los precios de venta como fórmula para aumentar su competitividad. Este hecho puede haber sido

Tabla 4. Ventas intracomunitarias de tomate de Almería a la UE. Toneladas
Table 4. Tomato sales from Almeria to the EU. Tons

Comprador	Media 2004-2009	País/Total (%)	Media 2010-2016	País/Total (%)	% Variación
Alemania	102.069	24	133.927	26	31
Francia	87.951	21	86.219	17	-2
Países Bajos	54.015	13	53.114	10	-2
Reino Unido	34.378	8	51.523	10	50
Polonia	25.153	6	44.719	9	78
Italia	19.941	5	28.100	5	41
Otros	97.378	23	117.570	23	21
TOTAL UE	420.885	100	515.172	100	22

Fuente: Elaboración propia con datos del ICEX y Eurostat (2017).

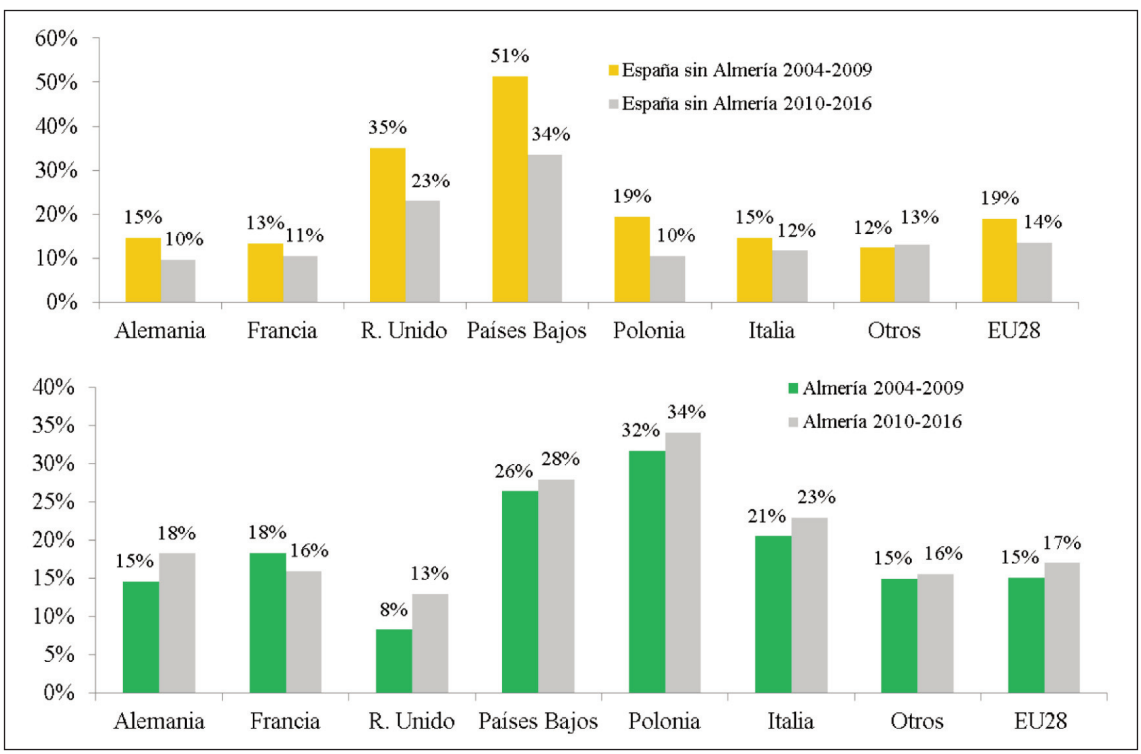


Figura 3. Evolución de la cuota de mercado del tomate en el comercio UE.
Fuente: Elaboración propia con datos del ICEX y Eurostat (2017).
Figure 3. Evolution of the Almerian tomato market share in the EU.

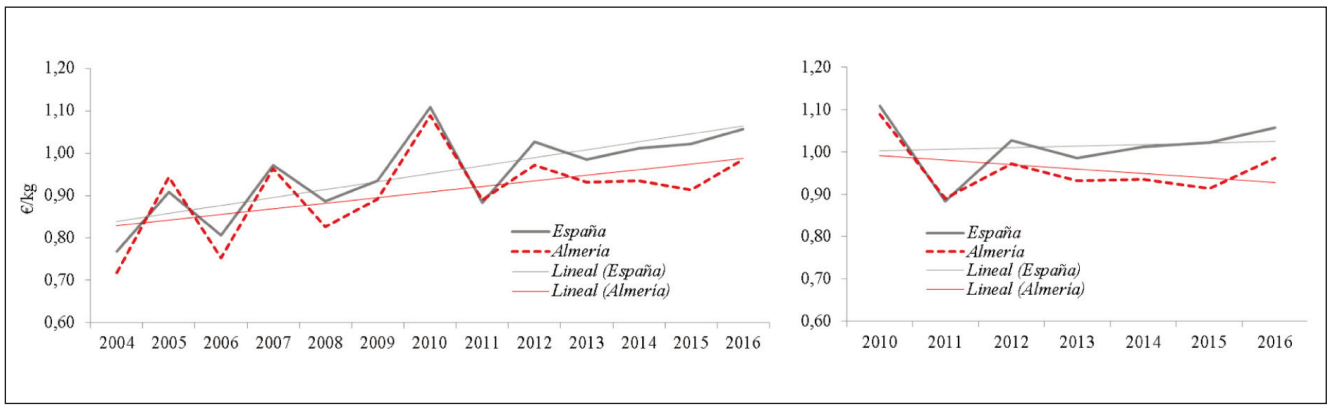


Figura 4. Evolución del precio medio de las ventas españolas de tomate a la UE (€/kg).
Fuente: Elaboración propia con datos del ICEX.
Figure 4. Evolution of the average Spanish tomato price in the EU (€/kg).

decisivo para aumentar su cuota de mercado frente al resto de España. En estos precios bajos también puede haber influido la venta de variedades más estándares frente a las especialidades. Por otro lado, la tendencia a largo plazo es positiva. Sin embargo, si se calcula ésta contemplando sólo los últimos años[4], se observa que pasa a ser negativa exclusivamente para el caso almeriense. Esta situación puede indicar que la estrategia de competencia a precios bajos puede estar afectando a la rentabilidad del agricultor en origen.

Otro punto relevante es el estudio de la evolución de los flujos comerciales entre países ya que indica en qué mercados la competencia es más intensa. Para ello se realiza un análisis de redes donde se muestra la intensidad de las interacciones entre compradores y vendedores. En la Figura 5 se observa (nodos en rojo) la intensidad vendedora por país. Las flechas (y grosor) indican el origen-destino y el volumen de las ventas. Se puede ver que los países dominadores del comercio europeo son España y Países Bajos. Este último país es el principal suministrador de Alemania. En esta zona encuentra la competencia del tomate español. Marruecos es el mayor vendedor de tomate en Francia y está *expulsando* al tomate español de este mercado, donde es su única competencia. En Reino Unido converge el tomate español y el procedente de Países Bajos. En Polonia, el tomate español es el dominador. Si consideramos en los nodos el potencial comprador (Figura 6), vemos que Alemania, Francia y Reino Unido son los grandes impulsores del comercio europeo. Cada vez más van teniendo presencia, por el lado de la demanda, países como Polonia, República Checa, Italia, Portugal, Bélgica e incluso Suecia y Bulgaria.

Por último, se pretende comprobar cómo los calendarios de venta han cambiado con el paso del tiempo. Nos centraremos en los dos principales competidores de España, es decir,

4. Se escoge 2010 porque se detecta un cambio de ciclo que vino marcado por la aparición de importantes daños en las cosechas como consecuencia de la *Tuta absoluta* que hizo descender la producción (oferta) en buena parte del mediterráneo, lo que motivó un aumento de precios.

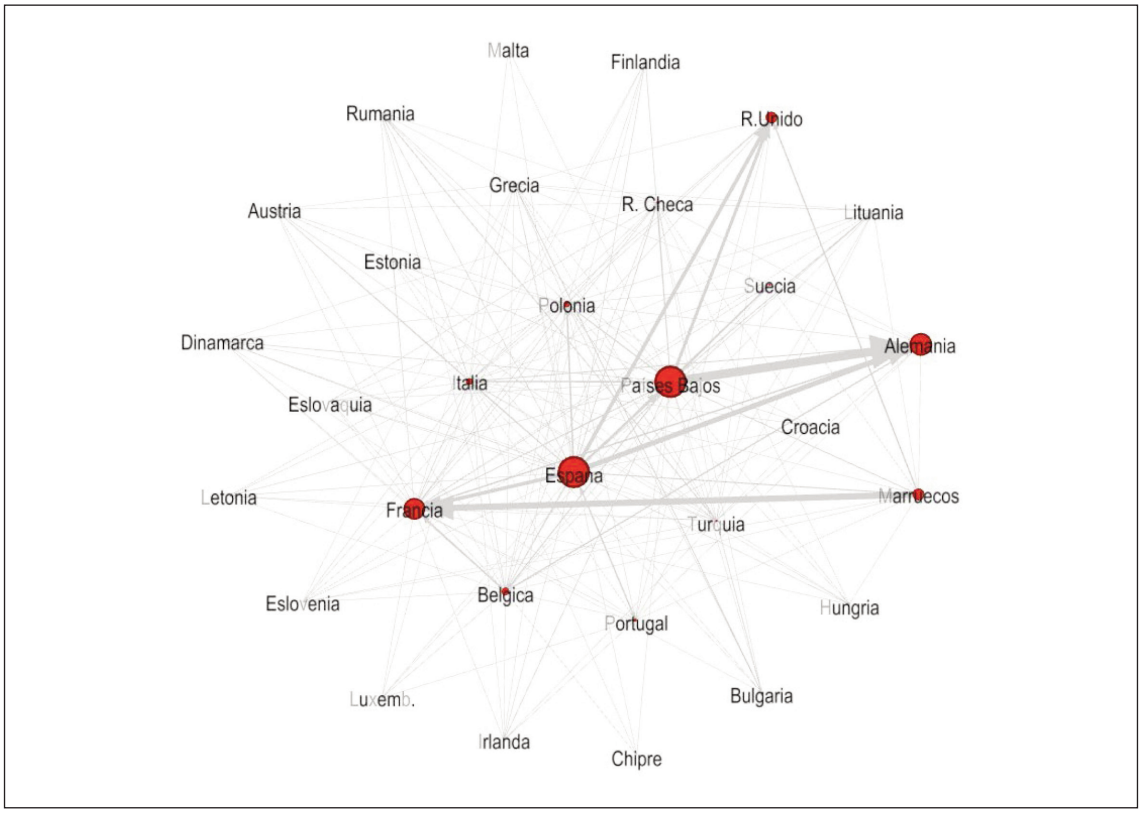


Figura 5. Red comercial de ventas. Toneladas. Año 2016.
Nodo (país) = Grado ponderado de salida (exportaciones); Arista = volumen exportado.
Figure 5. Commercial sales network. Tons. Year 2016.

Países Bajos y Marruecos (Figura 7). La distribución por mes de las ventas españolas permanece casi inalterada en los últimos 10 años. Sin embargo, Países Bajos muestra un calendario más amplio que aumenta de manera relevante en el periodo comprendido entre octubre y mayo. Si a este hecho, sumamos el descenso de las compras intracomunitarias, vemos una estrategia clara por ocupar los meses de otoño e invierno. La puesta en funcionamiento de nuevas hectáreas con luz artificial está permitiendo aumentar la productividad (Velez-Ramirez *et al*., 2014) y bajar los costes unitarios hasta alcanzar niveles de competitividad comparables al tomate español. Se estima que en Países Bajos existen ya más de 300 hectáreas de producción en invierno (Losilla, 2017). En el caso de Marruecos se aprecia un crecimiento en todos los meses, aunque más acusado en noviembre-marzo y abril, aprovechando que en este último periodo se produce el cambio de proveedor entre Países Bajos y España, y que la calidad del producto almeriense empieza a ser menor por la finalización de los ciclos productivos (Magán *et al*., 2007).

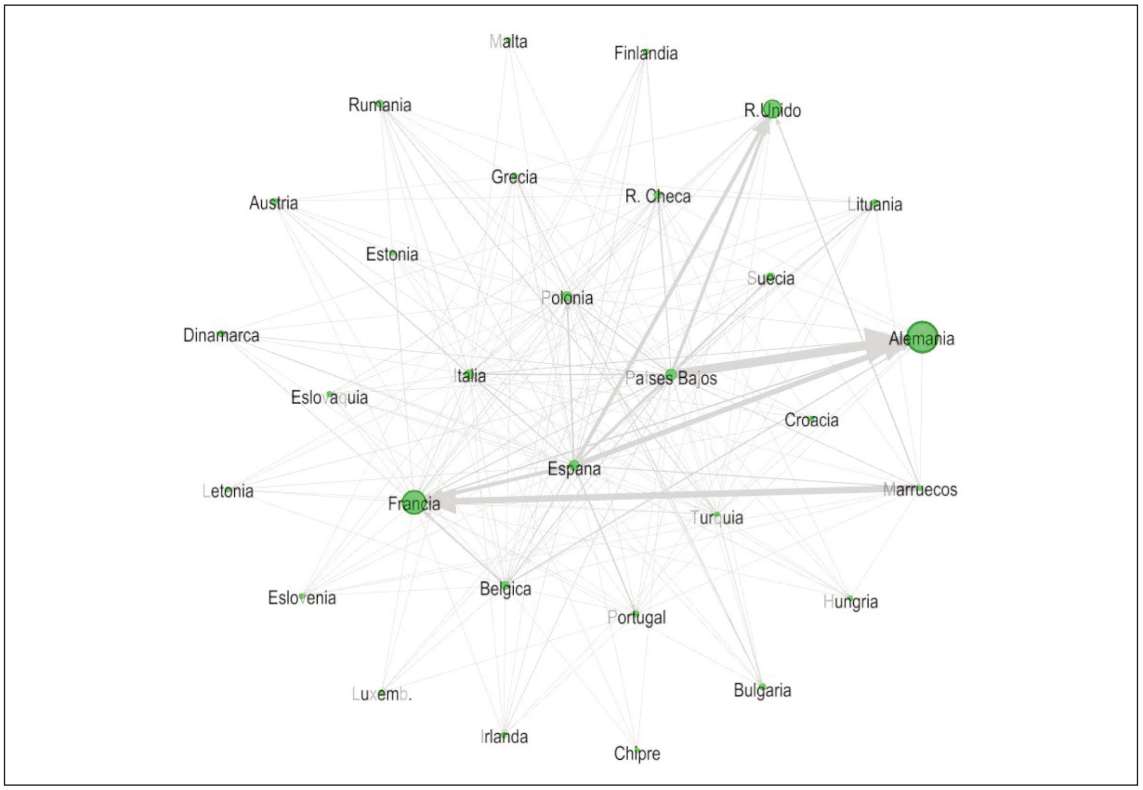


Figura 6. Red comercial de compras. Toneladas. Año 2016.
Nodo (país) = Grado ponderado de entrada (importaciones); Arista = volumen importado.
Figure 6. Commercial purchases network. Tons. Year 2016.

