itea

información técnica económica agraria

REVISTA DE LA ASOCIACIÓN INTERPROFESIONAL PARA EL DESARROLLO AGRARIO



Volumen 114

Número 2

Junio 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 2 http://dx.doi.org/10.12706/itea	**DIRECCIÓN Y REDACCIÓN** Avda. Montañana, 930 50059 ZARAGOZA (ESPAÑA) Tel.: 34-976 716305 Fax.: 34-976 716335 E-mail: 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/revista-intro

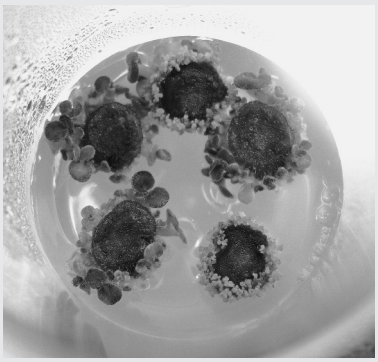


Foto: Pilar Andreu, texto: Juan A. Marín

Las plantas tienen asombrosos mecanismos de regeneración de órganos (organogénesis) que dan lugar a nuevos individuos y aseguran su perpetuación, sobre todo después de accidentes traumáticos o ataques de herbívoros. Este es el caso de la violeta africana (*Saintpaulia ionantha* I.Darbysh. & Pócs), que aunque es originaria de zonas tropicales africanas, se ha adaptado a nuestros hogares como planta ornamental por sus vistosas flores y hojas. La fotografía muestra secciones de peciolo de hoja de violeta africana en las que la regeneración de nuevos brotes a partir de tejidos ya diferenciados se produce estimulada por la acción conjunta de reguladores de crecimiento (auxinas y citoquininas) *in vitro* en condiciones asépticas, haciendo de estos cultivos un excelente modelo experimental.

Sumario

Producción Vegetal

Evolución del conocimiento sobre la pungencia de la cebolla (*Allium cepa* L.) y del pimiento (*Capsicum* spp.): desde sus orígenes hasta el potencial nutracéutico actual. Revisión bibliográfica.
*Evolution of the pungency of onion (*Allium cepa *L.) and pepper (*Capsicum *spp.) from its origin to the current nutraceutical potential.*
O. Fayos, C. Mallor y A. Garcés-Claver 99

Hibridación entre diferentes tipos de chiles y estimación de la heterosis para rendimiento y calidad de fruto.
Hybridization between different types of chilis and estimation of heterosis for yield and fruit quality.
L.R. Luna-García, V. Robledo-Torres, M.E. Vásquez-Badillo, F. Ramírez-Godina y R. Mendoza-Villarreal 119

Producción Animal

Nota técnica: El área corporal en bovino de engorde está más correlacionada con la longitud corporal que con el peso corporal.
Body surface area in fattening cattle is more correlated to body length than to body weight.
P.M. Parés-Casanova 135

Ayuda a las decisiones de apareamiento en poblaciones animales con información genealógica incompleta.
Mating decision support in animal populations with incomplete pedigree.
L. Alfonso 142

Economía Agraria

Análisis de la heterogeneidad de la demanda de bienes públicos procedentes del olivar de montaña en Andalucía.
Analysis of heterogeneity in the demand for public goods provided by mountain olive groves in Andalusia.
R. Granado-Díaz, A.J. Villanueva, J.A. Gómez-Limón y M. Rodríguez-Entrena 158

Canales cortos de comercialización territoriales: conceptualización, caracterización y aplicación para el caso de Córdoba, España.
Territorial short food supply chains: conceptualization and characterization for the case of Córdoba, Spain.
L. Reina-Usuga, T. De-Haro y C. Parra-López 183

Evolución del conocimiento sobre la pungencia de la cebolla (*Allium cepa* L.) y del pimiento (*Capsicum* spp.): desde sus orígenes hasta el potencial nutracéutico actual. Revisión bibliográfica

O. Fayos, C. Mallor y A. Garcés-Claver*

Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón. Departamento de Hortofruticultura. Instituto Agroalimentario de Aragón – IA2 (CITA-Universidad de Zaragoza), Avda. Montañana 930, 50059, Zaragoza, España

Resumen

La cebolla (*Allium cepa* L.) y el pimiento (*Capsicum* spp.) han sido cultivados durante miles de años por sus propiedades medicinales y terapéuticas. En la actualidad, estas propiedades bioactivas promotoras de la salud se han atribuido, principalmente, a la acción de los compuestos responsables de la pungencia de la cebolla y del pimiento. El potencial nutracéutico de los sulfóxidos de cisteína en cebolla y de los capsinoides y capsicinoides en pimiento ha despertado especial interés en las industrias tanto farmacéuticas como agroalimentarias para el desarrollo de nuevos alimentos funcionales. Además, el aumento de la demanda por los consumidores de alimentos frescos más saludables ha incentivado el desarrollo de nuevos programas de mejora de la calidad dirigidos a la obtención de variedades hortícolas con mayores contenidos en estos compuestos nutracéuticos. La presente revisión aborda estos aspectos desde el punto de vista de la complejidad de las rutas de biosíntesis de los compuestos y cómo las técnicas analíticas modernas, más precisas y sensibles, se han convertido en una herramienta fundamental para el estudio del carácter picante.

Palabras clave: Sulfóxidos de cisteína, capsinoides, capsicinoides, alimentos funcionales, rutas de biosíntesis, HPLC.

Abstract

Evolution of the pungency of onion (*Allium cepa* L.) and pepper (*Capsicum* spp.) from its origin to the current nutraceutical potential

Onion (*Allium cepa* L.) and pepper (*Capsicum* spp.) have been cultivated for thousands of years due to their medicinal and therapeutic properties. Nowadays, these health-promoting properties have been attributed to the bioactive compounds responsible for the pungency of onion and pepper. The nutraceutical potential showed by cysteine sulfoxides in onion and by capsinoids and capsaicinoids in pepper has given rise to a special interest in the pharmaceutical and food industries for the development of novel functional foods. In addition, the increase in demand for consumers of healthy fresh foods has stimulated the development of breeding programs for obtaining new vegetable varieties with higher contents of nutraceutical compounds. The present review addresses these aspects from the point of view of the complexity of the biosynthesis pathways of such compounds, and as modern analytical techniques, more precise and sensitive, have become a fundamental tool for the study of the pungency.

Keywords: *S*-alk(en)yl-L-cysteine sulfoxides, capsinoids, capsaicinoids, functional foods, biosynthesis pathways, HPLC.

* Autor para correspondencia: agarces@cita-aragon.es

https://doi.org/10.12706/itea.2018.007

Introducción

La cebolla (*Allium cepa* L.) y el pimiento (*Capsicum* spp.) han sido cultivados durante miles de años, tanto por su valor como especia o alimento como por sus propiedades profilácticas y terapéuticas. En la actualidad, gran parte de estas propiedades medicinales se han atribuido a la acción de los compuestos responsables de la pungencia (picor) de la cebolla, los sulfóxidos de cisteína (SCs), y del pimiento, los capsinoides y capsicinoides (CTOs/CAPs). Estos compuestos son considerados nutracéuticos por su bioactividad antioxidante, antinflamatoria, analgésica, antiasmática, antimicrobiana, antiplaquetaria, antitrombótica, antiobesidad, hipocolesterolemiante, hipolipemiante e hipoglucemiante (Rose *et al*., 2005; Corzo-Martínez *et al*., 2007; Luo *et al*., 2011), convirtiéndose en compuestos de gran interés para las industrias tanto farmacéuticas como agroalimentarias enfocadas al desarrollo de nuevos alimentos funcionales. Además, la creciente demanda de alimentos frescos más saludables ha incentivado el desarrollo de programas de mejora de la calidad de la cebolla y del pimiento con el objeto de obtener nuevas variedades con mayores contenidos en estos compuestos. El desarrollo de técnicas analíticas, cada vez más precisas, mejora la eficiencia del criterio de selección en dichos programas y contribuyen, junto con las herramientas de la genómica y la proteómica, al esclarecimiento de las rutas de biosíntesis y de los genes implicados en la pungencia de ambos cultivos. Estos aspectos se abordan en la presente revisión.

Compuestos responsables del picor

Los SCs y CTOs/CAPs son compuestos estructuralmente muy diferentes pero comparten una característica en común: la pungencia. Ambos grupos de compuestos son capaces de activar los receptores neuronales TRPV1 (receptor potencial transitorio vainilloide tipo 1) provocando las sensaciones de picor, calor o incluso dolor.

Sulfóxidos de cisteína: precursores del aroma, sabor y picor de la cebolla

En cebolla, el contenido en compuestos azufrados puede alcanzar hasta el 5% de su peso seco. La mayoría de estos compuestos se encuentran en forma de aminoácidos no proteicos, como los SCs (Lancaster y Shaw, 1989). Los SCs son los precursores no aromáticos de una amalgama de compuestos azufrados volátiles, inestables y altamente reactivos responsables de gran variedad de aromas y sabores y de la pungencia de los *Alliums* y de algunas brásicas (Thomas y Parkin, 1994; Kubec y Dadákova, 2008).

Los trabajos de Stoll y Seebeck (1947) fueron pioneros en el análisis de los (SCs) al identificar la aliina (sulfóxido de *S*-alil-L-cisteína; ASC) en ajo (*A. sativum*). Una década más tarde se identificaron en cebolla (*A. cepa*) otros tres SCs: la isoaliina (sulfóxido de *trans*-(+)-*S*-(1-propenil)-L-cisteína; 1-PeSC), la metiina (sulfóxido de *S*-metil-L-cisteína; MeSC) y la propiina (sulfóxido de *S*-propil cisteína, PSC) (Virtanen y Matikkala, 1959; Matikkala y Virtanen, 1967). Posteriormente, el desarrollo de técnicas analíticas más sensibles y precisas facilitó la determinación de otros SCs minoritarios como la etiina (sulfóxido de *S*-etil-L-cisteína, ESC) en cebolla y ajo entre otras especies de *Allium* (Kubec *et al*., 1999; Kubec *et al*., 2000), la butiina (sulfóxido de *S*-n-butil-L-cisteína, BSC) en bulbos de *A. siculum* (Kubec *et al*., 2002) y el sulfóxido de *S*-(3-pentenil)-L-cisteína en semillas de cebolla de la variedad local 'tropeana' (Dini *et al*., 2008). Recientemente, los sulfóxidos *S*-(3-pirrolil)-L-cisteína y *S*-(2-piridil)-L-cisteína se han identificado en bulbos de algunas especies de *Allium* pertenecientes al subgénero *Melanocrommyum* (Jedelská *et al*., 2008; Kusterer *et al*., 2010).

La hidrólisis de los SCs por acción de la enzima alinasa, (*S-alqu(en)il-L-cisteina sulfóxido liasa*; EC 4.4.1.4), desencadena una serie de reacciones originando gran variedad de compuestos azufrados aromáticos (Schwimmer y Mazelis, 1963) (Figura 1). En tejidos vegetales intactos, la alinasa se confina en las vacuolas celulares mientras que los SCs se encuentran en el citoplasma. Cuando la estructura celular se rompe al cortar, masticar o cocinar el tejido, se produce la hidrólisis de los SCs [R-SO-CH_2-CH(NH_2)COOH], donde -R representa