La situación en origen: precios y márgenes del agricultor

Se estudia a continuación cuál es el reflejo de la situación de los mercados de destino en los precios en origen y, en última instancia, en la rentabilidad del agricultor. Para realizar este trabajo nos centraremos en la provincia de Almería. El crecimiento de la superficie y producción (Figura 8) de este cultivo muestra un incremento continuo, alterado por momentos puntuales de caída, debidos en su mayoría a problemas exógenos. Sin embargo, es conveniente comentar algunos acontecimientos que marcan cambios relevantes. En 2008, la crisis económica hizo descender tanto superficie como producción, posteriormente, en 2010, la aparición de la *Tuta absoluta* provocó una caída relevante de la productividad. A partir de 2011, la superficie destinada a tomate empezó a subir. Los motivos fueron: la caída de superficie de calabacín por el virus del New Delhi; las ampliaciones de fincas buscando mayor productividad y eficiencia; la entrada de nuevos agricultores provenientes de otros sectores económicos; y en menor medida el aumento de la superficie de ecológico. A partir de 2014 los indicadores no muestran una tendencia clara porque el agricultor empieza a reconocer la existencia de dudas razonables sobre la viabilidad de este cultivo.

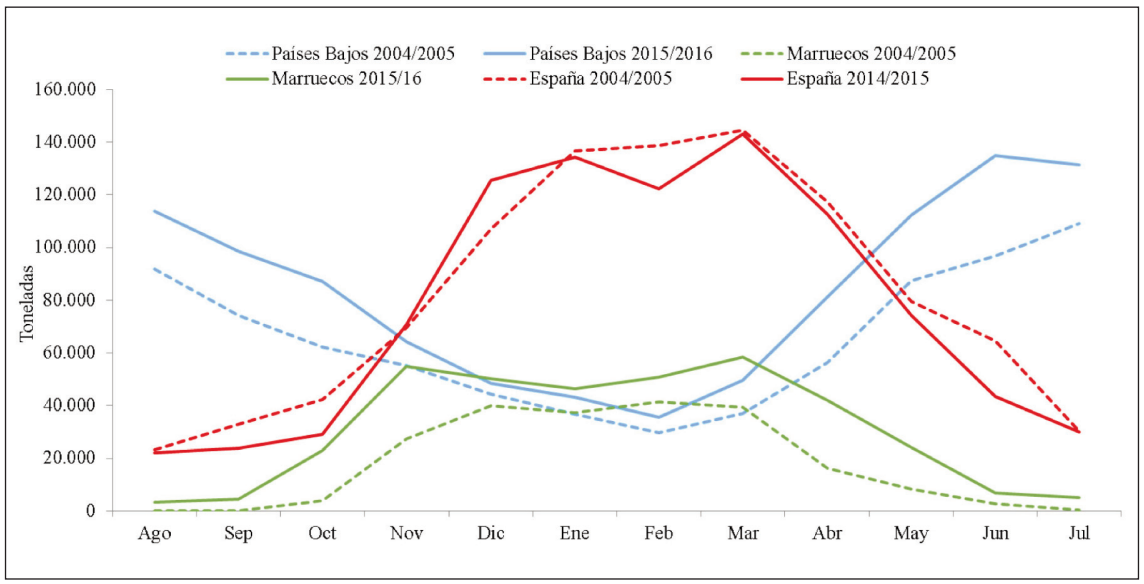


Figura 7. Evolución de los calendarios de venta de tomate de España, Países Bajos y Marruecos. Toneladas.

Fuente: Elaboración propia con datos del ICEX y Eurostat (2017).

Figure 7. Evolution of the calendar of tomato sales from Spain, the Netherlands and Morocco. Tons.

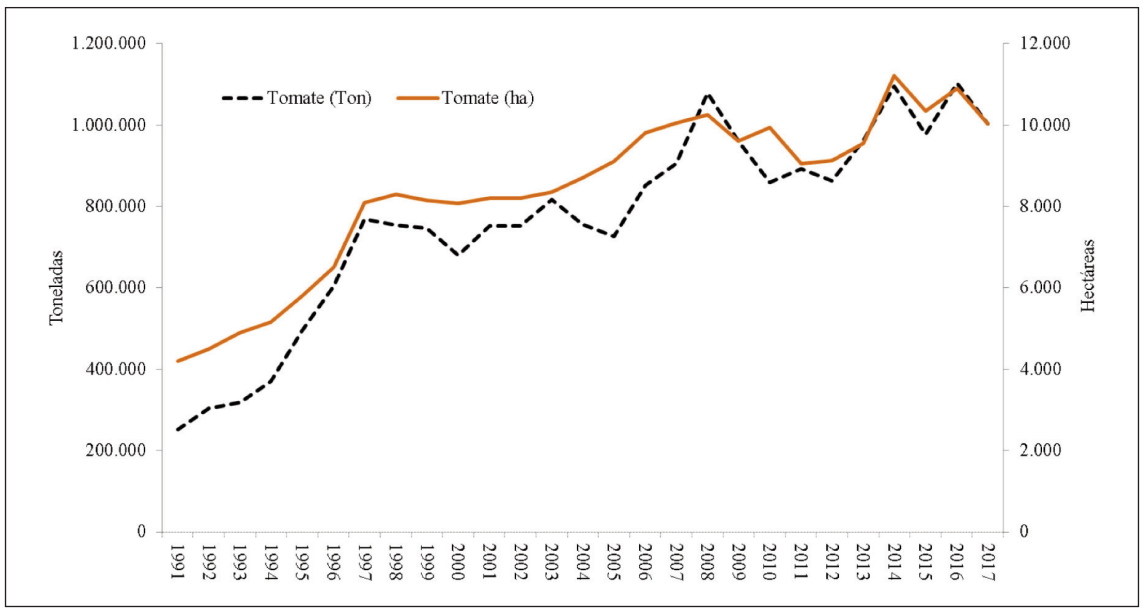


Figura 8. Evolución de superficie y producción de tomate en Almería. Toneladas y hectáreas.

Fuente: Elaboración propia con datos de Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural (2017a).

Figure 8. Evolution of land area and tomato production in Almería. Tons and hectares.

De la evolución de los precios a largo plazo[5] se aprecia la existencia de una tendencia negativa clara al incluir cotizaciones de 16 campañas, a pesar de que la última (2016/17) muestra un comportamiento muy positivo (Figura 9). En este sentido, se ha considerado introducir estos últimos datos porque, aunque fue un ciclo anómalo por circunstancias meteorológicas adversas que condicionaron la carencia de oferta, pueden dar robustez al cálculo de la tendencia. Si nos centramos en un periodo más corto, que se inicia en la campaña 2009/10, la tendencia muestra un ascenso leve. La idea fundamental que subyace es que los precios recibidos por el agricultor de tomate tienden a la estabilización, pero con una cotización bastante inferior a la obtenida a comienzos de la década anterior.

Sería lógico preguntarse, dado que el tomate muestra una variedad importante de tipologías, si el comportamiento en tendencias ha sido el mismo. Para estudiar este hecho se han separado los precios para los principales tipos de tomate (Figura 10). Los datos reflejan que todas las variedades muestran un comportamiento muy similar: no podemos hablar de tipologías que se separen de la situación general.

Si se introducen los costes de producción[6] en el análisis (Figura 11), la situación varía. Se aprecia ahora que el margen del agricultor (precios de venta menos coste unitario) tiende a descender tanto en el largo como en el medio plazo. El coste debe ser considerado como una variable exógena a la situación comercial, pero que en un contexto de precios ajustados determina la sostenibilidad o no de la actividad agraria. En esta variable pueden existir diferencias muy relevantes en función del manejo propio de cada agricultor, por lo que su inclusión debe ser considerada con cautela.

Para comprobar la existencia de una relación entre la situación de los mercados de origen y destino, se incluye una comparación de las cantidades producidas, comercializadas a la UE y sus precios correspondientes (Figura 12). Lo primero que destaca es la existencia de un comportamiento similar en precios y cantidades. Es lógico pensar que la exportación se ve condicionada por la producción (oferta) y que las cotizaciones en destino tengan como referencia las existentes en origen, más aun teniendo en cuenta la transparencia que proporcionan los precios diarios ofrecidos por las alhóndigas y que puede consultar cualquier cliente nacional o extranjero. Otra cuestión relevante es la relación entre cantidad y precio: las bajadas de producción provocan, como era de esperar, una respuesta opuesta en el precio en origen y consecuentemente en destino (Ben Kaabia y Gil Roig, 2008). Si pensamos que el poder de fijación de precios, en los mercados europeos, corresponde al comprador, en su mayor parte la gran distribución europea (Pérez-Mesa y Galdeano-Gómez, 2015), vemos como éste es sensible a las circunstancias en origen. Por otro lado, podemos pensar que el exportador se ve forzado, por la existencia de un umbral mínimo (precio de venta en alhóndiga), a trasladarlo a sus ofertas al cliente. En la realidad es lógico que convivan ambas circunstancias.

Por otro lado, en la Figura 12, se aprecia cierto desacople en los últimos años, entre los precios pagados al agricultor y los precios de venta a la UE. Esto indica que al cliente le resulta más fácil encontrar producto en otros orígenes y que Almería está dejando de ser

5. Se escoge la campaña 2001/2002 como inicio, porque tal y como se pude observar (Figura 9) fue un momento de cambio de ciclo (aumento) en superficie y producción que no tuvo consecuencias en los precios, ya que estuvieron a un nivel alto.

6. Se inicia la serie en la campaña 2005/06 por no existir datos de costes disponibles de las campañas anteriores.

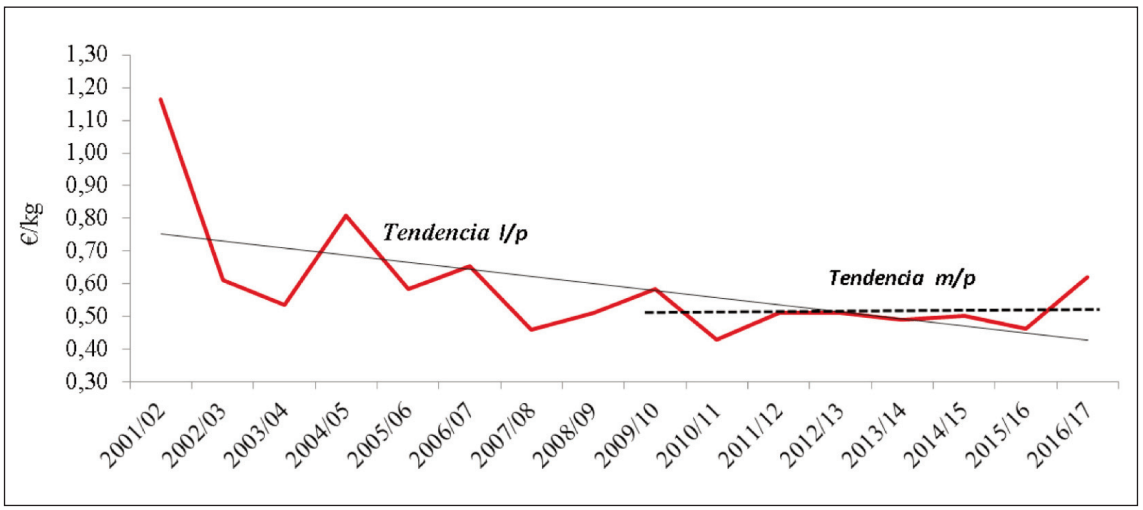


Figura 9. Evolución de precios de tomate pagados al agricultor en Almería (€/kg). Media de todos los tipos de tomate.

Fuente: Elaboración propia con datos del Observatorio de precios de la Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural (2017b).

Figure 9. Evolution of farmer's tomato prices in Almería (€/kg).