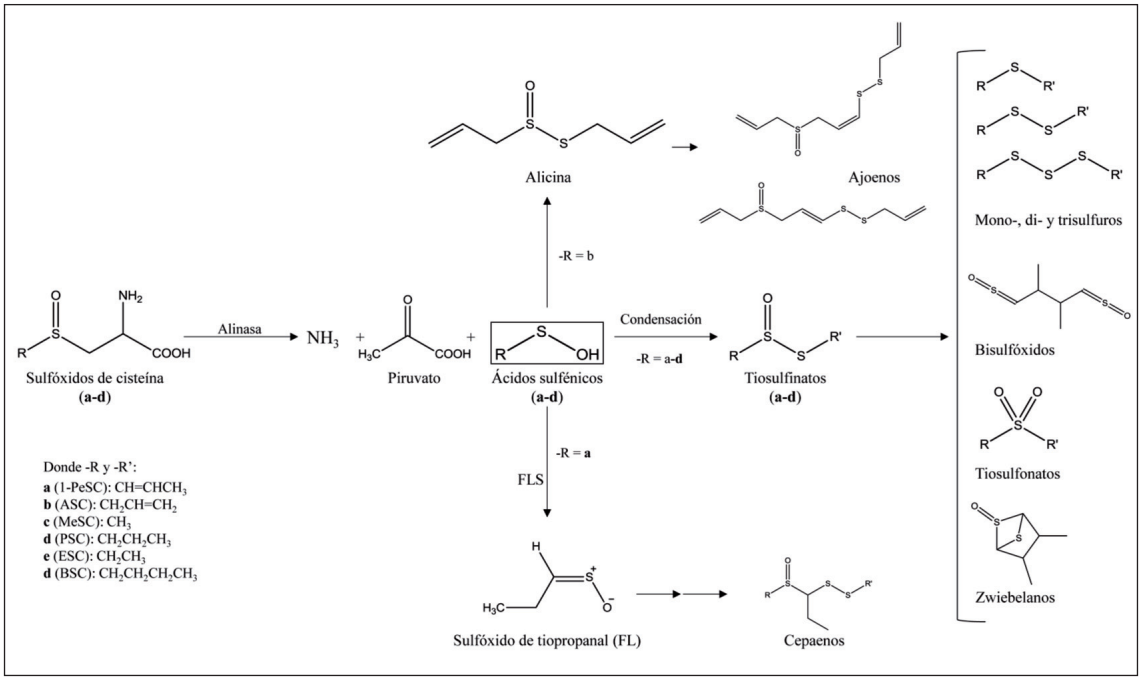


Figura 1. Reacciones químicas y compuestos generados a partir de la hidrólisis enzimática de los sulfóxidos de cisteína (modificado a partir de las rutas propuestas por Block *et al*., 1996; Rose *et al*., 2005; Corzo-Martínez *et al*., 2007 y Block, 2013).
Figure 1. Chemical reactions and compounds generated from enzymatic hydrolysis of cysteine sulfoxides (modified from Block et al.*, 1996; Rose* et al.*, 2005; Corzo-Martínez* et al.*, 2007; Block, 2013)*.

los grupos CH_3- (MeSC); CH_3-CH_2-CH_2- (PSC); CH_3-CH = CH- (1-PeSC) y CH_2 = CH-CH- (ASC), originándose, en primer lugar piruvato, amoniaco y ácidos sulfénicos (Lancaster y Collin, 1981). Estos ácidos sulfénicos (R-S-OH), son compuestos volátiles altamente reactivos por lo que rápidamente se reorganizan y condensan en forma de tiosulfinatos (R-S-SO-R'). La heterogénea mezcla de tiosulfinatos resultante es consecuencia de la naturaleza de los grupos -R y -R' de sus precursores y la proporción en la que se encuentren en la mezcla, determinará los aromas primarios, característicos de las distintas especies de *Allium*. A su vez, los tiosulfinatos son compuestos volátiles muy inestables por lo que rápidamente reaccionan entre ellos o con otros ácidos sulfénicos originando formas más estables como los tio-

sulfonatos (R-SO_2-S-R'); monosulfuros (R-S-R'); disulfuros (R-S-S-R'); trisulfuros (R-S-S-S-R') y otros tiosulfinatos (Block *et al*., 1996; Rose *et al*., 2005; Corzo-Martínez *et al*., 2007; Block, 2013).

La isoaliina (1-PeSC): precursor del factor lacrimógeno

En líneas generales, podemos considerar que en cebolla el SCs mayoritario es la 1-PeSC seguidamente de la MeSC y algo de PSC, aunque también se ha determinado ASC en algunas variedades (Edwards *et al*., 1994). En consecuencia, el ácido sulfénico mayoritario derivado de la 1-PeSC, por acción de la alinasa, es el ácido 1-propenesulfénico. Este ácido sulfénico se convierte en sulfóxido de tiopropanal, también conocido como factor lacrimógeno, por acción de una segunda enzima llamada *sintasa factor lacrimógeno* (FLS; EC 5.3.-.-). Este factor es el responsable de la irritación y el lagrimeo ocular originados al cortar la cebolla (Imai *et al*., 2002).

Otros compuestos azufrados de interés

A partir de la hidrólisis enzimática de la 1-PeSC se origina el factor lacrimógeno así como una pequeña proporción de tiosulfinatos, entre los que se incluyen los cepaenos, originados de forma no enzimática debido a la inestabilidad del ácido 1-propenesulfénico (Imai *et al*., 2002). Por otro lado, la hidrólisis de la ASC da lugar a la alicina (*S*-alil-2-propentiosulfinato), originada por la condensación del ácido 2-propenesulfénico. La alicina es muy inestable por lo que reacciona con ella misma para formar sulfuros, trisulfuros y tiosulfonatos como los ajoenos. Cepaenos y ajoenos son estructuralmente muy parecidos y ambos grupos de compuestos son de gran interés en el ámbito médico. Simultáneamente, los ácidos sulfénicos, derivados de la degradación de todos los SCs, originan una mezcla de tiosulfinatos, bisulfóxidos y zwiebelanos, entre otros (Block *et al*., 1996; Rose *et al*., 2005; Corzo-Martínez *et al*., 2007; Block, 2013).

Otros compuestos azufrados de gran interés son los γ-glutamil péptidos (γGPs), que si bien no contribuyen directamente con el aroma, sabor y picor, actúan como reserva de nitrógeno y azufre durante la dormancia de los bulbos y como intermediarios en la ruta de biosíntesis de los SCs (Lancaster y Shaw, 1989).

La síntesis de unos compuestos azufrados en lugar de otros y la proporción en la que se encuentran están influenciadas por las características genéticas de la planta y las condiciones ambientales en las que crece y se desarrolla. La formación de unos compuestos u otros es el factor determinante para el desarrollo de unos determinados aromas y sabores característicos de cada especie, así como de las diferentes actividades biológicas (Yoo y Pike, 1998).

Capsinoides y capsicinoides (CTOs/CAPs) responsables del picor en Capsicum

Los capsinoides y capsicinoides (CTOs/CAPs) son exclusivos del género *Capsicum* y si bien no contribuyen en su valor nutritivo, son los causantes del picor y calor característico del pimiento al ser consumido. Los capsicinoides (CAPs) han sido objeto de estudio desde principios del siglo XIX, sin embargo, la estructura química de la capsicina [(E)-N-[(4- hidroxi-3-metoxifenil)metil]-8-metil-6-nonanamida; Cap] no se determinó hasta 1919 (Nelson, 1919). La Cap y la dihidrocapsicina [N-(4-hidroxi-3-metoxibenzil)-8-metilnonanamida; dhCap] son los mayoritarios, representando hasta el 90% del contenido total de CAPs (Aza-González *et al*., 2011). Aunque Cap, dhCap y nordihidrocapsicina [N-(4- hidroxi-3-metoxibenzil)-7-metiloctanamida; ndhCap] son los tres CAPs más frecuentes, en la actualidad se han descrito, en frutos de pimiento, más de 20 análogos a la Cap (Bosland y Votava, 2012).

El descubrimiento de los capsinoides fue posterior; Yazawa *et al*. (1989) identificaron en los

frutos del cultivar 'CH19-Sweet' (*C. annuum*) un grupo de compuestos análogo a los CAPs a los que llamaron *capsaicinoid-like substances* (CLSs). Años más tarde Kobata *et al*. (1998) establecieron la estructura química de los CLSs y los renombraron como capsinoides (CTOs). Hasta la fecha se han descrito tres CTOs naturales, capsiato (4-hidroxi-3-metoxibenzil (*E*)-8-metil-6-nonanoato; Cto), dihidrocapsiato (4-hidroxi-3-metoxibenzil 8-metilnonanoato; dhCto) y nordihidrocapsiato (4-hidroxi-3-metoxibenzil 7-metiloctanoato; ndhCto), siendo los dos primeros los mayoritarios. No obstante, al igual que ocurre con los CAPs, podrían existir otros CTOs minoritarios.

Diferencias entre capsinoides (CTOs) y capsicinoides (CAPs)

Los CAPs se forman por la condensación de un anillo de vanillilamina, común a todos ellos, con una cadena de ácidos grasos, de longitud variable (C7-C13) mediante un enlace amida. A diferencia de los CAPs, los CTOs se forman por la condensación mediante un enlace éster, del alcohol vainíllico, común a todos ellos, con cadenas de ácidos grasos similares a las que intervienen en la formación de CAPs. La longitud, la presencia de insaturaciones y/o ramificaciones en la cadena de ácidos grasos determinará el tipo de CTOs/CAPs biosintetizados y el grado de picor (Curry *et al*., 1999; Lang *et al*., 2006). La estructura química afecta a la intensidad del picor de cada compuesto, de este modo, los humanos somos capaces de percibir cada CAPs por separado; por ejemplo, la Cap y la dhCap son los más irritantes, la homodihidrocapsicina es muy irritante pero también penetrante y punzante y la ndhCap es la menos irritante (Bosland y Votava, 2012). A su vez, el picor de los CAPs es aproximadamente 1000 veces mayor que el de los CTOs (Tanaka *et al*., 2015).

Paralelamente a lo que ocurre con los SCs, las diferentes combinaciones de CAPs confieren unas características determinadas al picor de cada una de las variedades de pimiento. Por otra parte, la baja pungencia de los CTOs en comparación con los CAPs ofrece una alternativa al desarrollo de nuevas variedades de pimiento poco picantes para consumo en fresco con altos contenidos en compuestos bioactivos. Conocer en profundidad la biosíntesis y el control genético de todos estos compuestos es esencial para el desarrollo de marcadores moleculares útiles en la selección, mediante programas de mejora, de nuevas variedades adaptadas a las preferencias del consumidor.

Biosíntesis de los compuestos relacionados con el picor

La genética de la pungencia de la cebolla y del pimiento lleva siendo objeto de estudio desde hace más de 50 años; sin embargo, ni las rutas de biosíntesis de estos compuestos ni los genes implicados en ellas se conocen en su totalidad. A continuación se detallan los conocimientos actuales sobre la biosíntesis y el control genético de los SCs y los CTOs/CAPs.

Ruta biosíntesis de los SCs

Actualmente existen dos rutas propuestas para la biosíntesis de SCs, mientras una propone a los γGPs como intermediarios (Lancaster y Shaw, 1989), la otra sugiere la serina como precursor de la biosíntesis de SCs (Granroth, 1970). La ruta de biosíntesis mayormente aceptada plantea la biosíntesis de los SCs por medio de la *S*-alqu(en)ilación de la cisteína en glutatión, seguido de una transpeptidación para eliminar una glicina y formar γ-glutamil cisteína, su oxidación en sulfóxido de γ-glutamil cisteína y finalmente, la eliminación del grupo γ-glutamil para producir el SCs. Por otra parte, la ruta biosintética alternativa excluye el glutatión a favor de la alqu(en)ilación directa de la cisteína o de la tioalqu(en)ilación de la *o*-acetil serina seguida por la oxidación en sulfóxido. Sin embargo,

la contribución de ambas rutas en la biosíntesis de SCs así como los genes implicados en cada una de ellas sigue aún sin conocerse en profundidad (Jones *et al*., 2004).

Control genético de la pungencia en cebolla (A. cepa)

La pungencia en cebolla es un carácter controlado por la acción de pocos genes (Owen, 1961). Sin embargo, el alto grado de alogamia, la depresión por consanguinidad y el carácter bienal que presentan las poblaciones de cebolla junto con el gran tamaño del genoma que incluye un elevado número de repeticiones, mucho mayor que el de otras especies de *Allium*, tomate o maíz, han dificultado la identificación de genes relacionados con la biosíntesis de los SCs así como de las rutas metabólicas en las que intervienen. Adicionalmente a la variabilidad genética, en numerosos estudios se ha documentado la influencia, sobre el contenido de SCs, de factores ambientales como el año de cultivo, la estación del año, la temperatura, el riego, la disponibilidad de azufre y nitrógeno en el medio de cultivo o el tiempo de almacenamiento (Simon, 1995; Randle *et al*., 1995; Mallor *et al*., 2011).

Mediante estudios de mapeo de QTLs (*locus* de un carácter cuantitativo, del inglés *quantitative trait loci*), se identificó, a partir del cruce entre los cultivares de cebolla 'BYG15-23' y 'AC43', un QTL localizado en el cromosoma 5 directamente correlacionado con el contenido total de materia seca y la pungencia (Galmarini *et al*., 2001). Dicho *locus* fue posteriormente confirmado en el cruce 'W202A' x 'Texas Grano 438' además de otro QTL mayor, directamente relacionado con el contenido en sólidos solubles y sin efectos pleiotrópicos, muy ligado a dos genes del cromosoma 3 codificantes para las enzimas ATP sulfurilasa (EC 2.7.7.4) y la sulfito reductasa (ferredoxina; EC 1.8.7.1), implicadas en las reacciones de metabolismo del azufre y su incorporación a la cisteína, respectivamente (McCallum *et al*., 2007).