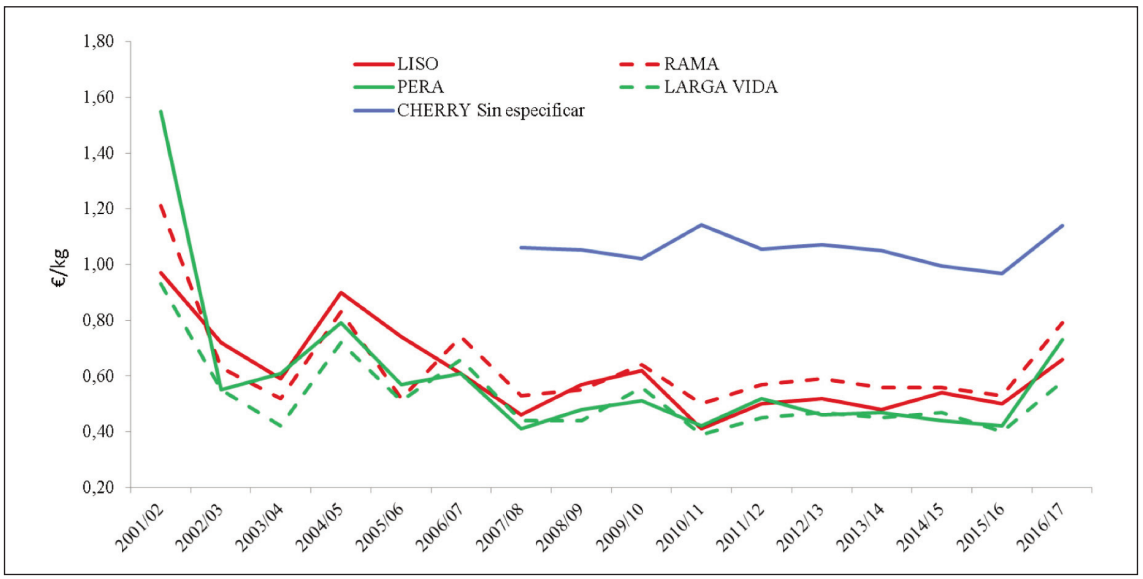


Figura 10. Evolución de los precios de tomate pagados al agricultor en Almería, por variedad (€/kg).

Fuente: Elaboración propia con datos del Observatorio de precios de la Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural (2017b).

Figure 10. Evolution of farmer's tomato prices in Almería, per variety (€/kg).

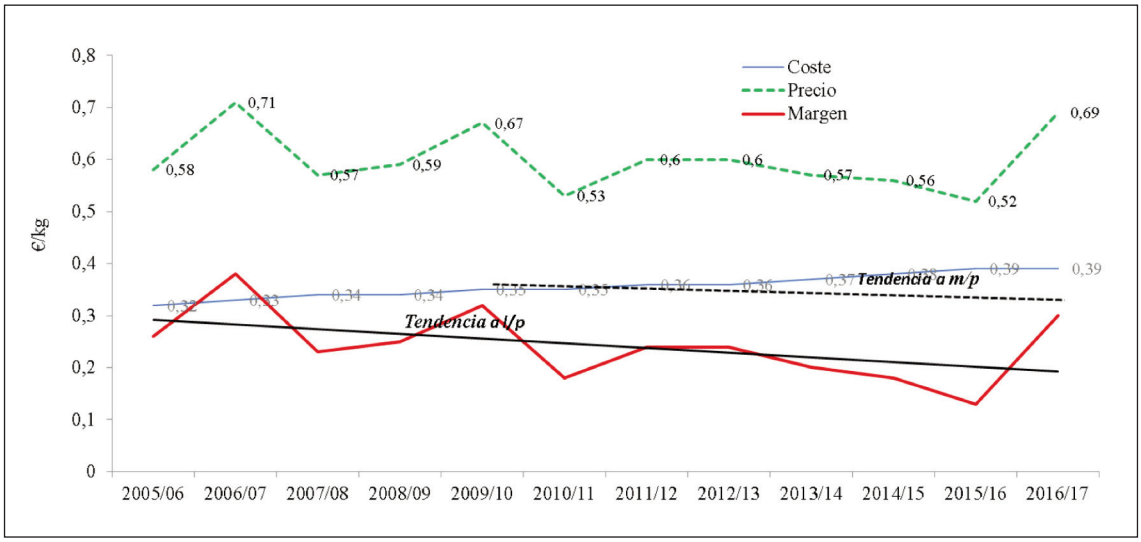


Figura 11. Evolución de los márgenes del tomate en Almería (€/kg).

Fuente: Elaboración propia con datos del Observatorio de precios de la Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural (2017b).

Figure 11. Evolution of tomato margins in Almería (€/kg).

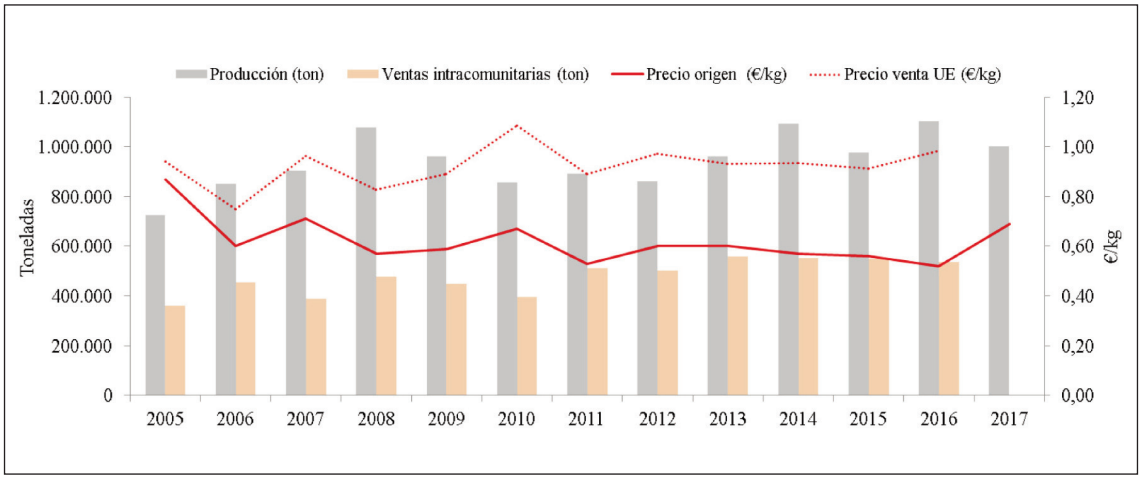


Figura 12. Evolución de cantidades (producción, exportación) y precios de tomate en Almería. Toneladas y €/kg.

Fuente: Elaboración propia con datos del Observatorio de precios de la Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural (2017b) e ICEX.

Figure 12. Evolution of quantity (production, exports) and tomato prices in Almería. Tons and €/kg.

una referencia. Por último, se observa un crecimiento de la diferencia entre precios de liquidación al agricultor y los de venta al cliente de la UE (estos últimos no incluyen el transporte). Esto puede ser debido a diferentes circunstancias: aumento de los costes de estructura de las comercializadoras (manipulado, insumos…), comisiones intermedias (alhóndigas), etc.

Por último, si analizamos el sistema de comercialización predominante (Tabla 5), vemos que la cooperativa con venta directa al exterior es el método más empleado (por ejemplo, Unica o Vicasol), aunque la comercialización en origen mediante subasta todavía tiene una relevancia amplia (CASI, a pesar de ser cooperativa; la Unión, Vegacañada y Agrupalmería). En general las empresas son de un tamaño reducido, más si las comparamos con el cliente fundamental (la gran distribución europea). Podemos hablar de un sistema de comercialización atomizado y sin una iniciativa clara de crecimiento (De Pablo *et al*., 2017).

Tabla 5. Principales empresas comercializadoras de tomate fresco en España
Table 5. Main marketing firms of fresch tomato in Spain

Empresa	Origen	Toneladas 2014-2015
CASI	Almería	197.357
Anecoop	Valencia	171.600
Vicasol	Almería	103.156
Granada La Palma	Granada	82.810
Unica Group	Almería	71.422
Bonnysa	Alicante	78.000
Agrícola Perichán	Murcia	50.000
Vegacañada	Almería	47.028
Alhóndiga La Unión	Almería	42.000
Grupo Paloma	Murcia	41.000
Agrupalmería	Almería	46.978
Coprohníjar	Almería	31.362
Duniagro	Almería	23.703

Fuente: Elaboración propia con datos de Revista F&H (2017).

Discusión

Los datos muestran la existencia de un mercado europeo con tasas de crecimiento ajustadas, sobre todo por el lado de la demanda: Alemania como principal comprador apenas aumenta sus adquisiciones, las importaciones de Reino Unido están cayendo[7] al igual que las procedentes de Países Bajos, estas últimas debido al crecimiento de su propia produc-

7. En la actualidad existe incertidumbre sobre el impacto que pueda tener el Brexit sobre las ventas españolas de tomate a Reino Unido, que en 2016 sumaron 137 millones de euros y 138.000 toneladas (ICEX, 2017).

ción. Francia es el único gran consumidor que aumenta sus importaciones procedentes de Marruecos, pero con el objetivo de revenderlas a Alemania (Pérez-Mesa, 2015; De Pablo *et al.,* 2016). El movimiento del comercio en la UE se debe en su mayoría al crecimiento del mercado del este europeo (República Checa, Polonia, Hungría…) e Italia.

Con respecto a las ventas comunitarias españolas, se aprecian caídas relevantes y estabilización de las ventas en todos los mercados tradicionales (Alemania, Francia, Reino Unido y Países Bajos). Como consecuencia, se ha producido una diversificación comercial hacia el resto de los países europeos (Pérez-Mesa *et al*., 2015). En general, se observa una fuerte crisis comercial en Canarias, Alicante y Murcia. Las únicas zonas que han crecido son: Granada y, sobre todo, Almería (datos ICEX, varios años). Esta provincia aglutina ya casi el 60% del total de las exportaciones españolas. La evolución de Almería es paradigmática: sus envíos han podido seguir creciendo a tasas elevadas. El único país donde la competencia (marroquí) le ha hecho retroceder ha sido en Francia. El problema fundamental es que este crecimiento se ha debido a la existencia de una estrategia de ventas a precios bajos, que ha empezado a perjudicar la rentabilidad del productor en origen. Estos resultados negativos, más pormenorizados, difieren de los obtenidos al considerar índices generales de competitividad para el tomate español (Capobianco-Uriarte *et al*., 2017).

Es importante comentar que en la actualidad existe un acontecimiento sobrevenido que puede estar afectando a la comercialización europea de tomate: la existencia del veto ruso a las exportaciones europeas de frutas y hortalizas (Otamendi, 2015). Teniendo en cuenta que las exportaciones de tomate de la UE a Rusia, antes de iniciarse el veto (agosto de 2014), eran 186.000 toneladas (datos Eurostat para el año 2013), se puede suponer que este volumen se ha mantenido dentro de la UE, manifestándose en menores compras o reducción de precios.

Del análisis de los precios recibidos por el agricultor en origen (Almería), se aprecia una tendencia descendente a largo plazo, aunque existen campañas que por motivos exógenos (plagas, meteorología…) hacen que crezcan de forma coyuntural los ingresos. Esta tendencia negativa resulta más acusada al analizar los márgenes. También se observa cierto desacople entre los precios de origen y los calculados de las ventas intracomunitarias. Esto es indicador de que Almería está dejando de ser una referencia en la UE.

Por otro lado, la situación descrita está provocando la aparición de fórmulas alternativas de comercialización. Se ha detectado una nueva tendencia que implica la venta directa por parte del productor a un intermediario, agente o incluso minorista (Galdeano-Gómez *et al*., 2015). Este sistema está sacando cantidades fuera de los canales tradicionales (cooperativa y alhóndiga) provocando una fuerte competencia que no queda reflejada en los datos. Los agricultores que utilizan este método suelen tener un número elevado de hectáreas con una tecnificación superior a la media (Cajamar, 2017). Esto les facilita la gestión y el mantenimiento de los costes, incluyendo los de intermediación. Podemos hablar, por tanto, de una polarización en los sistemas de venta (tradicional y directa). La rentabilidad de ambos métodos está aún por evaluarse, aunque sí parecen claros los beneficios del acortamiento de la cadena de suministro y la integración cada vez más estrecha con el cliente (Pérez-Mesa y Galdeano-Gómez, 2015).

Conclusiones

En las últimas campañas, los resultados económicos del cultivo de tomate han hecho dudar al productor sobre su viabilidad a me-

dio y largo plazo. El análisis del mercado europeo de tomate, destino prioritario de la producción española, muestra saturación por el lado de la demanda. En relación con la oferta, España tiene que competir no sólo con la producción propia de Países Bajos o Marruecos, sino con el producto intermediado por Países Bajos, Bélgica y Francia. Este trabajo incorpora un sistema novedoso para interpretación de los flujos comerciales basado en un enfoque gráfico de redes, mediante la utilización del software Gephi, más intuitivo y sencillo de interpretar que las metodologías tradicionales.

En este marco, el análisis de las ventas intracomunitarias españolas ha seguido una evolución desigual: aunque las cifras totales muestran una tendencia negativa, Almería, principal provincia comercializadora, ha conseguido incrementar su cuota de mercado mediante la reducción de los precios de venta en destino. Este estudio ha puesto en evidencia que esta situación ha afectado negativamente a la rentabilidad del agricultor almeriense. Aunque coyunturalmente existen campañas positivas, la tendencia a largo plazo indica un descenso de los precios y márgenes obtenidos en origen. La coyuntura actual está provocando que aparezcan fórmulas de venta más directas (agricultor-cliente), buscando mayores rentabilidades, al margen de las tradicionales realizadas a través de cooperativa o alhóndiga.

Este artículo muestra limitaciones que podrían ser propuestas de trabajos futuros, por ejemplo: 1) un análisis coste-beneficio para el agricultor acogido a una canal tradicional en comparación con la venta directa; 2) el papel de las especialidades productivas en este nuevo canal; 3) o la profundización en la venta nacional y las exportaciones extraeuropeas de cara a la revitalización del sector.

Agradecimientos

Este proyecto ha sido parcialmente financiado por los proyectos ECO2017-82347-P y ECO2015-66504-P del MINECO.

Bibliografía

Ben Kaabia M, Gil Roig JM (2008). Asimetrías en la transmisión de precios en el sector del tomate en España. Economía Agraria y Recursos Naturales 8: 57-82.

Brinkley C (2017). Visualizing the social and geographical embeddedness of local food systems. Journal of Rural Studies, 54: 314-325.

Cajamar (2017). Análisis de la campaña hortofrutícola de Almería. Campaña 2016-2017. Disponible en: http://www.publicacionescajamar.es/series-tematicas/informes-coyuntura-analisis-de-campana/analisis-de-la-campana-hortofruticola-de-almeria-campana-2016-2017/ (consultado: 15 febrero 2018).

Capobianco-Uriarte M, Aparicio J, De Pablo-Valenciano J (2017). Analysis of Spain s competitiveness in the European tomato market: An application of the Constant Market Share method. Spanish Journal of Agricultural Research 15(3):e0113

Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural (2017a). Avance de superficies y producciones. Junta de Andalucía. Disponible en: http://www.juntadeandalucia.es/organismos/agriculturapescaydesarrollorural.html (consultado: 01 mayo 2017).

Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural (2017b). Precios en origen. Observatorio de precios y mercados. Junta de Andalucía. Disponible en: http://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/observatorio/ (consultado: 01 junio 2017).

De Pablo J, Pérez-Mesa JC (2004). The competitiveness of Spanish tomato export in the European Union. Spanish Journal of Agricultural Research 2(2): 167-180.

De Pablo J, Giacinti MA, García T (2016). Estados claves en el comercio intracomunitario del tomate en la Unión Europea. ITEA- Información Técnica Económica Agraria 112 (4): 458-477.

De Pablo J, Giacinti MA, Tassile V, García T (2017). Changes in the business model for Spanish fresh tomato trade. Spanish Journal of Agricultural Research 15(1):e0101.

Eurostat (2017). International trade. Disponible en: http://ec.europa.eu/eurostat/data/database (consultado: 01 mayo 2017).

Fair K, Bauch C, Anand M (2017). Dynamics of the Global Wheat Trade Network and Resilience to Shocks. Nature Scientific Reports, 7:7177. Disponible en: https://www.nature.com/articles/s41598-017-07202-y (consultado: 28 marzo 2018).

Fruchterman T, Reingold E (1991). Graph drawing by force-directed placement. Software – Practice and Experience 21(11): 1129-1164.

Galdeano-Gómez E (2007). Composite price expectations: An empirical analysis for the Spanish horticultural sector. Agribusiness 23(1): 57-83.

Galdeano-Gómez E, Pérez-Mesa JC, Giagnocavo C (2015). Food exporters and co-opetition relationships: An analysis on the vegetable supply chain. British Food Journal 117(5): 1596-1609.

García-Álvarez-Coque JM, Martínez-Gómez V, Villanueva M (2009). A trade model to evaluate the impact of trade liberalisation on EU [European Union] tomato imports. Spanish Journal of Agricultural Research 7(2): 236-247.

Hernández-García A (2014). Using Gephi to visualize online course participation: a social learning analytics approach. TD Tecnologie Didattiche 22(3): 148-156.

ICEX (2017). Datos nacionales de exportación. Disponible en: http://www.icex.es (consultado: 01 mayo 2017).

Kosak C, Marks J, Shieber S (1994). Automating the Layout of Network Diagrams with Specified Visual Organization. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics 24(3): 440-454.

Losilla R (2017). De la luz artificial a los cherry pera. F&H, Frutas y Hortalizas 389: 25.

Magán JJ, López JC, Escudero A, Pérez-Parra J (2007). Comparación de dos estructuras de invernadero (cristal vs. plástico) equipadas con sistemas de control activo del clima. Actas de Horticultura 48: 880-883.

Martín G, Cano VJ, Cáceres JJ (2002). Exportación de tomate en Canarias: ¿un patrón estacional estable? Economía Agraria y Recursos Naturales 2(2): 53-72.

Otamendi JJ (2015). Efectos del veto ruso en las exportaciones españolas. Boletín económico de ICE 3063:81-100.

Pérez-Mesa JC (2007). Should Almería (Spain) have to be worried, thinking that their tomato export is currently affected by international competition? Agricultural Economics Review 8(2): 42-54.

Pérez-Mesa JC, De Pablo J (2007). Producción-comercio-consumo y reexportación de tomate en la Unión Europea. Revista Española de Estudios Agrosociales y pesqueros 214: 155-170.

Pérez-Mesa JC (2015). Comparación de España-Almería y Marruecos en el mercado de Frutas y Hortalizas de la UE. Jornadas Técnicas Modelo Almería, Cámara de Comercio de Almería. 8 de enero, Santa María del Águila (El Ejido), Almería, España.

Pérez-Mesa JC, Aznar-Sánchez JA, Galdeano-Gómez E (2015). El sector hortícola español en 2013. Ed. Cajamar Caja Rural, Almería, España. 111 pp.

Pérez-Mesa JC, Galdeano-Gómez E (2015). Collaborative firms managing perishable products in a complex supply network: An empirical analysis of performance. Supply Chain Management: An International Journal 20(2): 128-138.

Revista F&H (2017). Principales comercializadores de tomate en España. F&H, Frutas y Hortalizas 390: 3.

Tostes M, Motta C, Villavicencio A (2017). The Plan of Action of the Agriculture and Irrigation Sector against Climate Change: An Opportunity to Articulate Efforts. European Journal of Sustainable Development 6(4): 444-454.

Umadevi V (2013). Case Study: Centrality Measure Analysis on Co-Authorship Network. Journal of Global Research in Computer Science 4(1): 67-70.

Velez-Ramirez A, van Ieperen W, Vreugdenhil D, van Poppel P, Heuvelink E, Millenaar F (2014). A single locus confers tolerance to continuous light and allows substantial yield increase in tomato. Nature Communications 5: 45-49.

Wijnands J (2003). The international Competitiveness of Fresh Tomatoes, Peppers and Cucumbers. Proceedings of the International Congress on Greenhouses Vegetables: The product Chain of Fresh Tomatoes, Peppers, Cucumbers. 31 octubre-1 noviembre, Amsterdam, The Netherlands.

(Aceptado para publicación el 16 de abril de 2018)

Evaluación financiera de la viabilidad del uso de agua desalada en la agricultura de invernadero del Campo de Níjar (Almería, España)

J.A. Albaladejo-García, J.M. Martínez-Paz* y J. Colino

Universidad de Murcia. Departamento de Economía Aplicada, Facultad de Economía y Empresa, Campus de Espinardo, 30100 Murcia

Resumen

La disponibilidad de agua constituye el principal factor limitante, tanto por cantidad como por calidad, de la producción de hortalizas en invernaderos de la provincia de Almería. Actividad que se concentra en las comarcas litorales del Campo de Dalías, Bajo Andarax y del Campo de Níjar. Los recursos hídricos de la segunda zona proceden de acuíferos sobreexplotados y con problemas de salinidad. Hecho que limita las posibles alternativas de cultivos, aunque tal restricción podría ser franqueada con el uso de agua desalada, disponible en la comarca pero que tiene poca demanda dado su mayor coste para el agricultor. El objetivo central de este trabajo es estudiar la rentabilidad del uso del agua en la agricultura de invernaderos del Campo de Níjar, analizando la viabilidad financiera del uso del agua desalada. Para ello se ha realizado, en primer lugar, un estudio de la estructura de costes de las alternativas de cultivos más representativas de la comarca. Seguidamente, se ha estimado la máxima capacidad de pago por el agua mediante la productividad aparente del agua, así como los costes de nivelación y de cierre. Por último, se ha evaluado la rentabilidad financiera de los cultivos mediante el Valor Actual Neto y la Tasa Interna de Rendimiento. Los resultados ponen de manifiesto la elevada capacidad media de pago por el agua del sistema productivo, a la que se asocian unos elevados niveles de rentabilidad financiera, que si bien son muy sensibles a los precios de venta de las diferentes producciones no se ven muy influenciados por el origen y/o coste del agua de riego.

Palabras clave: Análisis financiero, desalación, invernadero, productividad del agua.

Abstract

Financial evaluation of the feasibility of using desalinated water in the greenhouse agriculture of Campo de Níjar (Almería, Spain)

Water availability is the main limiting factor, both for quantity and quality, of the vegetable production in greenhouses in the province of Almeria. This activity is located in the coastal regions of Campo de Dalías, Bajo Andarax and Campo de Níjar. The water resources of the second zone come mainly from overexploited aquifers with salinity problems. This limits the possible alternative crops, although such restriction could be overcome with the use of desalinated water, available in the region but which has little demand given its higher cost for the farmer. The main objective of this work is to study the profitability of water use in the greenhouse agriculture of Campo de Níjar, analyzing the financial viability of irrigation with desalinated water. So, first a study has been conducted of the cost structure of the most represen-

* Autor para correspondencia: jmpaz@um.es

https://doi.org/10.12706/itea.2018.024

tative alternative crops of the region. Next, the maximum payment capacity for water has been estimated through the apparent productivity of the water, as well as the costs of leveling and closing. Finally, the financial profitability of the crops has been evaluated through the Net Present Value and the Internal Rate of Return. The results show the high average payment capacity for water of this productive system with high levels of financial profitability, which, although very sensitive to the sales prices of the different productions, are not very influenced by the origin and / or cost of irrigation water.

Keywords: Financial analysis, desalination, greenhouse, water productivity.

Introducción

Una de las consecuencias, a la par que motor, del desarrollo de la horticultura en invernadero en el sureste de España ha sido la sobreexplotación de sus aguas subterráneas. Por ello, muchos de los acuíferos de esta zona sufren importantes descensos de sus niveles piezométricos, que están originando problemas de agotamiento y salinización e intrusión marina en los situados cerca de la costa (Pellicer-Martínez *et al.*, 2015). Circunstancia que, además de suponer un problema para la sostenibilidad de esta actividad agraria impide el cumplimiento del principio de la conservación en buen estado ecológico de las masas de agua, objetivo central de la Directiva Marco del Agua (European Commission, 2000).

La horticultura en invernadero de Almería es sin duda uno de los mejores ejemplos de esta situación a nivel nacional. En esta provincia, la producción de hortalizas constituye un subsector de gran importancia económica, siendo la agricultura en invernaderos -concentrada en las comarcas del Campo de Dalías, Campo de Níjar y Bajo Andarax- uno de los factores determinantes de su intenso crecimiento económico en las últimas décadas (Martínez-Paz *et al.*, 2001) lo que ha permitido que Almería haya pasado de la penúltima posición en el ranking provincial español del Producto Interior Bruto (PIB) per cápita en la década de los 60 a ocupar un puesto intermedio en la actualidad, además de ubicarse en la primera plaza dentro de Andalucía (Aznar-Sánchez *et al.,* 2017).

En efecto, la economía almeriense tiene una elevada especialización hortícola, siendo la provincia española donde el sector agrario tiene una mayor relevancia. En el bienio 2014-2015, la aportación del sector primario al Valor Añadido Bruto (VAB) agregado se cifró en un sexto, elevándose a un quinto en lo que concierne a la población ocupada. Ambas cuotas son extraordinariamente elevadas ya que, en números redondos, multiplican por 2,5 a las correspondientes a Andalucía, y por más de cinco a las españolas (INE, 2018). Por otro lado, ese protagonismo de la agricultura se ve avalado por su participación en el total de las ventas provinciales fuera de las fronteras nacionales, que ha llegado a suponer el 90% del total de sus exportaciones (Extenda, 2018). A su vez, se ha creado en torno a la agricultura un importante grupo de actividades auxiliares, dando lugar al clúster agroindustrial almeriense (Aznar-Sánchez y Sánchez-Picón, 2010).

La comarca del Campo de Níjar (Figura 1), constituye la segunda zona en importancia de concentración de invernaderos en Almería. Con una superficie total de 950 km^2, en cotas inferiores a 300 metros, tiene una de las climatologías más áridas de todo el país, con una precipitación que apenas llega a los 350 mm y una insolación que supera las 3.000 horas anuales (Toro-Sánchez, 2008).

Esta elevada insolación, junto a la existencia de dos importantes acuíferos en su subsuelo, han propiciado un rápido crecimiento de la superficie cultivada en las últimas décadas (Molina, 2005), dadas las limitaciones al cre-

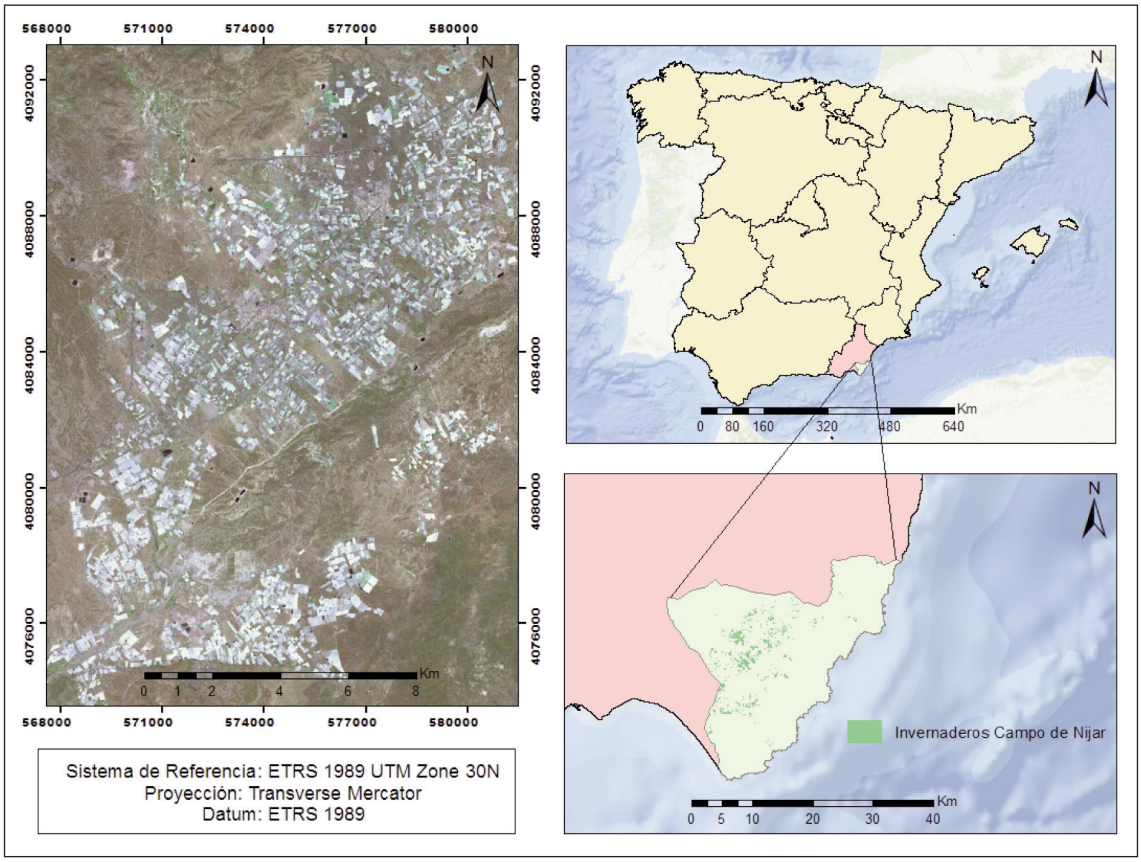


Figura 1. Zona de estudio.
Fuente: Elaboración propia.
Figure 1. Study zone.

cimiento de la actividad en el Campo de Dalías, comarca de origen del modelo de producción de invernaderos en Almería. Así, las aproximadamente 5.000 Has de superficie invernada del Campo de Nijar representan ya casi el 20% del total provincial, siendo además la comarca en la que su crecimiento ha sido mayor en la última década (García-García *et al.,* 2016). La distribución por cultivos de la superficie invernada y el valor de la producción se recogen en la Tabla 1.