La heredabilidad en sentido amplio del carácter pungente de la cebolla se estima entre 0,5-0,71 y se correlaciona positivamente con el contenido en sólidos solubles y materia seca total (Mallor *et al*., 2011). Sin embargo, esta correlación se reduce significativamente tras las siguientes generaciones, obteniéndose en programas de mejora una buena respuesta a la selección de variedades dulces de cebolla, independientemente del contenido en sólidos solubles (Simon, 1995). La selección de cultivares con un amplio rango de adaptabilidad en cuanto a pungencia, capacidad de almacenamiento y cualidades para la industria alimentaria es un hito importante en los programas de mejora. En ese sentido, la determinación del contenido de SCs mediante técnicas analíticas precisas es fundamental, en mejora, para una buena selección de variedades de cebolla adaptadas a la demanda del consumidor.

La biosíntesis de los capsinoides y capsicinoides (CTOs/CAPs)

Como se ha comentado con anterioridad, el descubrimiento de los CTOs es mucho más reciente que los CAPs. Por ello, el conocimiento actual sobre la biosíntesis y el control genético de los CTOs, se basa en el conocimiento previamente establecido para los CAPs. La biosíntesis de los CTOs/CAPs se inicia a los 15-20 días después de la antesis (dda) hasta alcanzar su máximo a los 40 dda y se acumulan principalmente en vesículas celulares de la placenta, el pericarpio y las semillas (Iwai *et al*., 1979; Lang *et al*., 2009; Tanaka *et al*., 2017). La base de la ruta de biosíntesis de los CAPs se estableció, por primera vez, a finales de los años 60 por Bennett y Kirby (1968) y por Leete y Louden (1968) a partir de la combinación de otras dos rutas de biosíntesis (Figura 2). Por un lado, la ruta de los fenilpropanoides genera el anillo aromático de CTOS/CAPs a partir de la fenilalanina, y por otro lado, la ruta de los áci-

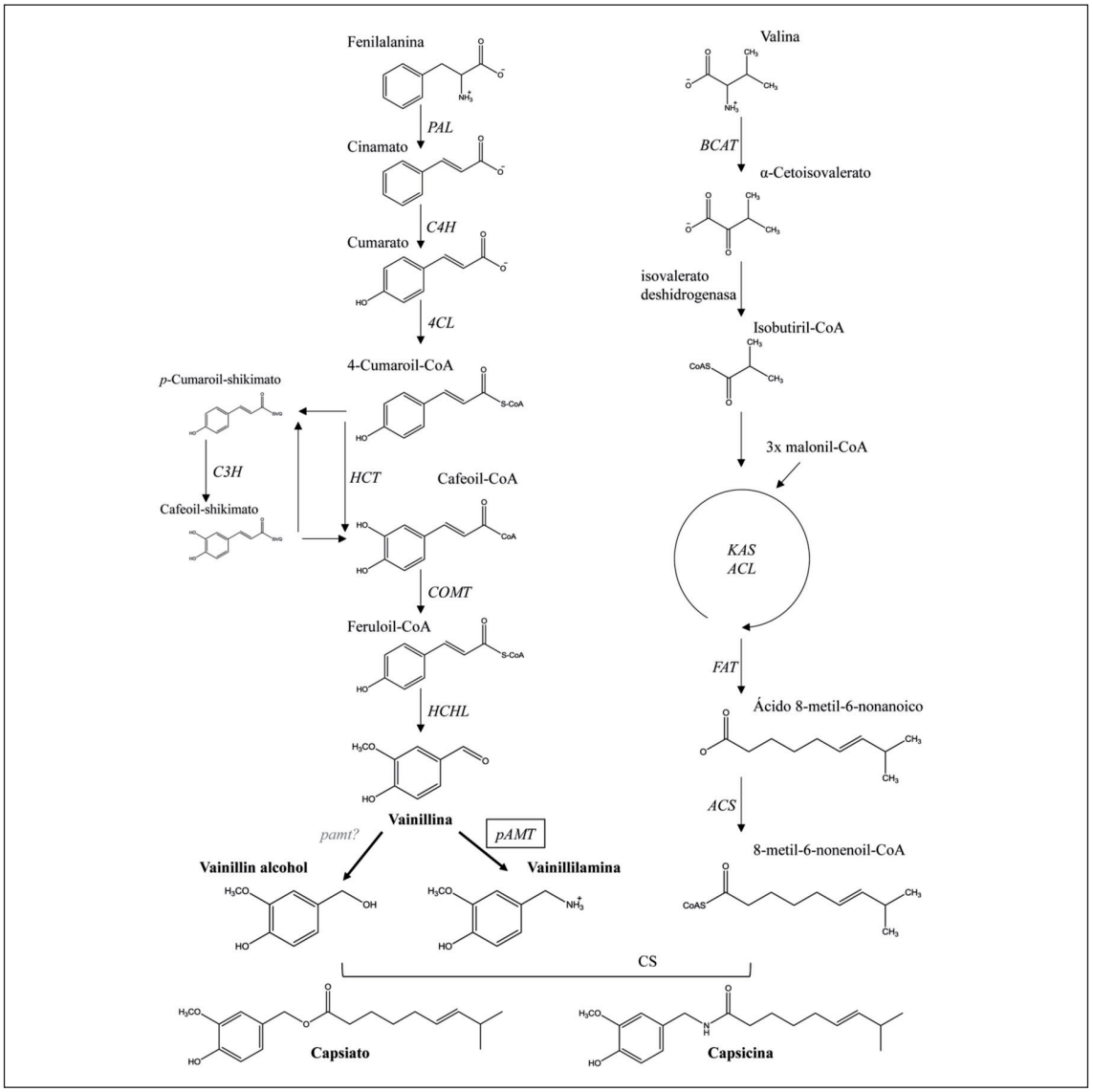


Figura 2. Ruta de biosíntesis de los capsicinoides. *PAL*, fenilalanina amonio liasa; *C4H*, cinamato 4-hidroxilasa; *4CL*, 4-cumarato CoA ligasa; *HCT*, hidroxicinamoil transferasa; *C3H*, cumarato 3-hidroxilasa; *COMT*, ácido cafeico-O-metiltransferasa; *HCHL*, hidroxicinamoil-CoA hidratasa/liasa; *pAMT*, aminotransferasa putativa; *BCAT*, transferasa de aminoácidos de cadena ramificada; *KAS*, b-cetoacil-ACP sintasa; *ACL*, proteína transportadora de grupos acilos; *FAT*, acil-ACP tioesterasa; *ACS*, Acil-CoA sintetasa; CS, capsicina sintasa (modificada a partir de las rutas de biosíntesis propuestas por Stewart *et al*., 2005; Tanaka *et al*., 2010a,b y Aza-González *et al*., 2011).

Figure 2. Capsaicinoid biosynthesis pathway. PAL*, phenylalanine ammonia lyase;* C4H*, cinnamate 4-hydroxylase;* 4CL*, 4-coumaroyl-CoA ligase;* HCT*, hydroxycinnamoyl transferase;* C3H*, coumarate 3-hydroxylase;* COMT*, caffeic acid O-methyltransferase;* HCHL*, hydroxycinnamoyl-CoA hydratase/lyase;* pAMT*, putative aminotransferase;* BCAT*, branched-chain amino acid transferase;* KAS*, 3-ketoacyl-ACP synthase;* ACL*, acyl carrier protein;* FAT*, acil-ACP thioesterase;* ACS*, acyl-CoA synthetase;* CS*, capsaicin synthase (modified from Stewart* et al.*, 2005; Tanaka* et al.*, 2010a,b y Aza-González* et al.*, 2011).*

dos grasos produce, a partir de los aminoácidos valina y leucina, las cadenas de ácidos grasos (Leete y Louden, 1968; Sutoh *et al*., 2006).

El control genético del picante en Capsicum *spp.*

El uso de radiotrazadores en la identificación de compuestos precursores e intermediarios y de técnicas de análisis de la expresión de genes como Northern Blot y RT-PCR han permitido establecer la participación de los genes fenilalanina amonio liasa (*PAL*), cinamato 4-hidroxilasa (*C4H* o también conocido como *Ca4H*), cumarato 3-hidroxilasa (*C3H*), ácido cafeico-*O*-metiltransferasa (*COMT* o *CCoAOMT*), 4-cumarato CoA ligasa (*4CL*), hidroxicinamoil transferasa (*HCT*), hidroxicinamoil-CoA hidratasa/liasa (*HCHL*) y aminotransferasa putativa (*pAMT*) en la ruta de los fenilpropanoides; así como, la de los genes transferasa de aminoácidos de cadena ramificada (*BCAT*), α-cetoácido deshidrogenasa de cadena ramificada (*BCKDH*), β-cetoacil-ACP sintasa (*Kas*), proteína transportadora de grupos acilos (*Acl*), acil-ACP tioesterasa (*FatA*) y acil-CoA sintetasa (*ACS*) en la ruta de los ácidos grasos (Bennett y Kirby, 1968; Leete y Louden, 1968; Stewart *et al*., 2005; Aza-González *et al*., 2011). Basándose en el conocimiento previo, varios autores determinaron correlaciones entre los niveles de transcritos de los genes *PAL*, *C4H*, *COMT* y *pAMT*, expresados en la placenta, y el grado de picor de los frutos (Curry *et al*., 1999; Aza-González *et al*., 2011). Sin embargo, según el estudio recientemente publicado por Tanaka *et al*. (2017), basado en la técnica qRT-PCR, no existe relación directa entre el nivel de expresión de los genes *PAL*, *C4H*, *4CL*, *HTC*, *C3H*, *COMT*, y la acumulación de CAPs; debido probablemente a la participación de dichos genes en otras rutas biosintéticas implicadas en la producción de múltiples metabolitos secundarios como flavonoides y ligninas (Tanaka *et al*., 2017). En este mismo estudio tampoco encuentran una correlación directa y consistente de los genes *BCKDH*, *ACL*, *FAT* y *ACS* con la acumulación de CAPs pero sí para los genes *Pun1*, *pAMT*, *KAS* y *BCAT*. Dado que la diferencia esencial entre CAPs y CTOs reside en el anillo aromático derivado de la vainillina, los genes clave para la biosíntesis de CAPs y/o CTOs estarán involucrados en la ruta de los fenilpropanoides, en concreto de los genes *Pun1* y *pAMT*.

El gen Pun1 *determina la presencial ausencia del picor*

El gen dominante *Pun1* (también conocido como locus *C, lov*, *Catf-1*) codifica para una enzima aciltransferasa (AT3), clave en la biosíntesis de CAPs y aparentemente, también de CTOs (Stewart *et al*., 2005; Lang *et al*., 2006; Han *et al*., 2013; Tanaka *et al*., 2017).

Por otro lado, la capsicina sintetasa (CS) es la última enzima de la ruta de biosíntesis de CAPs y es la responsable de la condensación del anillo aromático derivado de la vainillina con la cadena de ácidos grasos (Figura 2). Sin embargo, el gen que codifica para la CS así como la localización de la AT3 en la ruta de biosíntesis aún no se conocen (Han *et al*., 2013).

En consecuencia, todas las plantas de pimiento con frutos picantes presentan el genotipo *Pun1Pun1* o *Pun1pun1* (Han *et al*., 2013). En la actualidad se han encontrado cuatro mutaciones distintas para este gen y todas ellas dan lugar a plantas con frutos no picantes. Inicialmente se identificó el alelo *pun1*[1], en los cultivares de *C. annuum* 'Jupiter', 'Maor' y 'Jalapeño Sweet 3575', el cual contiene una gran deleción de 2,5 kb a lo largo de la región promotora y el primer exón que impide la transcripción a ARNm (Stewart *et al*., 2005). Poco después se descubrió el alelo *pun1*[2] en el cultivar 'NMCA 30036' (*C. chinense*), cuya deleción de 4 pb en el primer exón, produce un cambio en el marco de lectura y por consiguiente, en la secuencia de

aminoácidos dando como resultado el truncamiento de AT3 (Stewart *et al*., 2007) y el alelo *pun1*^{3} descrito en el cultivar PI594141 (*C. frutescens*) el cual presenta una deleción de 70 aminoácidos en la región terminal de la AT3 (Stellari *et al*., 2010). Por último, el alelo *pun1*^{4} se ha descrito recientemente en del cultivar japonés 'Nara Murasaki' (*C. annuum*) cuya mutación causada por la inserción de un nucleótido (A) en el segundo exón causa un cambio en el marco de lectura originando el truncamiento de la proteína (Kirii *et al*., 2017).

El gen pAMT *responsable de la biosíntesis de CAPs y CTOs*

El gen *pAMT* codifica para la enzima pAMT, una aminotransferasa encargada de la conversión de vainillina en vainillilamina (Curry *et al*., 1999). En la actualidad se han descrito ocho alelos mutados para el gen *pAMT* en un pequeño número de cultivares, produciéndose en todos ellos una mayor biosíntesis de CTOs en detrimento de CAPs. Por todo ello, *pAMT* ha sido propuesto como una pieza clave para la formación de CTOs durante la biosíntesis de CAPs. Los alelos *pamt*^{1} y *pamt*^{2} fueron descritos en *C. annuum* (Lang *et al*., 2009; Tanaka *et al*., 2010a). El alelo *pamt*^{1} del cultivar 'CH-19 Sweet' contiene una inserción (T) en la posición 1291, dicha mutación crea un nuevo codón de parada (TGA) y el alelo *pamt*^{2}, identificado en el cultivar 'Himo', se caracteriza por la sustitución de una T por una C en la posición 775 pb afectando al dominio PLP de la proteína, ambas mutaciones ocasionan la pérdida de función de la enzima pAMT. Paralelamente, se han descrito otros cinco alelos mutados en la especie *C. chinense*: el alelo *pamt*^{3} identificado en el cultivar 'Belize Sweet' contiene una inserción de 5 pb en el 8º exón; el alelo *pamt*^{4} descrito en 'Zavory Hot' contiene una inserción de 2,3 kb en el 5º intrón; el alelo *pamt*^{5} de 'Ají Dulce Strain2', 'No.2' y 'SNU11-001' se caracteriza por dos inserciones, una de 2,3 kb en 3º intrón y otra de 8 pb en el 6º exón (Tanaka *et al*., 2010b; Koeda *et al*., 2014; Jang *et al*., 2015); el alelo *pamt*^{6} con una inserción de 7 pb en el 2º exón, se encontró en el cultivar 'Pimento' (No.80) (Koeda *et al*., 2014) y el alelo *pamt*^{7}, con una inserción de un fragmento de 2.8 kb en el 2º exón en los cultivares 'LP6' y 'LP12' (Tanaka *et al*., 2015). Los fragmentos de 2,3 kb de los alelos *pamt*^{5} y *pamt*^{6} y 2,8 kb del alelo *pamt*^{7} corresponden a la inserción del transposón *Tcc* (transposón de *Capsicum chinense*). Todas las inserciones en *C. chinense* producen un cambio en el marco de lectura dando lugar a una proteína truncada, incluso las inserciones en regiones intrónicas de los alelos *pamt*^{4} y *pamt*^{5} ya que la inserción del *Tcc* cambia el patrón de *splicing* del gen *pAMT* por lo que parte del *Tcc* se transcribe (Tanaka *et al*., 2010b). Por último, el alelo *pamt*^{8} descrito en el genotipo 'S3212' (*C. frutescens*) contiene una deleción de 12 pb en el 7º exón y un polimorfismo de un solo nucleótido (o SNP, del inglés *Single Nucleotide Polymorphism*) de una T por una C en la posición 1089 pb (Park *et al*., 2015).

No obstante, ninguna de las mutaciones descritas en el gen *pAMT* ha sido capaz de bloquear completamente la ruta de biosíntesis de CAPs. Dado que en algunos cultivares muy picantes con *pAMT* no mutado se han detectado trazas de CTOs y en todos los cultivares descritos con *pamt* mutado se sintetizan pequeñas cantidades de CAPs, otros genes, además de *pAMT*, podrían estar controlando la biosíntesis de los CTOs (Han *et al*., 2013; Tanaka *et al*., 2015). La identificación de genotipos en los que se biosinteticen únicamente CTOs es esencial para determinar el control genético de los CTOs, y en consecuencia, fundamental en programas de mejora para el desarrollo de variedades poco picantes con altos contenidos en compuestos bioactivos.

Evolución de las técnicas analíticas en la determinación de los SCs en cebolla y de los CTOs/CAPs en pimiento

Durante décadas la determinación, directa o indirecta, de SCs en cebolla y de CTOs/CAPs en pimiento se ha llevado a cabo mediante métodos organolépticos, colorimétricos o de cromatografía en papel o en capa fina. Dada la poca precisión y especificidad de estos métodos, en la actualidad se han visto desplazados por técnicas analíticas más precisas y sensibles como la cromatografía de gases (CG) y la cromatografía líquida de (ultra)alta resolución (U)HPLC.

Métodos analíticos en la determinación de SCs

La determinación de SCs en cebolla se ha llevado a cabo tanto por métodos directos como indirectos. Aunque los métodos basados en el contenido de ácido pirúvico, ácidos sulfénicos o tiosulfinatos han sido ampliamente utilizados como medida indirecta del picor de la cebolla (Schwimmer y Mazelis, 1963; Rose *et al*., 2005; Randle *et al*., 1995; Kubec *et al*., 1999; Bacon *et al*., 1999; Mallor *et al*., 2011), en ocasiones es difícil establecer una relación significativa, y por lo general, se acaba subestimando el contenido real de SCs (Randle *et al*., 1995; Wang *et al*., 2007). Por ello, la determinación directa de los SCs ha evolucionado desde métodos cualitativos y semicuantitativos, mediante cromatografía en papel, analizadores de aminoácidos o cromatografía en capa fina (CCF) (Virtanen y Matikkala, 1959; Matikkala y Virtanen, 1967; Granroth, 1968; Lancaster y Kelly, 1983), hasta los más modernos y cuantitativos basados en técnicas más precisas y sensibles como la CG y la (U)HPLC.

Dada la extrema inestabilidad de los SCs, la mayoría de métodos analíticos publicados requieren de un paso de derivatización de la muestra previo al análisis mediante CG y (U)HPLC. Los diferentes agentes de derivatización junto con la versatilidad de ambas técnicas han permitido el desarrollo de numerosos métodos analíticos para la determinación de SCs en cebolla y otras especies de *Allium*, originando gran disparidad de resultados (Tabla 1). La cuantificación de SCs mediante HPLC acoplada a detectores de fluorescencia (FL) no logró una adecuada separación de los picos (Thomas y Parkin, 1994), por lo que los detectores de absorbancia cobraron especial interés en la determinación de SCs. La HPLC acoplada a detectores ultravioleta (UV) se ha utilizado tanto para la identificación (Auger *et al*., 1993) como para la cuantificación de SCs en cebolla. Mientras que Edwards *et al*. (1994) desarrollaron un método de HPLC-UV, con gradiente y sin derivatización de la muestra, capaz de cuantificar PeSC, MeSC, PSC y por primera vez, ASC en cebolla, otros métodos de HPLC-UV menos sensibles no han sido capaces de detectar ASC y/o PSC (Randle *et al*. 1995; Yoo y Pike, 1998). Esta técnica ha sido utilizada como método de rutina en estudios de evolución del contenido de SCs en determinadas condiciones de almacenamiento o de abonado con azufre (Lancaster *et al*., 1998; Uddin y MacTavish, 2003). Sin embargo, ciertos métodos de CG con detección por espectrometría de masas (MS) mostraron mayor sensibilidad que los de HPLC-UV, especialmente en la determinación de SCs minoritarios (Tsuge *et al*., 2002; Wang *et al*., 2007), considerándose una buena alternativa a la HPLC. De hecho, Kubec *et al*. (2000) desarrollaron un método por CG-FID-MS capaz de cuantificar PeSC, MeSC, PSC, ASC y por primera vez, ESC en cebolla y otras 14 especies de *Allium*.

Otros detectores de absorbancia, utilizados en la determinación de SCs, acoplados a la HPLC son los de arreglo de diodos (DAD) y los de fotodiodos (PDA). A pesar de que la HPLC-DAD se ha utilizado con fines tan diversos

Tabla 1. Lista de métodos analíticos publicados para la determinación de sulfóxidos de cisteína en cebolla (*A. cepa*) y otras especies de *Allium*
*Table 1. List of published analytical methods used for cysteine sulfoxide determination in onion (*A. cepa*) and other* Allium *species*

Referencia	Método Analítico	AD[1]	SCs detectados en *A. Cepa*	SCs detectados en otras especies de *Allium*
Virtanen y Matikkala, 1959	Analizadores aa_x	–	MeSC, PSC	
Matikkala y Virtanen, 1967	Analizadores aa_x	–	1-PeSC, MeSC, PSC	
Granroth, 1968	CCF	–	1-PeSC, MeSC, ASC, PSC	En *A. sativum* y *A. schoenoprasum*: 1-PeSC
Lancaster y Kelly, 1983	CCF	–	1-PeSC, MeSC, PSC	
	CG-MS	N-TFA	1-PeSC, MeSC	
Auger *et al*., 1993	HPLC-UV	OPA	1-PeSC, MeSC	En *A. sativum*: ASC, MeSC; en *A. schoenoprasum*: 1-PeSC, MeSC, PSC
	HPLC-UV	PITC*	1-PeSC, MeSC	En *A. sativum*: ASC, MeSC; en *A. schoenoprasum*: 1-PeSC, MeSC, PSC
Thomas y Parkin, 1994	HPLC-FL	FMOC	1-PeSC, MeSC	En *A. sativum*: ASC, MeSC, 1-PeSC; en *A. porrum*: 1-PeSC, MeSC
Edwards *et al*., 1994	HPLC-UV	–	1-PeSC, MeSC, ASC, PSC	En *A. sativum*: ASC, MeSC, 1-PeSC; en *A. porrum*: 1-PeSC, MeSC, PSC
Randle *et al*., 1995	HPLC-UV	PITC	1-PeSC, MeSC, PSC	
Yoo y Pike, 1998	HPLC-UV	Dns-Cl	1-PeSC, MeSC	En *A. sativum*, *A. ampeloprasum*, *A. tuberosum, A. schoenoprasum*: MeSC, ASC, 1-PeSC y en *A. fistulosum*: 1-PeSC, MeSC
Lancaster *et al*., 1998	HPLC-UV	PITC	1-PeSC, MeSC, PSC	
Bacon *et al*., 1999	HPLC-DAD	–	1-PeSC, MeSC	
Kopsell *et al*., 1999	HPLC-PDA	PITC	1-PeSC, MeSC, PSC	
Kubec *et al*., 2000	CG-FID-MS	ECF	1-PeSC, MeSC, PSC, ASC, ESC	En *A. schoenoprasum*, *A. porrum*, *A. nutans*, *A. ochotense, A. altyncolicum*, *A. ursinum*, *A. altaicum*, *A. fistulosum*, *A. ampeloprasum, A. ascalonicum, A. chinense, A. longicuspis* 1-PeSC, MeSC, PSC, ASC, ESC; en *A. victorialis*: MeSC, PSC, ASC, ESC y en *A. aflatunense*: MeSC, ASC, 1-PeSC, ESC

Tabla 1. Lista de métodos analíticos publicados para la determinación de sulfóxidos de cisteína en cebolla (*A. cepa*) y otras especies de *Allium* (continuación)
*Table 1. List of published analytical methods used for cysteine sulfoxide determination in onion (*A. cepa*) and other* Allium *species (continuation)*

Referencia	Método Analítico	AD[1]	SCs detectados en *A. Cepa*	SCs detectados en otras especies de *Allium*
Tsuge *et al*., 2002	GC-MS	TBDMS	1-PeSC*, MeSC, PSC	
	HPLC-UV	OPA	1-PeSC, MeSC, PSC	
Uddin y MacTavish, 2003	HPLC-UV	PITC	1-PeSC, MeSC, PSC	
Wang *et al*., 2007	CG-FID	MCF	1-PeSC, MeSC, ASC*	
	HPLC-UV	OPA	1-PeSC, MeSC, ASC	
Dini *et al*., 2008	HPLC-PDA	–	1-PeSC, MeSC, PSC, ASC, ESC, BSC, 3-PnSC	
Kubec y Dadáková, 2008	CCEM	FMOC	1-PeSC, MeSC	En *A. sativum*, *A. ascalonicum*, *A. schoenoprasum* y *A. ampeloprasum* var. *porrum*: 1-PeSC, MeSC, PSC, ASC
Mallor y Thomas, 2008	HPLC-DAD	–	1-PeSC, MeSC, PSC	
Kubec y Dadáková, 2009	HPLC-PDA	Dns-Cl*	1-PeSC, MeSC, PSC, ESC	En *A. sativum*: 1-PeSC, MeSC, ASC, ESC; en *A. ascalonicum*: 1-PeSC, MeSC, ASC, PSC y en *A. ampeloprasum* var. *porrum*: 1-PeSC, MeSC, PSC, ESC
		FMOC	1-PeSC, MeSC, PSC	En *A. sativum*: 1-PeSC, MeSC, ASC; en *A. ascalonicum*: 1-PeSC, MeSC, ASC, PSC y en *A. ampeloprasum* var. *porrum*: 1-PeSC, MeSC, PSC, ESC
		OPA	1-PeSC, MeSC, PSC, ESC	En *A. sativum*: 1-PeSC, MeSC, ASC, ESC; en *A. ascalonicum*: 1-PeSC, MeSC, ASC, PSC y en *A. ampeloprasum* var. *porrum*: 1-PeSC, MeSC, PSC, ESC