Prácticamente, la totalidad del agua utilizada en los invernaderos de la comarca de Níjar, unos 44 hm^3, es de origen subterráneo, procedente de la Unidad Hidrogeológica del Campo de Níjar, constituida fundamentalmente por dos grandes acuíferos: el del Campo de Níjar y el del Hornillo-Cabo de Gata. Como ya se señalaba en el Plan Hidrológico de Cuencas Mediterráneas Andaluzas (Junta de Andalucía, 2009), esta masa de agua presenta un mal estado general, tanto cuantitativo como químico, con unos índices de explotación (salidas/entradas) estimados entre 1,4 y 2,5 y con una conductividad (salinidad) muy elevada, en el rango de 2 a 7 dS/m.

Esta elevada salinidad es responsable de la orientación productiva de la zona a un limitado número de hortalizas, tal como se muestra en la Tabla 1, ya que solo el tomate, el calabacín y la sandía toleran salinidades superiores a 2 dS/m, y solo el tomate por encima de 4 dS/m (Sánchez *et al.*, 2015). El uso puntual de plantas desalobradoras permite aminorar los niveles de salinidad del agua, aunque el vertido y la percolación al acuífero de las salmueras resultantes son un riesgo adicional para su deterioro.

Tabla 1. Superficie (%) y valor de la producción (millones de €) de los cultivos de invernadero del Campo de Níjar. 2015
Table 1. Area (%) and value of production (million €) of greenhouse crops in Campo de Níjar. 2015

Cultivos	Superficie	Valor de la Producción
Tomate	71,1	309,59
Pimiento	2,6	3,97
Calabacín	4,7	5,32
Sandía	19,7	27,60
Pepino	0,4	0,92
Berenjena	1,1	1,62
Judía	0,4	0,71
Total	100	348,08

Fuente: Valera *et al.* (2016) y elaboración propia.

Entre las causas, señaladas en el plan de cuenca, que han llevado a esta situación destacan: i) el exceso de volúmenes autorizados, ii) la existencia de aprovechamientos irregulares, iii) el insuficiente control de las extracciones, iv) la falta de planes de ordenación pendientes en los acuíferos con problemas de sobreexplotación (y aplicación efectiva de los ya aprobados) y v) el insuficiente aprovechamiento de recursos no convencionales.

Para frenar el deterioro del acuífero y asegurar el suministro de agua para riego se viene planteando el uso de recursos no provenientes del régimen natural: aguas regeneradas y, especialmente, la desalación de agua de mar (Muñoz *et al.*, 2010; García-Caparros, 2017). En la zona se ubica la planta desaladora de Carboneras, que entró en funcionamiento en 2005 y permite producir hasta 42 hm^3/año, cifra que puede ser duplicada con una ampliación ya proyectada (Zarzo *et al.*, 2013). Esta instalación, que fue en su momento la mayor planta de desalación de agua de mar de Europa tiene la finalidad, según la justificación de su memoria, de "garantizar el agua para el abastecimiento de los municipios del Levante almeriense y proporcionar agua para el regadío de 7.000 Has en el Campo de Níjar, permitiendo así la recuperación del acuífero sometido a una fuerte sobreexplotación". Pero, como sucede en muchas de las plantas desalinizadoras de la costa mediterránea española, el uso de esta instalación por los regantes viene siendo muy reducida (Aznar-Sánchez *et al.*, 2017). Así pues, pese a que diversos estudios (Karagiannis y Soldatos, 2008; Lapuente, 2012; March *et al.*, 2014; Alcón *et al.*, 2014; Martínez-Granados y Calatrava, 2014; Martínez-Álvarez *et al.*, 2016; Pellicer-Martínez y Martínez-Paz, 2016; Reca *et al.*, 2018) justifican la viabilidad técnico-económica de la desalación para el abastecimiento de agua para el regadío, la realidad es que muchas de las nuevas plantas destinadas a este fin se encuentran inactivas por falta de demanda, algunas veces por falta de infraestructura de distribución, pero fundamentalmente por el mayor coste del agua desalada respecto al agua de los bombeos (Martínez-Paz *et al.*, 2016; Zetland, 2017).

En este contexto, el objetivo del presente trabajo es estudiar la viabilidad financiera del uso del agua desalada en la agricultura de invernadero del Campo de Níjar, realizando un estudio comparado respecto al agua procedente de la explotación del agua sub-

terránea. Con este fin se estudiará la estructura de costes y de ingresos de los cultivos más representativos del sistema hortícola, evaluando su productividad, rentabilidad y capacidad de pago por el agua mediante los costes de cierre y de nivelación. En estos análisis se tendrá en cuenta la volatilidad de los ingresos, a través de la variabilidad anual de precios hortícolas, con el fin de enriquecer los indicadores de viabilidad presentados.

De este modo, este trabajo contribuye a aumentar las evidencias existentes sobre la viabilidad de los cultivos de invernadero del Campo de Níjar utilizando agua procedente de la desalación, analizado previamente por Barbosa (2013) en base a un análisis de costes. Este tipo de aproximación al estudio de la influencia del coste del agua en la viabilidad financiera de las explotaciones agrarias ha sido aplicado en numerosos estudios en el sector agrario, como son, por ejemplo, y para el caso español, los recogidos en los trabajos de Colino y Martínez-Paz (2007) para la agricultura murciana; o Freixa *et al.* (2010), Alcón *et al.* (2013), y Egea *et al.* (2017) para el olivar intensivo andaluz. El reciente trabajo de Badiuzzaman *et al.* (2017) realiza un interesante análisis de sustituibilidad de orígenes y usos del agua en California utilizando un enfoque coste-efectividad.

Material y métodos

Se exponen en este apartado los fundamentos de los indicadores financieros aplicados, el origen y tratamiento de los datos utilizados y los escenarios y supuestos adoptados en el presente trabajo.

Cabe antes señalar que el análisis financiero difiere de otro tipo de metodologías que estudian el valor del agua en sistemas agrícolas mediante métodos de corte económico (Turner *et al.*, 2004; Young, 2005) como son, entre otros, los métodos de precios hedónicos (Berbel y Mesa, 2007), modelos de programación matemática (Martínez-Granados y Calatrava, 2014), método del valor residual (Mesa-Jurado *et at.*, 2007), método de la función de producción (Garrido-Colmenero *et al.*, 2014), valoración contingente (Colino y Martínez-Paz, 2007), experimentos de elección (Alcón *et al.*, 2014), etc., los cuales permiten estimar, por ejemplo, elasticidades en la demanda de agua, curvas de demanda de agua, valores marginales, disposición al pago máxima, indicadores de corte socioeconómico (Gómez-Limón *et al.*, 2009) e incluso estudiar el funcionamiento de estructuras complejas como son los mercados de agua (Gómez-Limón y Calatrava, 2016).

Dado el objetivo de este trabajo de analizar la capacidad de pago por el agua, la evaluación se ha desarrollado desde una óptica financiera o privada. El análisis de inversiones permitirá cuantificar la corriente de flujos y pagos de los invernaderos a lo largo de toda su vida útil obteniendo los indicadores clásicos de rentabilidad. Este análisis se complementa con indicadores específicos, como son la productividad aparente y los costes de nivelación y cierre del agua, que permite discutir con mayor precisión dicha capacidad de pago en el corto y medio plazo.

Indicadores financieros

Uno de los indicadores más empleados en una primera aproximación al estudio de la rentabilidad de un factor productivo es su productividad aparente, también conocida como relación insumo-producto, que se define como la ratio entre la producción obtenida y la cantidad de factor productivo utilizado (Doorenbos y Kassam, 1979; Bos *et al.,* 1993; Colino y Martínez-Paz, 2002). Este indicador, si bien es útil para estudios de evolución temporal y/o comparaciones entre distintos procesos productivos que utilizan dicho factor, es poco informativo en términos absolutos,

dado el carácter multifactorial de la producción (National Research Council, 1997).

Por ello, además de la productividad aparente del agua, en este trabajo se han calculado dos indicadores adicionales, el coste de nivelación y el coste de cierre para el agua, que además de caracterizar financieramente el papel del agua en la producción, permiten aproximar la capacidad de pago máxima para este factor variable. El coste de cierre se corresponde con el nivel en el que los costes variables y los ingresos totales se igualan, razón por la cual el agricultor tiene que hacer frente a unas pérdidas que coinciden con los costes fijos. El coste de nivelación es el que iguala los ingresos y los costes totales y, por tanto, se obtiene el beneficio estándar (Colby, 1989).

El coste de cierre define la capacidad máxima de pago por el agua en el corto plazo, donde existen factores productivos fijos que hay que remunerar, independientemente de que se produzca o no. A costes del factor superiores no interesaría producir, ya que los ingresos no permitirían cubrir en su totalidad los costes variables.

Por su parte, el coste de nivelación marca el techo de pago del precio del agua en el medio-largo plazo dado que, *ceteris paribus* el resto de partidas, por debajo del mismo se cubren todos los costes (fijos y variables) con los ingresos obtenidos. Un coste del agua por encima de su coste de nivelación llevaría al productor a plantear el cese de la actividad, ya que los ingresos de la explotación no permiten cubrir todos los costes de la misma.

Por consiguiente, para un cultivo dado, los valores del coste del agua en cierre (CC) y en nivelación (CN) se obtendrían operando con la estructura anual de ingresos y costes, según las siguientes expresiones:

Coste cierre agua $$CC = \frac{\left(IT - CVT'\right)}{QA}$$

Coste nivelación agua $$CN = \frac{\left(IT - CF - CVT'\right)}{QA}$$

Siendo: QA (m^3/ha) el consumo de agua, IT los ingresos totales (€/ha), CF los costes fijos (€/ha), CVT' los costes variables totales sin incluir el del agua (€/ha), con *CC* y *CN* en €/m^3.

En este trabajo se va a estudiar el coste de nivelación con dos variantes, resultantes de tener en cuenta o no la amortización anual de la inversión inicial como parte de los costes fijos, con el fin de poner de relieve la importancia de esta partida de instalación de los cultivos invernados. Además, se va a estudiar la influencia que tiene el coste del agua sobre la viabilidad financiera de este sistema productivo. Para tal fin, el análisis financiero de inversiones se presenta como la metodología más apropiada para este tipo de estudios (Bergmann y Boussard, 1976; Arbonés *et al.*, 2014). Así pues, se determina la viabilidad de la inversión, de la que son conocidas las series de costes e ingresos que la misma origina a lo largo del tiempo, calculando entre otros tres indicadores básicos: el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Rendimiento (TIR) y el Periodo de Retorno (PR) (Ceña y Romero, 1982).

El VAN es un indicador que mide la rentabilidad absoluta de una inversión. Es la suma descontada de todos los flujos netos generados por la inversión expresado en unidades monetarias del año inicial. Si el VAN de una inversión es mayor que 0, el proyecto genera un beneficio neto y es, por tanto, deseable (Barbier *et al.*, 1990; Hanley y Spash, 1993).

La TIR mide la rentabilidad relativa de una inversión, siendo por tanto el máximo tipo de interés al que se puede solicitar el capital necesario para un determinado proyecto sin que se produzcan pérdidas, es decir, el tipo de interés al que VAN es igual a cero (López-Marín *et al.*, 2016).

El PR permite determinar el periodo de recuperación de la inversión inicial de un proyecto, calculado a partir de la suma acumulada de los flujos netos hasta que éstos se igualen a la inversión inicial (Turner *et al.*, 2004).