Tabla 1. Lista de métodos analíticos publicados para la determinación de sulfóxidos de cisteína en cebolla (*A. cepa*) y otras especies de *Allium* (continuación)
*Table 1. List of published analytical methods used for cysteine sulfoxide determination in onion (*A. cepa*) and other* Allium *species (continuation)*

Referencia	Método Analítico	AD[1]	SCs detectados en *A. Cepa*	SCs detectados en otras especies de *Allium*
	CG-FID-MS	ECF	1-PeSC, MeSC, PSC, ESC	En *A. sativum*: 1-PeSC, MeSC, ASC, ESC; en *A. ascalonicum*: 1-PeSC, MeSC, ASC, PSC, ESC y en *A. ampeloprasum* var. *porrum*: 1-PeSC, MeSC, PSC, ESC
	EC-UV	FMOC	1-PeSC, MeSC	En *A. sativum*: 1-PeSC, MeSC, ASC; en *A. ascalonicum*: 1-PeSC, MeSC, ASC y en *A. ampeloprasum* var. *porrum*: 1-PeSC, MeSC, PSC
Masamura *et al*., 2011	HPLC-DAD	PITC	1-PeSC, MeSC, ASC	En *A. fistulosum*: 1-PeSC, MeSC, ASC
Kim *et al*., 2016	HPLC-ESI/MS2	–	1-PeSC, MeSC, PSC	
Ferioli y D' Antuono, 2016	HPLC-DAD	OPA	1-PeSC, MeSC, ASC	En *A. cepa* var. *aggregatum* y *A. oschaninii*: 1-PeSC, MeSC, ASC
Böttcher *et al*., 2017	UHPLC-ESI-QTOF/MS	–	1-PeSC, MeSC, PSC	
Mitrová *et al*., 2016	UHPLC-ESI-QqQ/MS2	–	1-PeSC, MeSC, PSC, ASC	

[1]Agente de derivatización. *Mejor detección. Abreviaturas: aax, aminoácidos; CCF, cromatografía en capa fina; CG, cromatografía de gases; MS, espectrometría de masas; (U)HPLC, cromatografía líquida de (ultra)alta resolución; UV, ultravioleta; FL, fluorescencia; DAD, detector de arreglo de diodos; PDA, detector de fotodiodos; FID, detector de ionización de llama; CCEM, cromatografía capilar electrocinética micelar; EC electroforesis capilar; ESI, ionización por electrospray; MS2, espectrometría de masas en tándem; QTOF, detector cuadrupolo-tiempo de vuelo; QqQ, detector triple cuadrupolo; N-TFA, N-trifluoroacetil n-butil esteres; OPA, o-ftalaldehído; PITC, fenilisotiocianato; FMOC, cloroformiato de 9-fluorenilmetilo; Dns-Cl, cloruro de dansilo; ECF, cloroformiato de etilo; TBDMS terbutildimetilsililo; MCF, cloroformiato de metilo; MeSC, metiina; PSC, propiina; 1-PeSC, isoaliina; ASC: aliina; ESC: etiina; BSC: butiina; 3-PnSC: sulfóxido de *S*-(3-pentenil)-L-cisteína.

como el estudio de genes implicados en la ruta de biosíntesis de SCs en cebolletas de las especies *A. fistulosum* y *A. cepa* grupo *aggregatum* (Masamura *et al*., 2011), la caracterización de germoplasma en variedades locales de cebollas y chalotas de Italia y Ucrania (Ferioli y D'Antuono, 2016) y en la evaluación del contenido de SCs en función del genotipo, tejido y tiempo de almacenamiento (Bacon *et al*., 1999) o fotoperiodo (Mallor y Thomas, 2008), la sensibilidad de la técnica no permite la determinación de los minoritarios. Por otro lado, la mayor sensibilidad de la HPLC-PDA ha permitido la separación y cuantificación de SCs y algunos γGPs simultáneamente (Kopsell *et al*., 1999; Kubec y Dadáková, 2009), así como la identificación de ESC, BSC y 3-PeSC además de los 4 principales, en semillas de *A. cepa* var. 'tropeana' (Dini *et al*., 2008), perfilándose como técnica prometedora en la determinación de SCs.

Simultáneamente, se desarrollaron otros métodos basados en la electroforesis capilar (EC) y cromatografía capilar electrocinética micelar, técnica híbrida entre la EC y la HPLC. Si bien la sensibilidad de estas técnicas es menor a la proporcionada por HPLC o CG, son una buena alternativa para análisis de rutina por su rapidez y bajo coste (Kubec y Dadáková, 2008 y 2009).

Por último, la (U)HPLC acoplada a detección por MS y MS/MS (en tándem) es la herramienta más potente que existe actualmente para la determinación de SCs en cebolla. La identificación inequívoca de los compuestos proporcionada por dicha técnica ha permitido su precisa cuantificación en estudios de caracterización de germoplasma (Mitrová *et al*., 2016), en el control de la evolución del contenido de SCs por efecto de la temperatura en diversos tratamientos culinarios (Kim *et al*., 2016) y en el análisis del perfil metabólico de la cebolla (Böttcher *et al*., 2017).

Determinación de CAPs y CTOs

Las primeras determinaciones del picor en pimiento se realizaron mediante el test organoléptico de Scoville (Scoville, 1912). En este test, un panel de catadores puntúa el nivel de picor, de una serie de diluciones de extractos de pimiento, en unidades Scoville (SHU, del inglés *Scoville Heat Units*). Aunque actualmente este método se sigue utilizando para evaluar el grado de picor, es un método subjetivo y poco preciso, viéndose desplazado por métodos analíticos de cromatografía por CG y (U)HPLC.

Si bien en la determinación de CAPs se han utilizado satisfactoriamente tanto la CG como la (U)HPLC, la inestabilidad de los CTOs ha condicionado su determinación exclusivamente por técnicas de (U)HPLC. La HPLC-UV es la técnica más utilizada, por su rapidez y sencillez, en la determinación de los principales CAPs y CTOs en frutos de pimiento, sobre todo en estudios focalizados en el control genético del picor (Lang *et al*., 2009; Tanaka *et al*., 2010a,b; Tanaka *et al*., 2015; Tanaka *et al*., 2017). Simultáneamente, otros métodos de HPLC combinada con detectores (DAD/PDA) se han utilizado para la detección de los principales CTOs/CAPs en estudios de evaluación de la diversidad de metabolitos y caracterización de germoplasma (Singh *et al*., 2009; Wahyuni *et al*, 2011; Han *et al*., 2013; Coutinho *et al*., 2015; Jang *et al*., 2015). En comparación con los detectores de absorbancia, la detección por FL aporta un aumento de sensibilidad a la técnica de HPLC. La (U)HPLC-FL ha permitido la determinación de Cap y dhCap en diferentes alimentos y salsas picantes (Barbero *et al*., 2016) así como en la identificación y cuantificación de CAPs minoritarios en estudios de maduración en frutos de la variedad 'Malagueta' para evaluar el contenido individual y total de CAPs (Fayos *et al*., 2017).

Sin embargo, todas estas técnicas tienen limitaciones en cuanto a selectividad y sensibilidad, ya que tanto CTOs como CAPs emiten a la misma longitud de onda.

Por el contrario, la identificación inequívoca proporcionada por MS y MS/MS es fundamental para una determinación precisa de los compuestos minoritarios. La MS y MS/MS acoplada a la CG o a la (U)HPLC ha permitido la determinación de CAPs, mayoritarios y hasta 15 minoritarios en frutos y oleorresinas de pimiento, espráis de defensa, sangre y tejidos (Thompson *et al*., 2005; Garcés-Claver *et al*., 2006; Schweiggert *et al*., 2006). Además, la HPLC-MS/MS ha permitido el establecimiento de los patrones de fragmentación de CAPs (Reilly *et al*., 2001; Schweiggert *et al*., 2006) y de CTOs (Fayos *et al*., 2018).

Perspectivas futuras de la investigación del carácter picante

El carácter picante en *Capsicum*, considerado uno de los principales factores de calidad, incentiva el desarrollo de programas de mejora, enfocados a la obtención variedades de pimiento cada vez más picantes (Guzman y Bosland, 2017). No obstante, el picor del pimiento es un atributo no siempre deseable y apreciado por todos los consumidores. En consecuencia, un futuro objetivo de mejora deberá también enfocarse a la obtención de variedades poco picantes con altos contenidos en capsinoides y bajos o nulos contenidos de capsicinoides, adaptándose a la demanda de los mercados europeos (Silvar y García-González, 2017). Otras líneas de creciente interés son la mejora de la calidad en cebolla mediante la obtención de plantas doble haploides, utilizando ginogénesis *in vitro*, para la obtención de híbridos (Fayos *et al.,* 2015) así como los programas de mejora específicos para la producción de cebollas tradicionales, como el tipo *calçot* (Simó *et al*., 2014), muy apreciada en algunas regiones de España.

No obstante, para alcanzar los objetivos de mejora de la calidad planteados a lo largo de esta revisión, es fundamental seguir investigando sobre la biosíntesis de capsinoides y capsicinoides en pimiento y de sulfóxidos de cisteína en cebolla. En este sentido, caben destacar los trabajos de Tanaka *et al.* (2017) y Han *et al.* (2013), relacionados con la identificación de genes responsables de la biosíntesis de capsinoides y capsicinoides, así como los llevados a cabo por Martínez-López *et al.* (2014), basados en la aplicación de herramientas genómicas para el desarrollo de transcriptomas en *C. annuum*. Con respecto a la cebolla, hay que señalar la importante contribución de Block (2013) y Block *et al.* (1996) a la investigación de la biosíntesis de los sulfóxidos de cisteína en cebolla y otros *Alliums*.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por los proyectos INIA-FEDER (RTA2011-00118-C02-01 y RTA2015-00042-C02-01) y el Gobierno de Aragón (Grupo de Investigación A16). O. Fayos es beneficiaria de una beca predoctoral FPI-INIA.

Bibliografía

Auger J, Mellouki F, Vannereau A, Boscher J, Cosson L, Mandon N (1993). Analysis of *Allium* sulfur amino acids by HPLC after derivatization. Chromatographia 36: 347-350.

Aza-González C, Núñez-Palenius HG, Ochoa-Alejo N (2011). Molecular biology of capsaicinoid biosynthesis in chili pepper (*Capsicum* spp.). Plant cell reports 30: 695-706.

Bacon JR, Moates GK, Ng A, Rhodes MJC, Smith AC, Waldron KW (1999). Quantitative analysis of flavour precursors and pyruvate levels in different tissues and cultivars of onion (*Allium cepa*). Food Chemistry 64: 257-261.

Barbero GF, Liazid A, Azaroual L, Palma M, Barroso CG (2016). Capsaicinoid contents in peppers and pepper-related spicy foods. International journal of food properties 19: 485-493.

Bennett DJ, Kirby GW (1968). Constitution and biosynthesis of capsaicin. Journal of the Chemical Society C: Organic 4: 442-446.

Block E, Bayer T, Naganathan S, Zhao SH (1996). *Allium* chemistry: synthesis and sigmatropic rearrangements of alk(en)yl 1-propenyl disulfide s-oxides from cut onion and garlic. Journal of the American Chemical Society 118: 2799-2810.

Block E (2013). Fifty years of smelling sulfur. Journal of Sulfur Chemistry 34: 158-207.

Bosland PW, Votava EJ (2012). Peppers: vegetable and spice *Capsicums*, 2nd Ed. CAB International, MA, USA. 230 pp.

Böttcher C, Krähmer A, Stürtz M, Widder S, Schulz H (2017). Comprehensive metabolite profiling of onion bulbs (*Allium cepa*) using liquid chromatography coupled with electrospray ionization quadrupole time-of-flight mass spectrometry. Metabolomics 13: 35.

Corzo-Martínez M, Corzo N, Villamiel M (2007). Biological properties of onions and garlic. Trends in Food Science & Technology 18: 609-625.

Coutinho JP, Barbero GF, Fayos O, Garcés-Claver A, Godoy HT, Palma M, Barroso CG (2015). Use of multivariate statistical techniques to optimize the separation of 17 capsinoids by ultra performance liquid chromatography using different columns. Talanta 134: 256-263.

Curry J, Aluru M, Mendoza M, Nevarez J, Melendrez M, O'Connell MA (1999). Transcripts for possible capsaicinoid biosynthetic genes are differentially accumulated in pungent and nonpungent *Capsicum* spp. Plant Science 148: 47-57.

Dini I, Tenore GC, Dini A (2008). *S*-alkenyl cysteine sulfoxide and its antioxidant properties from *Allium cepa* var. *tropeana* (red onion) seeds. Journal of Natural Products 71: 2036-2037.

Edwards SJ, Musker D, Collin HA, Britton G (1994). The analysis of *S* alk(en)yl L cysteine sulphoxides (flavour precursors) from species of *Allium* by high performance liquid chromatography. Phytochemical Analysis 5: 4-9.

Fayos O, Vallés MP, Garcés-Claver A, Mallor C, Castillo AM (2015). Doubled haploid production from Spanish onion (*Allium cepa* L.) germplasm: embryogenesis induction, plant regeneration and chromosome doubling. Front. Plant Sci. 6: 384.

Fayos O, Aguiar AC, Jiménez-Cantizano A, Ferreiro-González M, Garcés-Claver A, Martínez J, Mallor C, Ruíz-Rodríguez A, Palma M, Barroso CG, Barbero GF (2017). Ontogenetic variation of individual and total capsaicinoids in Malagueta peppers (*Capsicum frutescens*) during fruit maturation. Molecules 22: 736.

Fayos O, Barbero GF, Savirón M, Orduna J, Durán AG, Palma M, Molinillo JMG, Macías FA, Barroso CG, Mallor C, Garcés-Claver A (2018). Synthesis of (±)-3,4-dimethoxybenzyl-4-methyloctanoate as a novel internal standard for capsinoid determination by HPLC-ESI-MS/MS(QTOF). Open Chemistry 16: 87-94.

Ferioli F, D'Antuono LF (2016). Evaluation of phenolics and cysteine sulfoxides in local onion and shallot germplasm from Italy and Ukraine. Genetic resources and crop evolution 63: 601-614.

Galmarini CR, Goldman IL, Havey MJ (2001). Genetic analyses of correlated solids, flavour, and health-enhancing traits in onion (*Allium cepa* L.). Molecular Genetics and Genomics 265: 543-551.

Garcés-Claver A, Arnedo-Andrés MS, Abadía J, Gil-Ortega R, Álvarez-Fernández A (2006). Determination of capsaicin and dihydrocapsaicin in *Capsicum* fruits by liquid chromatography–electrospray/time-of-flight mass spectrometry. Journal of agricultural and food chemistry 54: 9303-9311.

Granroth B (1968). Separation of *Allium* sulfur amino acids and peptides by thin-layer electrophoresis and thin-layer chromatography. Acta Chemica Scandinavica 22: 3333-3335.

Granroth B (1970). Biosynthesis and decomposition of cysteine derivatives in onion and other *Allium* species. Annales Academiae Scientiarum Fennicae A 154: 71.

Guzman I, Bosland PW (2017). Sensory properties of chile pepper heat - and its importance to food quality and cultural preference. Appetite 117: 186-190.

Han K, Jeong HJ, Sung J, Keum YS, Cho MC, Kim JH, Kwon JK, Kim BD, Kang BC (2013). Biosynthesis of capsinoid is controlled by the *Pun1* locus in pepper. Molecular breeding 31: 537-548.

Imai I, Tsuge N, Tomotake M, Nagatome Y, Sawada H, Nagata T, Kumagai H (2002). An onion enzyme that makes the eyes water. Nature 419: 685.

Iwai K, Suzuki T, Fujiwake H (1979). Formation and accumulation of pungent principle of hot pepper fruits, capsaicin and its analogues, in *Capsicum annuun* var. *annuun* cv. Karayatsubusa at different growth stages after flowering. Agricultural and Biological Chemistry 43: 2493-2498.

Jang S, Han K, Jo YD, Jeong HJ, Siddique MI, Kang BC (2015). Substitution of a dysfunctional *pAMT* allele results in low-pungency but high levels of capsinoid in *Capsicum chinense* 'Habanero'. Plant Breed and Biotechnology 3: 119-128.

Jedelská J, Vogt A, Reinscheid UM, Keusgen M (2008). Isolation and identification of a red pigment from *Allium* subgenus *Melanocrommyum*. Journal of Agricultural and Food Chemistry 56: 1465-1470.

Jones MG, Hughes J, Tregova A, Milne J, Tomsett AB, Collin HA (2004). Biosynthesis of the flavour precursors of onion and garlic. Journal of Experimental Botany 55: 1903-1918.

Kim S, Lee S, Shin D, Yoo M (2016). Change in organosulfur compounds in onion (*Allium cepa* L.) during heat treatment. Food Science and Biotechnology 25: 115-119.

Kirii E, Goto T, Yoshida Y, Yasuba K, Tanaka Y (2017). Non-pungency in a japanese chili pepper landrace (*Capsicum annuum*) is caused by a novel loss-of-function *Pun1* allele. The Horticulture Journal 86: 61-69.

Kobata K, Todo T, Yazawa S, Iwai K, Watanabe T (1998). Novel capsaicinoid-like substances, capsiate and dihydrocapsiate, from the fruits of a nonpungent cultivar, CH-19 Sweet, of pepper (*Capsicum annuum* L.). Journal of agricultural and food chemistry 46: 1695-1697.

Koeda S, Sato K, Tomi K, Tanaka Y, Takisawa R, Hosokawa M, Doi M, Nakazaki T, Kitajima A (2014). Analysis of non-pungency, aroma, and origin of a *Capsicum chinense* cultivar from a Caribbean island. Journal of the Japanese Society for Horticultural Science 83: 244-251.

Kopsell DE, Randle WM, Eiteman MA (1999). Changes in the S-alk(en)yl cysteine sulfoxides and their biosynthetic intermediates during onion storage. Journal of the American Society for Horticultural Science 124: 177-183.

Kubec R, Svobodová M, Velíšek J (1999). Gas chromatographic determination of *S*-alk(en)ylcysteine sulfoxides. Journal of Chromatography A 862: 85-94.

Kubec R, Svobodová M, Velíšek J (2000). Distribution of *S*-alk(en)ylcysteine sulfoxides in some *Allium* species. Identification of a new flavor precursor: *S*-ethylcysteine sulfoxide (ethiin). Journal of Agricultural and Food Chemistry 48: 428-433.

Kubec R, Kim S, McKeon DM, Musah RA (2002). Isolation of *S*-*n*-butylcysteine sulfoxide and six *n*-butyl-containing thiosulfinates from *Allium siculum*. Journal of Natural Products 65: 960-964.

Kubec R, Dadáková E (2008). Quantitative determination of *S*-alk(en)ylcysteine-S-oxides by micellar electrokinetic capillary chromatography. Journal of Chromatography A 1212: 154-157.

Kubec R, Dadáková E (2009). Chromatographic methods for determination of *S*-substituted cysteine derivatives-A comparative study. Journal of Chromatography A 1216: 6957-6963.

Kusterer J, Vogt A, Keusgen M (2010). Isolation and identification of a new cysteine sulfoxide and volatile sulfur compounds from *Allium* subgenus *Melanocrommyum.* Journal of Agricultural and Food Chemistry 58: 520-526.

Lancaster JE, Collin HA (1981). Presence of allinase in isolated vacuoles and of alkyl cysteine sulphoxides in the cytoplasm of bulbs of onion (*Allium cepa*). Plant Science Letters 22: 169-176.

Lancaster JE, Kelly E (1983). Quantitative analysis of the *S*-alk(en)-yl-L-cysteine sulfoxides in onion (*Allium cepa* L.). Journal of the Science of Food and Agriculture 34: 1229-1235.

Lancaster JE, Shaw ML (1989). γ-Glutamyl peptides in the biosynthesis of *S*-alk(en)yl-L-cysteine sulphoxides (flavour precursors) in *Allium*. Phytochemistry 28: 455-460.

Lancaster JE, Shaw ML, Randle WM (1998). Differential hydrolysis of alk(en)yl cysteine sulphoxides by alliinase in onion macerates: flavour implications. Journal of the Science of Food and Agriculture 78: 367-372.

Lang Y, Yanagawa S, Sasanuma T, Sasakuma T (2006). A gene encoding a putative acyl-transferase involved in pungency of *Capsicum*. Breeding Science 56: 55-62.

Lang Y, Kisaka H, Sugiyama R, Nomura K, Morita A, Watanabe T, Tanaka Y, Yazawa S, Miwa T (2009). Functional loss of pAMT results in biosynthesis of capsinoids, capsaicinoid analogs, in *Capsicum annuum* cv. CH-19 Sweet. The Plant Journal 59: 953-961.

Leete E, Louden MCL (1968). Biosynthesis of capsaicin and dihydrocapsaicin in *Capsicum frutescens*. Journal of the American Chemical Society 90: 6837-6841.

Luo XJ, Peng J, Li YJ (2011). Recent advances in the study on capsaicinoids and capsinoids. European journal of pharmacology 650: 1-7.

Mallor C, Thomas B (2008). Resource allocation and the origin of flavour precursors in onion bulbs. Journal of Horticultural Science & Biotechnology 83: 191-198.

Mallor C, Balcells M, Mallor F, Sales E (2011). Genetic variation for bulb size, soluble solids content and pungency in the Spanish sweet onion variety Fuentes de Ebro. Response to selection for low pungency. Plant Breeding 130: 55-59.

Martínez-López LA., Ochoa-Alejo N, Martínez O (2014). Dynamics of the chili pepper transcriptome during fruit development. BMC Genomics 15: 143.

Masamura N, Yaguchi S, Ono Y, Nakajima T, Masuzaki SI, Imai S, Yamauchi N, Shigyo M (2011). Characterization of amino acid and *S*-alk (en) yl-L-cysteine sulfoxide production in Japanese bunching onion carrying an extra chromosome of shallot. Journal of the Japanese Society for Horticultural Science 80: 322-333.

Matikkala EJ, Virtanen AI (1967). On the quantitative determination of the amino acids and γ-glutamyl peptides of onion. Acta Chemica Scandinavica 21: 2891-2897.

McCallum J, Pither-Joyce M, Shaw M, Kenel F, Davis S, Butler R, Scheffer J, Jakse J, Havey MJ (2007). Genetic mapping of sulphur assimilation genes reveals a QTL for onion bulb pungency. Theoretical and Applied Genetics 114: 815-822.

Mitrová K, Hrbek V, Svoboda P, Hajšlová J, Ovesná J (2016). Antioxidant activity, *S*-alk(en)yl-l-cysteine sulfoxide and polyphenol content in onion (*Allium cepa* L.) cultivars are associated with their genetic background. Czech Journal of Food Sciences 34: 127-132.

Nelson EK (1919). The constitution of capsaicin, the pungent principle of *Capsicum*. Journal of the American Chemical Society 41: 1115-1121.

Owen EW (1961). The inheritance of dry matter in onion bulbs. M.S. Thesis. Univ. Idaho, Moscow, Idaho. 35 pp.

Park YJ, Nishikawa T, Minami M, Nemoto K, Iwasaki T, Matsushima K (2015). A low-pungency S3212 genotype of *Capsicum frutescens* caused by a mutation in the putative aminotransferase (*p-AMT*) gene. Molecular genetics and genomics 290: 2217-2224.

Randle WM, Lancaster JE, Shaw ML, Sutton KH, Hay RL, Bussard ML (1995). Quantifying onion flavor compounds responding to sulfur fertility-sulfur increases levels of alk(en)yl cysteine sulfoxides and biosynthetic intermediates. Journal of the American Society for Horticultural Science 120: 1075-1081.

Reilly CA, Crouch DJ, Yost GS, Fatah AA (2001). Determination of capsaicin, dihydrocapsaicin, and nonivamide in self-defense weapons by liquid chromatography-mass spectrometry and liquid chromatography-tandem mass spectrometry. Journal of Chromatography A 912: 259-267.

Rose P, Whiteman M, Moore PK, Zhu YZ (2005). Bioactive *S*-alk (en) yl cysteine sulfoxide metabolites in the genus *Allium*: the chemistry of potential therapeutic agents. Natural product reports 22: 351-368.

Schweiggert U, Schieber A, Carle R (2006). Effects of blanching and storage on capsaicinoid stability and peroxidase activity of hot chili peppers (*Capsicum frutescens* L.). Innovative food science & emerging technologies 7: 217-224.

Schwimmer S, Mazelis M (1963). Characterization of Alliinase of *Allium cepa* (onion). Archives of Biochemistry and Biophysics 100: 66-73.

Scoville WL (1912). Note on *Capsicums*. Journal of Pharmaceutical Sciences 1: 453-454.

Silvar C, García-González CA (2017). Screening old peppers (*Capsicum* spp.) for disease resistance and pungency-related traits. Scientia Horticulturae 218: 249-257.

Simó J, Pascual L, Cañizares J, Casanas F (2014). Spanish onion landraces (*Allium cepa* L.) as sources of germplasm for breeding calçots: a morphological and molecular survey. Euphytica 195:287-300.