Por otro lado, se realiza una parametrización del coste del agua, con el fin de estudiar cómo afecta su variación a la rentabilidad absoluta de la explotación. Además, y como ya se comentó en la introducción, dada la elevada variabilidad en el precio de venta de las hortalizas de primor, se va a realizar un análisis de sensibilidad, evaluando para cada caso cuatro escenarios de precios para cada cultivo: mínimo, medio, moda y máximo en la campaña de referencia.

$$VAN(Pv;\, cua) = \sum_{t=0}^{n} \frac{I(Pv) - CT(cua)}{(1+i)^t} \qquad [1]$$

Siendo:

cua = Coste unitario del agua (€/m^3)

Pv = Precio percibido por el agricultor (€/kg)

t = el horizonte temporal (años)

i = el tipo de interés anual (%)

I = Ingresos anuales (€/ha)

CT= Costes totales (€/ha)

Fuentes de información y cultivos evaluados

La construcción de los indicadores de viabilidad que se acaban de presentar requiere caracterizar de forma detallada las estructuras de costes e ingresos de los cultivos más representativos de la zona que se está examinando. Tarea especialmente compleja para este sistema agrícola, dada la variedad de cultivos y alternativas y la heterogeneidad –cuando no contradicción– de las cifras de la multitud de fuentes de información secundaria consultadas.

Entre las mismas se pueden destacar las siguientes: los informes del Observatorio de Precios y Mercados (Junta de Andalucía, 2017), que ofrecen datos referentes a la estructura de costes e ingresos para cada campaña agraria en la zona; el trabajo de Cabrera *et al.* (2015) de análisis de la campaña hortofrutícola de Almería 2014/2015; el trabajo de Barbosa (2013) con datos de la campaña 2012/2013, con el que se ha contrastado la distribución de las partidas de costes; los estudios de Valera *et al.* (2016) y García-García *et al.* (2016) que realizan un estudio técnico económico de las principales alternativas de cultivo; los datos proporcionados por el "Centro de Innovación y Tecnología Fundación Finca Experimental Universidad de Almería/ Anecoop" y la consulta directa con agricultores y gerentes de explotaciones. Una vez caracterizadas las partidas de inversión inicial, costes por cultivos/alternativas y las cifras de ingresos se ha realizado una constatación directa con técnicos que trabajan en el sector de la zona, que, tras matizar algunas cifras, han validado los resultados finales de este análisis de ingresos y costes. Parte de esta información se presenta tanto en el epígrafe de resultados como en el estudio de la estructura de costes.

Los cultivos analizados en este trabajo corresponden a los presentes actualmente en el Campo de Níjar, que se recogen en la Tabla 1. Pero además se han estudiado cultivos potencialmente viables en la zona, dado que el uso de agua desalada eliminaría la restricción que supone la salinidad del agua en las orientaciones productivas comarcales. Así se ha analizado, por ejemplo, la viabilidad del cultivo del pepino y la berenjena –más representativos del Campo de Dalías– e incluso la introducción de productos tropicales, como el mango y la papaya.

El análisis tiene como punto de referencia la campaña agrícola 2014/15, por lo que todos los costes y precios son los vigentes durante la misma. Como ya se ha comentado, dada la gran variabilidad en los precios de venta de los productos hortícolas (Junta de Andalucía, 2017), se ha realizado el análisis de sensibilidad con cuatro escenarios de ingresos para cada cultivo/alternativa, definido por los correspondientes precios: mínimo, medio, modal y máximo.

Resultados y discusión

A continuación, se presentan los principales resultados obtenidos del análisis que se acaba de presentar. Por motivos de espacio no se presentan de forma detallada todas las alternativas y cultivos analizados, que sí son tenidos en cuenta en la discusión. Por tanto, se ha optado por presentar cuatro cultivos/alternativas: el tomate en ciclo largo y la alternativa tomate/sandía en ciclo corto, que son las más representativas del Campo de Níjar (con un 35% y 18% de la superficie respectivamente), así como las opciones pepino/melón –que es una rotación característica del Campo de Dalías– y la producción de papaya, posibles ambas en la zona de Níjar con agua de mayor calidad.

Los valores de TIR que se presentan dan una aproximación de la sensibilidad de la rentabilidad absoluta al tipo de interés mientras que los valores de precio de nivelación y cierre aproximan un análisis de sensibilidad al coste del agua, independientemente de su origen.

Estructura de costes

Seguidamente, se muestran los resultados del estudio de la estructura de costes de los cultivos seleccionados. Se han diferenciado las tres categorías necesarias para el análisis: la inversión inicial, los costes fijos anuales y los costes variables.

La inversión inicial afecta a los desembolsos realizados por el agricultor al comienzo de la actividad para la instalación del invernadero y que tienen un carácter no periódico: preparación del suelo, construcción de la estructura del invernadero, etc. Se ha trabajado con dos modelos de invernadero: el tipo raspa y amagado –el más extendido en la comarca del Campo de Níjar en la actualidad– y un tipo multitúnel, más complejo pero necesario para los cultivos tropicales, como la papaya y el mango. Sus valores se recogen en la Tabla 2.

Tabla 2. Inversión inicial (€/ha) y costes fijos anuales (€/ha.año) por tipo de invernadero
Table 2. Initial investment (€/ha) and annual fixed costs (€/ha.year) by type of greenhouse

	Raspa y Amagado	Multitúnel
Inversión inicial		
Preparación del suelo (Aporte y extensión de arena)	20.000	18.000
Coste ejecución invernadero	90.470	141.200
Sistema de riego por goteo	27.360	23.000
Total Inversión Inicial	137.830	182.200
Costes fijos		
Arena/tierra	283	333
Estiércol/Sustrato	2.020	1.060
Mantenimiento de estructuras	4.505	5.267
Plástico	3.224	3.300
Sistema de riego	799	500
Balsa	420	420
Otros	960	605
Total Costes Fijos	12.211	13.318

Fuente: Junta de Andalucía (2017), Valera *et al.* (2016) y elaboración propia.

Aclaremos que la compra del terreno, que en algunos estudios se contabiliza en esta clase de inversión, no ha sido incluida, dado su carácter permanente y no renovable (Colino y Martínez-Paz, 2002).

Los costes fijos están formados por los gastos periódicos e independientes del tipo de producción considerado, como son la reposición de arena, incorporación de estiércol y sustrato, las láminas de plástico, etc. Dada su distinta periodicidad, se ha calculado el coste anual equivalente por hectárea y año, que es el recogido en la Tabla 2 para los dos tipos de invernadero considerados.

Los costes variables son los gastos anuales característicos de cada alternativa de cultivo. En la Tabla 3 se recogen los datos para el caso del tomate en ciclo largo, la alternativa de cultivo tomate de otoño y sandía de primavera de ciclo corto, el pepino de otoño y el melón de primavera de ciclo corto y el cultivo de la papaya, una vez que esta planta alcanza su rendimiento máximo, que es en el segundo año de cultivo. Cabe señalar que mientras que para los tres primeros existen abundantes estudios, lo que ha hecho que los datos presentados sean los más frecuentes para cada partida y cultivo, en el caso de la papaya apenas existía información, dado el carácter casi experimental de esta producción en la zona. La partida de agua ha sido valorada aquí a un coste unitario medio representativo del agua de pozo en la zona, que cabe cifrar en 0,25 €/m^3 (Valera *et al.*, 2016; Aznar-Sánchez *et al.*, 2017).

En general, dentro de los costes variables, la mano de obra representa el mayor gasto (40-70%) seguido en importancia por los semilleros y los productos fitosanitarios. El agua de riego representa una parte reducida en la estructura de costes variables, no superando el 7% del total en el conjunto de los cultivos ana-

Tabla 3. Costes variables anuales (€/ha.año), producción y consumos
Table 3. Annual variable costs (€/ha.year), production and consumptions

	Tomate ciclo largo	Tomate/Sandía	Pepino/Melón	Papaya
Partidas				
Mano de obra	21.120	13.728	15.992	20.160
Semillero	5.250	8.540	10.345	—
Fitosanitarios	2.720	4.960	5.700	4.800
Electricidad	2.200	2.000	1.600	820
Varios	750	2.450	2.100	4.600
Agua (pozo)	2.225	1.975	2.000	1.550
Total	34.265	33.653	37.737	31.930
Producción y consumos				
Rendimiento (kg/ha)	176.900	87.200/62.200	97.900/46.100	70.714
Agua (m^3/ha)	8.900	7.900	8.000	6.200
Trabajo (jornales/ha)	440	286	292	420
Margen Bruto (€/ha)	54.185	41.567	26.439	62.119
Ingresos (€/ha)	88.450	77.200	64.680	94.050

Fuente: Junta de Andalucía (2017), Valera *et al.* (2016) y elaboración propia.

lizados. La estructura de costes es bastante similar a la presentada en otros trabajos que analizan este sistema productivo en Almería (Barbosa, 2013; García-García *et al.*, 2016; y Valera *et al.*, 2016), lo que valida el proceso seguido para su obtención en este trabajo.

La Tabla 3 también recoge otros datos de las alternativas de cultivo analizadas, tales como el consumo de agua, el rendimiento, la mano de obra requerida y el margen bruto, ya que además de caracterizar mejor cada producción, forman parte de los análisis posteriores.

Indicadores financieros

En la Tabla 4 se recoge el valor de los cuatro indicadores financieros presentados en el apartado de metodología para las alternativas de cultivo que se vienen examinando.

La productividad aparente del agua, calculada a partir de la ratio entre el ingreso total por ventas y el consumo de agua es, para todos los productos y escenarios, muy elevada, con valores que para el precio de venta del producto medio giran en torno a los 10 €/m^3, cuantía en línea con los resultados obtenidos por Sánchez *et al.* (2015) y Colino y Martínez-Paz (2007) en el mismo sistema productivo, que proporcionan unos valores de 7,76 €/m^3 y 10,64 €/m^3 para el tomate y la sandía respectivamente. Estos valores de productividad son, junto con el cultivo de la fresa en la costa onubense, los invernaderos de la Región de Murcia y los regadíos canarios, de los más altos presentes en el agro español (Gómez-Limón *et al.,* 2009). Las altas productividades en el uso del agua de áreas mediterráneas como Almería (Albiac *et al.*, 2008; Calatrava y Martínez-Granados, 2012; Sala-

Tabla 4. Productividad y costes característicos del agua por cultivos (€/m^3)
Table 4. Productivity and characteristic water costs for crops (€/m^3)

Alternativas	Precio producto (€/kg)	PAA	CNci	CNsi	CC
Tomate ciclo largo	Min: (0,32)	6,36	—	0,96	2,76
	Med: (0,50)	9,94	3,29	4,54	6,34
	Mod: (0,48)	9,54	2,91	4,14	5,94
	Max: (0,72)	14,31	7,67	8,91	10,71
Tomate/Sandía	Min: (0,44/ 0,17)	6,21	—	0,16	2,19
	Med: (0,60/ 0,40)	9,77	2,33	3,73	5,76
	Mod: (0,50/ 0,49)	9,38	1,94	3,34	5,37
	Max: (0,72/ 0,62)	12,83	5,39	6,79	8,82
Pepino/Melón	Min: (0,28/ 0,20)	4,93	—	0,12	1,46
	Med: (0,42/ 0,42)	8,09	0,83	1,61	3,62
	Mod: (0,44/ 0,51)	8,87	1,02	2,40	4,41
	Max: (0,71/ 0,67)	13,44	5,58	6,97	8,97
Papaya	Min: (1,02)	9,05	—	1,24	3,94
	Med: (1,33)	11,80	1,57	3,93	6,63
	Mod: (1,56)	13,84	3,56	5,92	8,62
	Max: (2,25)	19,96	9,55	11,9	14,61

PAA: Productividad aparente del agua; CNci: Coste de nivelación con inversión inicial; CNsi: Coste de nivelación sin inversión inicial; CC: Coste de cierre del agua.

Fuente: Elaboración propia.

zar-Moreno *et al.* 2014) se deben a la combinación de altos rendimientos, un bajo consumo hídrico y el uso intensivo de muchos factores productivos, como pone de manifiesto la baja participación del coste del agua en la estructura de costes totales que se deduce de los datos presentados en el Tabla 3.

La elevada productividad del agua es una de las justificaciones frecuentemente esgrimidas para argumentar la necesidad de garantizar los suministros de agua a este tipo de zonas, e incluso para fijar los techos de pago del sistema por este input. Este indicador, no obstante, no es el más apropiado para cuantificar la capacidad de pago del agricultor puesto que el agua no es un factor productivo aislado y más en un sistema con una elevada inversión inicial. Los indicadores de coste de cierre y coste de nivelación, al tener en cuenta la estructura de costes completa, permiten acotar de forma mucho más correcta los umbrales del importe máximo del agua que puede permitirse el sistema. Examinando los resultados obtenidos para el coste de nivelación (con o sin inversión inicial), las alternativas analizadas dan lugar a unos valores sensiblemente inferiores a la mitad de su productividad, aunque bastantes más elevados que un coste estándar para el agua desalada (0,6 €/m^3) para los precios medio y modal de venta. A su vez, todos los cultivos estudiados dan como resultado valores de coste de cierre elevados, asegurando su capacidad de pago por el input en el corto plazo. El análisis de escenarios de los precios de los productos pone de manifiesto la gran sensibilidad de estos indicadores a la volatilidad de los mismos, evidenciando que, si bien en el corto plazo (coste de cierre) el agricultor puede hacer frente a una elevación del coste del agua antes que perder la cosecha, ante descensos del nivel de precios percibidos, en el medio y largo plazo esta situación no sería financieramente sostenible.

Rentabilidad y precio del agua

Para desarrollar este apartado se ha construido un modelo de análisis financiero de la rentabilidad de la inversión para cada cultivo/alternativa, en que se ha fijado una vida útil de la inversión (n) de 20 años y se ha aplicado una tasa de interés anual estándar (i) del 5% (ICO, 2018). Se han considerado dos costes unitarios del agua, 0,25 €/m^3, que es el coste actual pagado por el agricultor por el agua de pozo en la zona y de 0,6 €/m^3, que supondría el coste del agua desalada. A partir de tales premisas, se indaga tanto la variación de la rentabilidad de las alternativas actualmente presentes en el Campo de Níjar (tomate en ciclo largo y tomate/sandía) al cambio de fuente de suministro, como la viabilidad de introducir nuevas alternativas (pepino/melón y papaya) gracias al uso de agua desalada. También se ha realizado en todos los casos un análisis de sensibilidad a los precios percibidos por el agricultor, considerando cuatro escenarios, cuyos resultados se muestran en la Tabla 5.