Simon PW (1995). Genetic analysis of pungency and soluble solids in long-storage onions. Euphytica 82:1-8.

Singh S, Jarret R, Russo V, Majetich G, Shimkus J, Bushway R, Perkins B (2009). Determination of capsinoids by HPLC-DAD in *Capsicum* species. Journal of agricultural and food chemistry 57: 3452-3457.

Stellari GM, Mazourek M, Jahn MM (2010). Contrasting modes for loss of pungency between cultivated and wild species of *Capsicum*. Heredity 104: 460-471.

Stewart JC, Kang BC, Liu K, Mazourek M, Moore SL, Yoo EY, Kim BD, Paran I, Jahn MM (2005). The *Pun1* gene for pungency in pepper encodes a putative acyltransferase. The Plant Journal 42: 675-688.

Stewart JC, Mazourek M, Stellari GM, O'connell M, Jahn M (2007). Genetic control of pungency in *C. chinense* via the *Pun1* locus. Journal of Experimental Botany 58: 979-991.

Stoll A, Seebeck E (1947). Alliin, the pure mother substance of garlic oil. Experientia 3: 114-115.

Sutoh K, Kobata K, Yazawa S, Watanabe T (2006). Capsinoid is biosynthesized from phenylalanine and valine in a non-pungent pepper, *Capsicum annuum* L. cv. CH-19 sweet. Bioscience, biotechnology, and biochemistry 70: 1513-1516.

Tanaka Y, Hosokawa M, Miwa T, Watanabe T, Yazawa S (2010a). Newly mutated putative-aminotransferase in nonpungent pepper (*Capsicum annuum*) results in biosynthesis of capsinoids, capsaicinoid analogues. Journal of agricultural and food chemistry 58: 1761-1767.

Tanaka Y, Hosokawa M, Miwa T, Watanabe T, Yazawa S (2010b). Novel loss-of-function putative aminotransferase alleles cause biosynthesis of capsinoids, nonpungent capsaicinoid analogues, in mildly pungent chili peppers (*Capsicum chinense*). Journal of agricultural and food chemistry 58: 11762-11767.

Tanaka Y, Sonoyama T, Muraga Y, Koeda S, Goto T, Yoshida Y, Yasuba K (2015). Multiple loss-of-function putative aminotransferase alleles contribute to low pungency and capsinoid biosynthesis in *Capsicum chinense*. Molecular Breeding 35: 142.

Tanaka Y, Nakashima F, Kirii E, Goto T, Yoshida Y, Yasuba KI (2017). Difference in capsaicinoid biosynthesis gene expression in the pericarp reveals elevation of capsaicinoid contents in chili peppers (*Capsicum chinense*). Plant cell reports 36: 267-279.

Thomas DJ, Parkin KL (1994). Quantification of alk(en)yl-L-cysteine sulfoxides and related amino acids in *Alliums* by high-performance liquid chromatography. Journal of Agricultural and Food Chemistry 42: 1632-1638.

Thompson RQ, Phinney KW, Welch MJ, White E (2005). Quantitative determination of capsaicinoids by liquid chromatography-electrospray mass spectrometry. Analytical and bioanalytical chemistry 381: 1441-1451.

Tsuge K, Kataoka M, Seto Y (2002). Determination of S-methyl-, S-propyl-, and S-propenyl-L-cysteine sulfoxides by gas chromatography-mass spectrometry after tert-butyldimethylsilylation. Journal of Agricultural and Food Chemistry 50: 4445-4451.

Uddin MM, MacTavish HS (2003). Controlled atmosphere and regular storage-induced changes in *S*-alk(en)yl-l-cysteine sulfoxides and alliinase activity in onion bulbs (*Allium cepa* L. cv. Hysam). Postharvest Biology and technology 28: 239-245.

Virtanen AI, Matikkala EJ (1959). The isolation of *S*-methyl-L-cysteine sulphoxide and *S-n*-propyl-

L-cysteine sulphoxide from onion (*Allium cepa*) and the antibiotic activity of crushed onion. Acta chemica scandinavica 13(9): 1898-1900.

Wahyuni Y, Ballester AR, Sudarmonowati E, Bino RJ, Bovy AG (2011). Metabolite biodiversity in pepper (*Capsicum*) fruits of thirty-two diverse accessions: variation in health-related compounds and implications for breeding. Phytochemistry 72: 1358-1370.

Wang H, Li J, Wang Z, Zhang X, Ni Y (2007). Modified method for rapid quantitation of *S*-Alk(en)yl-$_L$-cysteine sulfoxide in yellow onions (*Allium cepa* L.). Journal of Agricultural and Food Chemistry 55: 5429-5435.

Yazawa S, Suetom N, Okamoto K, Namiki T (1989). Content of capsaicinoids and capsaicinoid-like substances in fruit of pepper (*Capsicum annuum* L.) hybrids made with 'CH-19 Sweet' as a parent. Journal of the Japanese society for horticultural science 58: 601-607.

Yoo KS, Pike LM (1998). Determination of flavor precursor compound S-alk(en)yl-$_L$-cysteine sulfoxides by an HPLC method and their distribution in *Allium* species. Scientia Horticulturae 75: 1-10.

(Aceptado para publicación el 1 de diciembre de 2017)

Hibridación entre diferentes tipos de chiles y estimación de la heterosis para rendimiento y calidad de fruto

L.R. Luna-García[1], V. Robledo-Torres[1,*], M.E. Vásquez-Badillo[3], F. Ramírez-Godina[2] y R. Mendoza-Villarreal[1]

[1] Departamento de Horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Calzada Antonio Narro 1923, C.P. 25315, Saltillo, Coahuila, México
[2] Departamento de Fitomejoramiento de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Calzada Antonio Narro 1923, C.P. 25315, Saltillo, Coahuila, México
[3] Centro de Capacitación y Desarrollo en Tecnología de Semillas de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Calzada Antonio Narro 1923, C.P. 25315, Saltillo, Coahuila, México

Resumen

Este trabajo se realizó en Buenavista Saltillo, Coahuila, México, con el objetivo de estimar la heterosis y heterobeltiosis de híbridos de chile para producción en invernadero. El material vegetal utilizado fue: chile Jalapeño Mitla, criollo Mirador y chile Tampiqueño 74, como progenitores hembra, además de cinco cultivares de chile pimiento: UANRd, UANYw, UANOg, UANCn y UANShw, como progenitores macho. Los híbridos obtenidos y sus progenitores fueron cultivados bajo un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones. Se estimaron las variables: rendimiento total de fruto, frutos por planta, peso promedio de fruto, contenido de ácido ascórbico, carotenoides totales, contenido de capsaicina, días a floración, días a cosecha y altura de planta. Los análisis de varianza exhibieron diferencias significativas ($P<0,01$) entre híbridos y progenitores en todas las variables estudiadas. En rendimiento total de fruto, el híbrido P_1xP_5 superó en 333% la media de los progenitores hembra y en 159% a los progenitores macho, mientras que el P_2xP_6 superó en 104% la media de numero de frutos por planta de los progenitores hembra y en 725% a la media de los progenitores macho. Los progenitores machos presentaron mayor contenido de ácido ascórbico y carotenoides totales, mientras que las hembras la mayor cantidad de capsaicina. Los híbridos formados presentaron cantidades intermedias en ácido ascórbico y capsaicina. Por lo tanto se concluye que los híbridos intraespecíficos obtenidos presentan características de rendimiento y calidad sobresalientes para su producción en invernadero que deben de ser confirmadas en sucesivos ensayos.

Palabras clave: *Capsicum annuum*, producción en invernadero, heterobeltiosis, diversidad genética, componentes del rendimiento, nutracéuticos.

Abstract
Hybridization between different types of chilis and estimation of heterosis for yield and fruit quality

This work was carried out in Buenavista Saltillo, Coahuila, Mexico, with the objective of estimating the heterosis and heterobeltiosis of hybrids of chile, for greenhouse production. The plant material used was: chili Jalapeño Mitla, creole Mirador and chili Tampiqueño 74 as female, five cultivars of chili peppers: UANRd, UANYw, UANOg, UANCn and UANShw as male progenitors. The obtained hybrids and their progenitors were cultivated under a randomized complete block experimental design with three repli-

* Autor para correspondencia: robledo3031@gmail.com
https://doi.org/10.12706/itea.2018.008

cates. Those variables were estimated; total yield of fruit, fruits per plant, average fruit weight, ascorbic acid content, total carotenoids, capsaicin content, flowering days, harvest days and plant height. Analysis of variance showed significant differences (P<0.01) between hybrids and progenitors in all studied variables. In total yield of fruit, the P_1xP_5 hybrid exceeded the average of the female progenitors by 333% and the male progenitors by 159%, while the P_2xP_6 exceeded the average fruits per plant of the female progenitors by 104% and by 725% on the mean of Male progenitors. The male parents presented more ascorbic acid content and total carotenoids, while the females had the highest content of capsaicin. The hybrids formed had intermediate amounts in ascorbic acid and capsaicin. Therefore, it is concluded that the obtained hybrids present outstanding performance and quality characteristics for their greenhouse production despite the results have to be confirmed in further trials.

Keywords: *Capsicum annuum*, greenhouse production, heterobeltiosis, genetic diversity, components of yield, nutraceuticals.

Introducción

El chile (*Capsicum annuum* L.) es uno de los principales cultivos hortícolas a nivel mundial, su importancia radica en que es una hortaliza muy cotizada y consumida mundialmente (Laborde-Cansino y Pozo-Campodónico, 1984). En 2015 la producción mundial de chile fue de 28.405.270 toneladas (FAO, 2015), constituyendo el 92% del total de la producción el chile fresco. China produce el 54% de la producción mundial de chile fresco, seguido por México con un 6,5%; con una producción neta de más de 2.700.000 toneladas. México ocupa el primer lugar en exportaciones a países como Estados Unidos, Japón, Canadá, Reino Unido y Alemania (SAGARPA, 2015). Sin embargo, cada día es más difícil cubrir las crecientes demandas del mercado, por lo que se requieren genotipos innovadores y de alto potencial genético que se adapten a condiciones de ambiente controlado, garantizando alta calidad y rendimiento de fruto y el cultivo de hortalizas tiene cada vez más relevancia debido a la necesidad de diversificación y de mejorar la calidad de los productos alimenticios (Rodríguez *et al.*, 2007), además de satisfacer dichas demandas.

Actualmente el rendimiento promedio a nivel nacional mexicano de chile verde es de 18,27 t ha^{-1} (SIAP-SAGARPA, 2016), siendo el estado de Sinaloa el mayor productor con 39 t ha^{-1}, considerándose bajo en relación con el potencial productivo, ya que se reportan rendimientos experimentales de 65,4 t ha^{-1} (Duarte *et al.*, 2012). Surge entonces la necesidad de trabajar en el mejoramiento genético de la especie, con la finalidad de desarrollar genotipos mejorados para producción intensiva en invernadero, puesto que no existen genotipos de Jalapeño, Mirador y/o Serrano de estas características y es mediante esta tecnología donde se obtienen mayores rendimientos y mejor calidad de frutos. De esta forma, además se puede producir cuando no es posible hacerlo a campo abierto, lo anterior se traduce en mejores precios en el mercado (Macías *et al.*, 2003).

México es el centro de origen de *C. annuum* y posee una amplia diversidad que oscila entre 50 tipos diferentes, entre los que destacan Jalapeño, Serrano y Pimiento. Se considera como una de las especies que exhibe mayor variabilidad de ejemplares cultivados, presentando amplia diversidad de formas, tamaños, colores, rangos de maduración y grado de pungencia (Valadez, 1998), lo cual constituye un excelente recurso para el mejoramiento genético (Laborde-Cansino y Pozo-Campodónico, 1984; Bosland, 1994).

La hibridación como método de mejoramiento genético puede ser útil en la obtención de genotipos de alto rendimiento y calidad de fruto, aprovechando la capacidad combinatoria y heterosis (Pérez-Grajales *et al.*, 2009).

La explotación de la heterosis se ha reconocido como una herramienta práctica que provee a los mejoradores de un medio para incrementar el rendimiento u otros caracteres económicos importantes (Seneviratne y Kannangara, 2004). Se considera que en *Capsicum* la heterosis es alta (Sousa y Maluf, 2003), esto es debido a la amplia variedad de genotipos que existen de este género en México, tanto en variantes cultivadas, semicultivadas como silvestres, mismas que pueden aprovecharse para formar híbridos locales y nacionales.