La puesta en marcha de un invernadero en el Campo de Níjar, con el supuesto de precios medios, constituye una inversión bastante rentable, a la vista de la TIR calculada. Dicha rentabilidad muestra una mayor sensibilidad a los precios vigentes para cada producto que al coste del agua. En efecto, el cambio de origen y, por tanto, del coste del agua hace descender la rentabilidad de la inversión menos de un 2% en todos los casos. Cabe señalar que las dos alternativas evaluadas que dependerían del uso del agua desalada presentan unos resultados más bajos en cuanto a rentabilidad, especialmente en el caso del plan de pepino/melón que no sería viable al precio medio percibido por ambos productos.

Los resultados se encuentran en línea con los obtenidos en otros estudios en España. En cultivos invernados como son los trabajos de Colino y Martínez-Paz (2007) y Barbosa (2013)

Tabla 5. Indicadores de rentabilidad según origen del agua: subterránea (PP) y desalada (PD)
Table 5. Profitability indicators according to water origin: underground (PP) and desalinated (PD)

Alternativas	Precio producto	VAN_{PP} (€)	VAN_{PD} (€)	TIR_{PP} (%)	TIR_{PD} (%)	PR_{PD} (años)
Tomate ciclo largo	Min	-59.248	-98.068	2,1	—	—
	Med	337.573	298.754	18,3	16,9	7
	Mod	293.482	254.662	16,7	15,2	8
	Max	822.577	783.758	35,8	34,4	4
Tomate/Sandía	Min	-147.156	-181.614	—	—	—
	Med	205.000	170.542	13,4	12,1	9
	Mod	166.093	131.635	11,9	10,6	10
	Max	505.937	471.479	24,3	23,1	6
Pepino/ Melón	Min		-351.568		—	—
	Med		-36.816		3,4	—
	Mod		41.782		6,4	14
	Max		496.765		23,9	5
Papaya	Min		-132.728		—	—
	Med		74.933		7,8	13
	Mod		229.004		12,8	9
	Max		691.218		25,9	5

VAN Valor Actual Neto; TIR: Tasa Interna de Rendimiento; PR: Periodo de Retorno.
Fuente: Elaboración propia.

que obtienen rentabilidades en torno al 10% para el análisis de los cultivos de tomate y la alternativa tomate/sandía respectivamente. En cultivos leñosos, que también tienen un capítulo importante de inversión inicial, algunos ejemplos de rentabilidades calculadas en estudios recientes son el 13% para el olivar en regadío en Andalucía (Egea *et al.*, 2017) y del 11,8% en el Valle del Ebro (Arbonés *et al.*, 2014); 6% para almendro intensivo en riego (Alcón *et al.*, 2013); 10% para el limonero (García, 2014); o diferentes frutales en la Región de Murcia con una TIR de entre el 2,27% al 12,41% (García, 2007).

Indicador comarcal agregado

A modo de síntesis se ha calculado un indicador comarcal agregado a partir de las ratios de rentabilidad que se han utilizado, ponderando su valor para cada cultivo/alternativa en función de su presencia territorial en la zona de estudio. Los resultados reflejados en la Tabla 6 y en la Figura 2 proporcionan dicho indicador comarcal agregado, así como el valor individual de todos los cultivos presentes en la zona, calculados a partir del precio medio percibido por el agricultor.

Las cuatro alternativas con importancia en la comarca tienen una elevada productividad aparente, destacando los más de 13 €/m^3 del cultivo de tomate *cherry* en ciclo largo. En consecuencia, el indicador comarcal es también muy elevado, superando los 10 €/m^3.

Las cifras del coste de nivelación y de cierre, entre 2,87 y 5,83 €/m^3, constituyen una referencia de la elevada capacidad de pago por el agua de este sistema productivo en su

Tabla 6. Productividad y costes característicos del agua en el Campo de Níjar. (€/m^3)
Table 6. Productivity and characteristic costs of water in the Campo de Níjar. (€/m^3)

Alternativas	Ocupación (%)	PAA	CNci	CNsi	CC
Tomate ciclo largo	35,1	9,94	3,29	4,54	6,34
Cherry ciclo largo	20,0	13,30	3,89	5,12	6,91
Tomate/Sandía	18,2	9,77	2,33	3,73	5,76
Cherry/Sandía	19,0	8,81	2,22	2,54	4,11
Calabacín/Sandía	4,3	8,60	0,88	2,51	4,87
Tomate/Calabacín	1,3	10,81	2,54	3,96	6,01
Pimiento/Sandía	1,1	5,91	-0,70	0,98	2,51
Pimiento ciclo largo	1,0	12,03	2,93	4,78	7,45
COMARCA[1]	100	10,30	2,87	4,00	5,83

[1] Media aritmética ponderada por la ocupación.

PAA: Productividad aparente del agua; CNci: Coste de nivelación con inversión inicial; CNsi: Coste de nivelación sin inversión inicial; CC: Coste de cierre del agua.

Fuente: Valera *et al.* (2016) y elaboración propia.

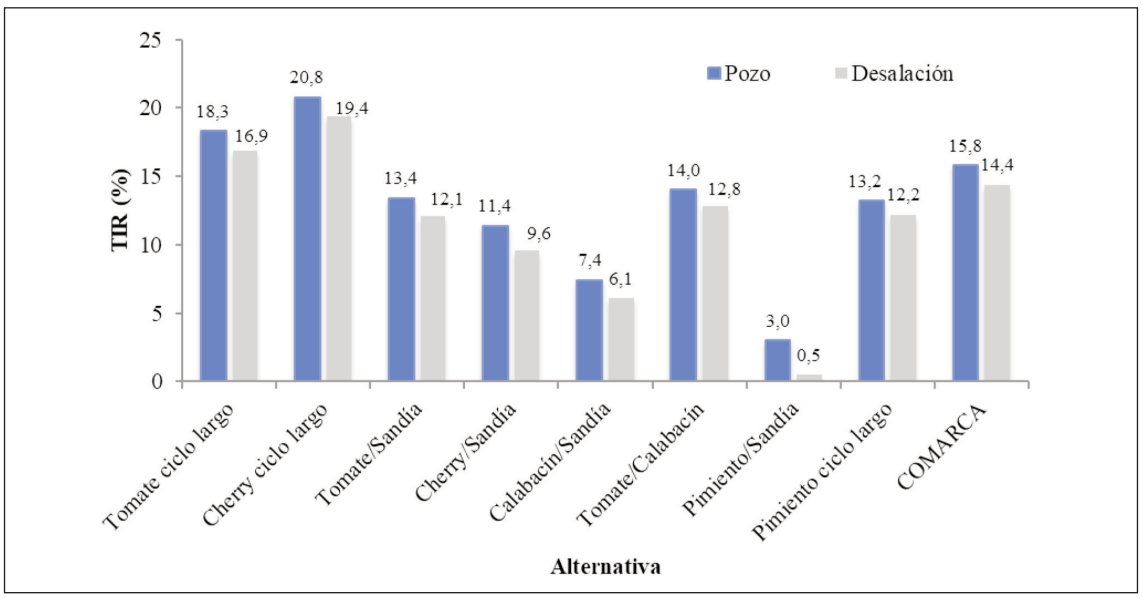


Figura 2. Tasa Interna de Rendimiento según cultivos/origen del agua.
Fuente: Elaboración propia.
Figure 2. Internal Rate of Return according to crops/origin of water.

conjunto, donde el coste del agua desalada no ha de suponer un freno a su viabilidad económica. Esta conclusión se ve refrendada por las cifras de TIR mostradas en la Figura 2, en las que se evidencia que el mayor coste del agua desalada apenas hace caer la rentabilidad en 1,4 puntos en el conjunto de la comarca, apenas un 10% del rendimiento financiero alcanzado.

Conclusiones

Este trabajo ha analizado desde una óptica financiera el papel del agua en el sistema de producción hortícola en invernadero del Campo de Níjar, caracterizándolo a partir de un conjunto amplio de indicadores que van desde la productividad, los costes de nivelación y de cierre y la viabilidad financiera de este modelo agrícola.

Los resultados han puesto de manifiesto la elevada productividad aparente del agua para todos los cultivos, con unos niveles de nivelación y cierre muy superiores a los costes de obtención del recurso no convencionales, como la desalación. Así, el mayor coste que para el agricultor representa el uso del agua desalada no ha de suponer una amenaza a la viabilidad económica del sector, dada la baja participación relativa que tiene el coste del agua en la estructura de costes variables totales de este tipo de explotaciones.

Por tanto, la recuperación del muy deteriorado y sobreexplotado sistema de acuíferos de la zona, que hasta ahora viene siendo la fuente de recursos hídricos para todo este enclave agrario, habría de pasar por una sustitución de sus bombeos por caudales procedentes de la cercana instalación desaladora de agua de mar de Carboneras, muy infrautilizada en la actualidad.

Además, esta sustitución de origen del agua proporcionaría a la zona la posibilidad de ampliar el abanico de orientaciones productivas, actualmente muy restringidas a unos pocos cultivos debido a la elevada salinidad del agua bombeada. Esta diversificación productiva es uno de los instrumentos que tiene la zona para amortiguar una de sus amenazas más importantes, como es la volatilidad de precios. El análisis de escenarios, en función de los precios percibidos por los agricultores, ha puesto de manifiesto que es el descenso de los mismos el factor que pone en cuestión los indicadores de rentabilidad, en medida muy superior a la elevación del coste del agua.

Estas conclusiones son refrendadas de forma cualitativa por el propio sector en el trabajo de García-García *et al.* (2016) en el que, a partir de una encuesta a una muestra representativa de horticultores en invernadero de Almería, el 93,1% señala los bajos precios de los productos como el problema más importante del sector. En este estudio, el problema de "mala calidad y escasez del agua" es indicado por un 8,2% de los entrevistados, que, si bien parece un porcentaje bajo, es nueve veces superior al porcentaje que lo indicaban apenas 7 años antes (0,9%), lo cual no deja de ser indicativo de la progresiva conciencia que viene tomando el sector respecto a la precaria situación de los recursos hídricos en la zona y la necesidad de medidas para garantizar su suministro.

Agradecimientos

Este trabajo se enmarca dentro de los resultados del proyecto de investigación 19342/PI/14 financiado por la "Fundación Séneca-Agencia de Ciencia y Tecnología de la Región de Murcia" en el marco de PCTIRM 2011-2014. El mismo fue desarrollado durante la estancia de investigación del segundo autor en la Fundación Finca Experimental Universidad de Almería – Anecoop (Almería). Los autores agradecen las sugerencias de los revisores anónimos que han permitido mejorar este trabajo.

Bibliografía

Albiac J, Tapia J, Meyer A, Hanemann M, Mema M, Calatrava J, Uche J, Calvo E (2008). Los problemas económicos de la planificación hidrológica. Revista de Economía Aplicada 16(47): 25-50.

Alcón F, Egea G, Nortes PA (2013). Financial feasibility of implementing regulated and sustained deficit irrigation in almond orchards. Irrigation Science 31(5): 931-941.

Alcón 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.

Arbonés A, Pascual M, Rufat J (2014). Análisis técnico-económico de diferentes sistemas de plantación de olivo en zonas semiáridas del Valle del Ebro. ITEA-Información Técnica Económica Agraria 110(4): 400-413.

Aznar-Sánchez JA, Sánchez-Picón A (2010). Innovación y distrito en torno a un "milagro": la configuración del sistema productivo local de la agricultura intensiva en Almería. Revista de historia industrial 42: 157-193.

Aznar-Sánchez JA, Belmonte-Ureña LJ, Valera DL (2017). Perceptions and Acceptance of Desalinated Seawater for Irrigation: A Case Study in the Níjar District (Southeast Spain). Water 9(6): 408.

Badiuzzaman P, McLaughlin E, McCauley D (2017). Substituting freshwater: Can ocean desalination and water recycling capacities substitute for groundwater depletion in California? Journal of Environmental Management 203: 123-135.

Barbier EB, Markandya A, Pearce DW (1990). Environmental sustainability and cost-benefit analysis. Environment and Planning A: Economy and Space 22(9): 1259-1266.

Barbosa O (2013). Análisis y rentabilidad económica del uso del agua en el riego de invernaderos del Campo de Níjar. Trabajo Fin de Máster. Universidad de Almería. 44 pp.

Berbel J, Mesa P (2007). Valoración del agua de riego por el método de precios quasi-hedónicos: aplicación al Guadalquivir. Economía Agraria y Recursos Naturales 14: 127-144.

Bergmann H, Boussard JM (1976). Guide to the Economic Evaluation of Irrigation Projects. (Revised version).

Bos MG, Murray-Rust DH, Merrey DJ, Johnson HG, Snellen WB (1993). Methodologies for assessing performance of irrigation and drainage management. Irrigation and drainage systems 7(4): 231-261.

Cabrera A, Uclés D, Agüera T (2015). Análisis de la campaña hortofrutícola de Almería-Campaña 2014/2015. Informes y Monografías 51. Ed. Cajamar Caja Rural, Almería. 82 pp.

Calatrava J, Martínez-Granados (2012). El valor de uso del agua en el regadío de la cuenca del Segura y en las zonas regables del trasvase Tajo-Segura. Economía Agraria y Recursos Naturales 12: 5-32.

Ceña F, Romero C (1982). Evaluación económica y financiera de inversiones agrarias. Ed. Banco de Crédito Agrícola. Madrid. 346 pp.

Colby BG (1989). Estimating the value of water in alternative uses. Natural Resources Journal 29(2): 511-527.

Colino J, Martínez-Paz JM (2002). El agua en la agricultura del Sureste español: productividad, precio y demanda. En: La agricultura mediterránea del siglo XXI. Mediterráneo Económico 2 (Coord. Álvarez-Coque JM), pp. 199-221. Cajamar Caja Rural, Almería.

Colino 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.

Doorenbos J, Kassam AH (1979). Yield response to water. FAO Irrigation and drainage 33. Ed. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Roma. 257 pp.

Egea G, Fernández JE, Alcón, F (2017). Financial assessment of adopting irrigation technology for plant-based regulated deficit irrigation scheduling in super high-density olive orchards. Agricultural Water Management 187: 47-56.

European Commission (2000). Directive 2000/EC of the European Parliament and of the Council of

23 October 2000. Establishing a Framework for Community Action in the Field of Water Policy. Official Journal 22 December 2000 L 327/1, Brussels, European Commission. 72 pp.

Extenda (2018) Observatorio de la internacionalización de la economía andaluza. Junta de Andalucía. Disponible en: https://www.extenda.es/web/opencms/servicios/observatorio (Consultado: 20/03/2018)

Freixa E, Gil JM, Tous J, Hermoso JF (2010). Comparative study of the economic viability of high- and super-high-density olive orchards in Spain. Acta Horticulturae 924: 247-254.

García J (2007). Evaluación económica y eficiencia del agua de riego en frutales de regadío. Ed. IMIDA, Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Alimentario. Conserjería de Agricultura y Agua de la Región de Murcia. Murcia. 115 pp.

García J (2014). Análisis del sector del limonero y evaluación económica de su cultivo. Ed. IMIDA, Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Alimentario. Conserjería de Agricultura y Agua de la Región de Murcia. Murcia. 148 pp.

García-Caparros P, Contreras JI, Baeza R, Segura ML, Lao MT (2017). Integral Management of Irrigation Water in Intensive Horticultural Systems of Almería. Sustainability 9(12): 2271.

García-García MC, Céspedes-López AJ, Pérez-Parra JJ, Lorenzo-Mínguez P (2016). El sistema de producción protegido de la provincia de Almería. Ed. IFAPA, Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera, Almería. 179 pp.

Garrido-Colmenero A, Palacios E, Calatrava J (2004). La importancia del valor, costo y precio de los recursos hídricos en la Gestión. Ed. Proyecto Regional de cooperación técnica para la formación en economía y políticas agrarias y de desarrollo rural en América Latina (FODEPAL). 49 pp.

Gómez-Limón JA, Calatrava J, Garrido A, Sáez FJ, Xabadia A (2009). La economía del agua de riego en España. Ed. Cajamar Caja Rural, Almería. 528 pp.

Gómez-Limón JA, Calatrava J (2016). Los mercados de agua en España. Presente y perspectivas. Serie económica Cajamar 26. Ed. Cajamar Caja Rural, Almería. 480 pp.

Hanley ND, Spash CL (1993). Cost-benefit analysis and the environment. Aldershot, UK, Edward Elgar. 288 pp.

ICO (2018). ICO Empresas y Emprendedores. Instituto de Crédito Oficial. Disponible en: https://www.ico.es/web/ico/lineas-ico (Consultado: 20/03/2018)

INE (2018): Contabilidad Regional de España. Serie base 2010. Instituto Nacional de Estadística. Disponible en: http://www.ine.es/ (Consultado: 21/03/2018)

Junta de Andalucía (2009). Memoria del Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas 2009-2015. Ed. Consejería de Agricultura, Pesca y Medio Ambiente. 359 pp.

Junta de Andalucía (2017). Observatorio de Precios y Mercados. Disponible en: http://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/ (Consultado: 20/03/2018)

Karagiannis IC, Soldatos PG (2008). Water desalination cost literature: review and assessment. Desalination 223(1-3): 448-456.

Lapuente E (2012). Full cost in desalination. A case study of the Segura River Basin. Desalination 300: 40-45.

López-Marín J, Porras I, Ros C, Brotons-Martínez JM (2016). Estudio de la rentabilidad del cultivo de pimiento (*Capsicum annuum*) en invernadero con el uso de sombreo. ITEA-Información Técnica Económica Agraria 112(1): 57-71.

March H, Saurí D, Rico-Amorós AM (2014). The end of scarcity? Water desalination as the new cornucopia for Mediterranean Spain. Journal of Hydrology 519: 2642-2651.

Martínez-Álvarez V, Martin-Gorriz B, Soto-García M (2016). Seawater desalination for crop irrigation – A review of current experiences and revealed key issues. Desalination 381: 58-70.

Martínez-Granados D, Calatrava J (2014). The role of desalinisation to address aquifer overdraft in SE Spain. Journal of Environmental Management 144: 247-257.

Martínez-Paz JM, Martínez-Carrasco F, Dios-Palomares R (2001). Analysis of the evolution of

protected horticulture in Almeria Area: Cycles, structure and growth. Acta Horticulturae 559: 713-718.

Martínez-Paz JM, Perni A, Ruíz P, Pellicer F (2016). Valoración económica de los fallos de suministro en los regadíos de la cuenca del Segura. Revista Española de Estudios Agrosociales y Pesqueros 244: 35-67.

Mesa-Jurado MA, Pistón JM, Mesa P, Berbel J (2007). Aplicación de la metodología del valor residual del agua de regadío en la Cuenca del Guadalquivir. VI Congreso de Economía Agraria "De la Economía Agraria a la Economía Rural y Agroalimentaria". 19-21 septiembre, Albacete, España.

Molina J (2005). La economía de la provincia de Almería. Ed. Cajamar Caja Rural, Almería. 704 pp.

Muñoz I, del Mar M, Fernández-Alba AR (2010). Life Cycle Assessment of biomass production in a Mediterranean greenhouse using different water sources: Groundwater, treated wastewater and desalinated seawater. Agricultural systems 103(1): 1-9.

National Research Council (1997). Valuing ground water: economic concepts and approaches. Ed. The National Academies Press, Washington, DC. 204 pp.

Pellicer-Martínez F, González-Soto I, Martínez-Paz JM (2015). Analysis of incorporating groundwater exchanges in hydrological models. Hydrological Processes 29(19): 4361-4366.

Pellicer-Martínez F, Martínez-Paz JM (2016). The Water Footprint as an indicator of environmental sustainability in water use at the river basin level. Science of the Total Environment 571: 561-574

Reca J, Trillo C, Sánchez JA, Martínez J, Valera D (2018). Optimization model for on-farm irrigation management of Mediterranean greenhouse crops using desalinated and saline water from different sources. Agricultural Systems. In press.

Salazar-Moreno R, Rojano-Aguilar A, López-Cruz IL (2014). La eficiencia en el uso del agua en la agricultura controlada. Tecnología y ciencias del agua 5(2), 177-183.

Sánchez JA, Reca J, Martínez J (2015). Water productivity in a Mediterranean semi-arid greenhouse district. Water Resources Management 29(14): 5395-5411.

Toro-Sánchez, FJ (2008). El uso del agua en Níjar: implicaciones ambientales del modelo actual de gestión. Revista de estudios regionales 83: 145-176.

Turner RK, Georgiou S, Clark R, Brouwer R, Burke JJ (2004). Economic valuation of water resources in agriculture: From the sectoral to a functional perspective of natural resource management. FAO Water Reports 27. Ed. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Roma.. 187 pp.

Valera DL, Belmonte LJ, Molina FD, López A (2016). Greenhouse agriculture in Almería. A comprehensive techno-economic analysis. Ed. Cajamar Caja Rural, Almería. 408 pp.

Young RA (2005). Determining the economic value of water: concepts and methods. Ed. Resources for the Future, Washington, D.C. 376 pp.

Zarzo D, Campos E, Terrero E (2013). Spanish experience in desalination for agriculture. Desalination and Water Treatment 51(1-3): 53-66.

Zetland D (2017). Desalination and the commons: tragedy or triumph? International Journal of Water Resources Development 33(6): 890-906.

(Aceptado para publicación el 20 de julio de 2018)

PREMIOS DE PRENSA AGRARIA 2018 DE LA ASOCIACIÓN INTERPROFESIONAL PARA EL DESARROLLO AGRARIO

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

Los premios se regirán de acuerdo a las siguientes

BASES

1. Podran concursar todos los artículos que versen sobre cualquier tema técnico-económico-agrario.
2. Los artículos que podrán acceder al premio serán todos aquellos que se publiquen en ITEA en el año 2018. Consecuentemente, los originales deberán ser enviados de acuerdo con las normas de ITEA y aprobados por su Comité de Redacción.
3. El jurado estará constituido por las siguientes personas:
   a) Presidente de AIDA, que presidirá el jurado.
   b) Director de la revista ITEA, que actuará de Secretario.
   c) Director Gerente del CITA (Gobierno de Aragón).
   d) Director del Instituto Agronómico Mediterráneo de Zaragoza.
   e) Director de la Estación Experimental de Aula Dei.
   f) Director 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 (CAI, Ag. 2, Zaragoza, nº ES66-2086-0002-12-3300254819) por el importe de la cuota anual. En ese caso, adjunte un comprobante de la transferencia.

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

En _____ , a ___ de _____ de 20__

Firma:

FORMA DE PAGO (CUOTA ANUAL: 42 EUROS)

	Cargo a cuenta corriente (rellenar la domiciliación bancaria)
	Transferencia a la cuenta de AIDA ES66-2086-0002-12-3300254819 (adjuntar comprobante)

DOMICILIACION BANCARIA

Sr. Director del Banco/Caja

Muy Sr. mío,

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

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

Atentamente,

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

PROTECCIÓN DE DATOS

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

AUTORIZACIONES

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

* Debe responder a estar cuestiones obligatoriamente.

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

SE INFORMA

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

Nombre y apellidos del Socio:

DNI:

Representante legal (si lo hubiere):

DNI:

En _____ , a ___ de _____de 20___

FIRMA DEL SOCIO:

NORMAS PARA LOS AUTORES (actualizado febrero de 2018)

La revista ITEA es una publicación internacional indexada en las bases de datos de revistas científicas. La revista se publica en español en 4 números (marzo, junio, septiembre y diciembre) por año. De acuerdo con los fines de la Asociación Interprofesional para el Desarrollo Agrario (AIDA), ITEA publica artículos que hagan referencia a la Producción Vegetal, Producción Animal y Economía Agroalimentaria. Se aceptan contribuciones en formato de nota técnica, artículo de revisión o artículo de investigación. El envío de un artículo implicará que el mismo no haya sido publicado o enviado para publicar en cualquier otro medio de difusión o idioma y que todos los coautores aprueben dicha publicación. Los derechos sobre todos los artículos o ilustraciones publicados serán propiedad de ITEA, que deberá recibir por escrito la cesión o copyright, una vez aceptado el artículo. La publicación de un artículo en ITEA no implica responsabilidad o acuerdo de ésta con lo expuesto, significando solamente que el Comité de Redacción lo considera de suficiente interés para ser publicado.

1. Envío de manuscritos y evaluación

Los manuscritos originales, en español, se enviarán a través de la página web de AIDA (http://www.aida-itea.org/index.php/revista/revista-envio). Para ello, los autores deberán registrarse en la aplicación, y seguir las indicaciones pertinentes. El manuscrito se enviará como un único documento Word, incluyendo las tablas y figuras al final del mismo. Los autores deberán incluir en archivo independiente una carta de presentación en la que figure el título, los autores y un listado con 4 potenciales revisores (nombre completo, dirección postal y correo electrónico), que no deberán estar en conflicto de intereses con los autores o el contenido de manuscrito, en cuyo caso el Comité Editorial podrá negarse a colaborar con dichos revisores.

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

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

2. Tipos de manuscritos

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

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

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

– **Las revisiones bibliográficas** serán una evaluación crítica de una temática que exponga los resultados de otros trabajos, el estado actual de los conocimientos en esa temática y tratará de identificar nuevas conclusiones y áreas de investigación futuras. La extensión máxima será de 35 páginas. Los apartados de los que constarán son: Introducción, seguida de los apartados que consideren oportunos los autores, Conclusiones y Bibliografía; tablas y figuras si los autores lo consideran oportuno.

3. Preparación del manuscrito

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

Todos los manuscritos incluirán, en la primera página:

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

Apellido de los autores, precedido de las iniciales del nombre, e indicando con un asterisco el autor para correspondencia. Los autores penúltimo y último irán separados por una "y". En caso de que pertenezcan a distintas instituciones, señalar a cada autor con números superíndices diferentes. Si un autor desea aparecer con dos apellidos, éstos deberán unirse con un guión.

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

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

Ejemplo:

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

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

*autor para correspondencia: gpardos@aragon.es

El manuscrito incluirá a continuación:

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

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

En inglés: Título del artículo, Resumen, Palabras clave

4. Apartados del manuscrito

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

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

  *un autor (Padilla, 1974)

  *dos autores (Vallace y Raleigh, 1967)

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

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

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

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

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

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

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

Artículo

Blanc F, Bocquier F, Agabriel J, D'Hour P, Chilliard Y (2006). Adaptative abilities of the females and sustainability of ruminant livestock systems. A review. Animal Research 55: 489-510.

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.

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

En aquellas referencias que se hallan consultado electrónicamente o dispongan de DOI, añadir al final "Disponible en:" y la URL donde se haya consultado.

En http://www.aida-itea.org/ está disponible el fichero de estilo de endnote ITEA.ens URL: http://www.aida-itea.org/images/files/ITEA.ens.zip para su descarga.

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

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

Ejemplo de tabla:

Tabla 3. Tarjetas de productos hipotéticos expuestos a los encuestados

Table 3. Hypothetical products cards shown to those surveyed

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

Fuente: Diaz *et al.* (2013)

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

5. Normas de estilo

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

Volumen 114
Número 4
Diciembre 2018

itea

información técnica económica agraria

www.aida-itea.org

REVISTA DE LA ASOCIACIÓN INTERPROFESIONAL PARA EL DESARROLLO AGRARIO

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