Además, actualmente un porcentaje importante de semilla hibrida que usan los productores proviene de empresas trasnacionales a costos elevados, por lo que el mejoramiento genético de chile es cada vez más relevante, ya que no existen híbridos de chile Jalapeño, Mirador y/o Serrano de alto rendimiento y alta calidad nutricional para producción en ambientes protegidos. Por ello se planteó el siguiente objetivo: obtener híbridos intraespecíficos, con potencial para su producción en invernadero y estimar la heterosis y heterobeltiosis en los híbridos formados.

Material y métodos

El presente trabajo se realizó en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN) ubicada a 25°21 19" latitud norte, 101°01 48" longitud oeste, a una altura de 1779 msnm en Buenavista Saltillo, Coahuila (Servicio Meteorológico Nacional, 2014).

El material vegetal utilizado fueron diferentes tipos de *C. annuum* descritos en la tabla 1, con los cuales se realizaron cruces directos, ya que los recíprocos no prosperaron, lo cual ya se había observado en trabajos previos, en los cuales también se observó el buen comportamiento de los genotipos utilizados en esta investigación (Alejandro-Rojas, 2014).

Tabla 1. Material genético utilizado como progenitores de *Capsicum annuum*
Table 1. Genetic material used as progenitors of Capsicum annuum

Progenitores	Tipo	Origen
Hembras		
P_1. Cultivar Mitla	Jalapeño	Comercial
P_2. Criollo Mirador	Mirador	Criollo, Veracruz
P_3. Tampiqueño 74	Serrano	Comercial
Machos		
P_4. UANOg	Pimiento Naranja	Selección
P_5. UANRd	Pimiento rojo	Selección
P_6. UANShw	Pimiento verde	Selección
P_7. UANYw	Pimiento amarillo	Selección
P_8. UANCn (Capistrano)	Pimiento verde	Comercial

La evaluación agronómica se realizó en un invernadero tipo multitúnel con cubierta plástica, el cual cuenta con extractores, calefactores, estación meteorológica, pared húmeda y control de temperatura; registrando mínimas de 18°C y máximas de 36°C y una humedad relativa promedio de 60%.

Formación de híbridos

Los progenitores se sembraron en bandejas de semillero de poliestireno de 200 cavidades, usando como medio de germinación Turba de Sphagnum Premier (Angeles Millwork & Lumber Co USA) y perlita en una proporción 80:20 respectivamente. A los 45 días después de la siembra se realizó el trasplante en camas con acolchado plástico negro y cintilla para riego localizado, las camas con 25 cm de altura y una separación de 1,60 m; 30 cm entre plantas. El riego por goteo inicial fue de 0,75 l planta^{-1} dia^{-1}, con un incremento paulatino hasta llegar a 3,5 l planta^{-1} dia^{-1}, la nutrición fue con solución Steiner en el agua de riego a lo largo del ciclo del cultivo.

Al inicio de la floración (febrero de 2015) se realizaron los cruzamientos planta a planta de forma manual, pasando polen de las plantas machos a las flores de las plantas hembras previamente emasculadas. Las polinizaciones se realizaron diariamente de las 7:00 a 10:00 h y cada flor polinizada fue cubierta, para evitar polinización no deseada, y etiquetada indicando los progenitores utilizados. Cuando los frutos resultantes de los cruces alcanzaron su madurez fisiológica, se cortaron y almacenaron de 10 a 15 días a la sombra y a temperatura ambiente con el objetivo de favorecer y obtener la madurez completa de las semillas, luego se procedió a la extracción de las mismas. Las semillas fueron secadas a la sombra a temperatura ambiente durante 10 días y posteriormente conservadas en sobres de papel estraza hasta su siembra.

Establecimiento en campo y manejo del cultivo, de híbridos y progenitores

La semilla híbrida resultante y las de sus progenitores se sembraron en agosto de 2015 de la misma forma que en el primer ciclo. Cuando las plántulas tuvieron 12 cm de altura y 50 días después de la siembra, fueron establecidas en camas elevadas de 25 cm y de 1,60 m de ancho, con acolchado plástico de color negro y riego por goteo. Se establecieron a doble hilera en forma de tresbolillo con 40 cm entre plantas, resultando una densidad de 41.665 plantas ha^{-1}. El trabajo fue establecido bajo un diseño experimental de bloques al azar con 3 repeticiones. Cada parcela experimental fue constituida por 10 plantas y como parcela útil 3 plantas con competencia completa; se tomaron las plantas del centro para reducir el efecto de orilla. Al cultivo se le realizaron riegos cada tercer o cuarto día, dependiendo de las necesidades del cultivo, y se realizaron aplicaciones de fertilizantes foliares para corregir deficiencias por algún elemento. Además se realizaron podas, tutoreos, fertilizaciones y para la prevención y control de mosca blanca, paratrioza (pulgón saltador) y trips, se usaron imidaclopid 30,7% y metomilo 54%. Para prevenir las enfermedades se aplicó mancozeb + metalaxil +cloratolonil 32,1%, tecto 60 23,34%; estos productos se aplicaron mensualmente, para evitar la resistencia de plagas y enfermedades a los productos químicos.

Mediciones de componentes de rendimiento

La cosecha de los progenitores e híbridos se inició a los 88 días después del trasplante, realizando hasta 17 cortes en los genotipos más rendidores, con una separación de diez días entre cortes. Para estimar el rendimiento total de fruto (RTF) se pesaron en una balanza electrónica (VELAB, Scientific, México) con

capacidad de 1 kg y una precisión de 0,001kg, se sumó el peso de fruto obtenido a lo largo del ciclo del cultivo. El número de frutos por planta (NFP) fue estimado mediante el conteo de todos los frutos cosechados a lo largo del ciclo de producción y dividido entre el número de plantas cosechadas, mientras que el peso promedio de fruto (PPF) se estimó dividiendo el peso total de fruto entre el número de frutos cosechados.

Mediciones de calidad de fruto

Las variables de calidad del fruto fueron determinadas en el Laboratorio de Nutrición Vegetal y Cultivo de Tejidos del Departamento de Horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, usando frutos frescos para cada una.

El contenido de ácido ascórbico (CAA) en los frutos de los progenitores e híbridos F_1, fue estimado mediante la metodología de la AOAC (2000) por medio de titulación al cambio de color.

Para la cuantificación de los carotenos totales (CT), se utilizó la técnica descrita por Silverstein *et al.* (1998), basada en el método colorimétrico, con un espectrofotómetro Genesys 10S UV-Vis (Thermo Scientific, Estados Unidos) el cual fue ajustado a una longitud de onda de 454 nm para cuantificar la absorbancia de las muestras analizadas, las cuales se leyeron por triplicado y el contenido se obtuvo mediante la siguiente fórmula:

$$\text{mg/ 0,1 Kg} = \frac{\%\ \text{ABS}_{454} \times 3,85 \times \text{V} \times 100}{\text{P}}$$

Donde:

$\%ABS_{454}$ = Porcentaje de absorbancia a 454nm

V = Volumen medido en la probeta

P = Peso de la muestra en gramos

La cuantificación del contenido de capsaicinoides (CAPs) fue determinada en frutos de chile en la etapa de madurez fisiológica por el método descrito por Bennett y Kirby (1968), en un espectrofotómetro Bio-145025 BIOMATE-5 (Thermo Electron Corporation, Madison, USA) a una longitud de onda de 286 nm. Para determinar la concentración de capsaicina en las muestras se construyó una curva de calibración de este compuesto (Sigma, Co.) dentro de un rango de 0 a 0,40 mg ml^{-1}. Las lecturas se realizaron por triplicado para cada muestra y el contenido de capsaicina se expresó en unidades Scoville (SHU).

Estimación de variables agronómicas

Para la estimación de días a floración (DAF) y días a cosecha (DAC) se contabilizaron los días transcurridos desde que se trasplantaron los genotipos hasta el día en que se presentó la primera florescencia de cada planta y hasta el día en que se cosecharon los primeros frutos, respectivamente. Mientras que para la de altura de planta (ADP) se midió cada quince días el progreso del crecimiento de las plantas con una cinta métrica, tomada desde la base del tallo hasta el ápice de la planta.

Análisis estadístico

El análisis de los datos se realizó por medio del programa SAS versión 9.1, con una prueba de comparación de medias de Tukey ($P \leq 0,05$) y la estimación de heterosis se consideró como la relación entre el promedio del valor del híbrido con el promedio de sus progenitores correspondientes, expresada en términos porcentuales y la heterobeltiosis (o trasgresividad híbrida) se estimó como la superioridad del híbrido sobre el mejor progenitor también en escala porcentual (Fonseca y Patterson, 1968), como se indica a continuación:

HETEROSIS

$$H = \frac{F_1 - (P_1 + P_2)/2}{(P_1 + P_2)/2} \times 100$$

HETEROBELTIOSIS

$$H' = \frac{F_1 - Ps}{Ps} \times 100$$

Donde:

F_1 = Promedio del híbrido

P_1 = Promedio del progenitor materno

P_2 = Promedio del progenitor paterno

P*s* = Promedio del mejor progenitor

Resultados y discusión

Rendimiento y componentes del rendimiento

Los análisis de varianza aplicados a progenitores e híbridos exhibieron diferencias significativas (P<0,01) entre híbridos y progenitores en RTF, NFP y PPF, lo que sugiere la existencia de variabilidad genética de utilidad para desarrollar variedades superiores en chile.

La comparación de medias (Tabla 2) muestra que el híbrido P_1xP_5 fue el que presentó el mayor rendimiento por planta con 3584 g pl^{-1}, aunque no fue significativamente distinto al resto de los híbridos estudiados. El híbrido que presentó el menor RTF fue el híbrido P_1xP_7 con un rendimiento de 1980 g pl^{-1}. Los híbridos P_1xP_5 y P_2xP_6 fueron significativamente superiores a todos los progenitores estudiados, resultando genotipos prometedores para el desarrollo de variedades de chile Jalapeño y Mirador para su producción en invernadero, ya que el híbrido P_1xP_5 supero en 333% la media de los progenitores hembras y en 159% a los progenitores macho.

Los resultados obtenidos permiten inferir que la combinación adecuada de genes consiguió incrementar el rendimiento de forma significativa, ya que hubo la expresión de vigor híbrido en las progenies obtenidas y estudiadas. En este sentido Martínez-Sánchez *et al.* (2010) menciona que el comportamiento sobresaliente en los componentes de rendimiento es debido a que las plantas fueron estudiadas bajo condiciones de invernadero y estas condiciones favorecieron la expresión de los genes relacionados con el rendimiento de fruto. Duarte *et al.* (2012) logró la mayor producción y calidad de Jalapeño variedad Mitla, al usar gallinaza + 80N en invernadero, logrando un rendimiento de 65,2 t ha^{-1}, muy por encima de los rendimientos promedios de chile verde bajo condiciones de campo abierto de 18,27 t ha^{-1} (SIAP-SAGARPA, 2016).

La tabla 2 muestra que el híbrido P_2xP_6 presentó la mayor cantidad de NFP con un total de 120,6 frutos, el cual fue significativamente superior a todos los progenitores machos, al progenitor hembra Mirador y al híbrido P_1xP_7, sin embargo no fue significativamente diferente del resto de los híbridos. El híbrido P_2xP_6 superó en 104% a la media de producción de fruto de los progenitores hembra y en 725% a los progenitores macho, por lo tanto este híbrido se confirma como uno de los más prometedores para el desarrollo de una variedad de *C. annuum* para producción en invernadero. Tanto el híbrido P_1xP_5 como el P_2xP_6 coinciden con el mayor NFP y ADP, lo cual indicaría que el mayor desarrollo de la planta indujo mayor desarrollo de yemas reproductivas y por lo tanto mayor RTF.

Para la variable PPF se encontró que los progenitores macho presentaron los mayores valores, todos fueron significativamente iguales excepto el progenitor macho UANCn, superando significativamente a los progenitores hembra y a los híbridos, estos últimos tuvieron un peso promedio similar a los progenitores hembra. Los PPF de progenitores hembra oscilan entre 9,2 y 19,6 g mientras que los progenitores macho fluctúan entre

Tabla 2. Valores medios del rendimiento y componentes del rendimiento de fruto, de híbridos y progenitores de *Capsicum annuum*
Table 2. Mean values of fruit yield and yield components, of hybrids and progenitors of Capsicum annuum

Progenitores	RTF (g planta^{-1})	NFP	PPF (g)
Hembras			
P_1. Mitla	1098^{bc}	56,9^{abcd}	19,6^{de}
P_2. Mirador	551^{c}	50,6^{bcd}	9,2^{e}
P_3 Tampiqueño	831^{c}	69,7^{abcd}	12,0^{e}
Machos			
P_4. UANOg	1664^{bc}	17,5^{cd}	94,4^{ab}
P_5. UANRd	1482^{bc}	18,7^{cd}	86,4^{b}
P_6. UANShw	1243^{bc}	12,1^{d}	105,1^{ab}
P_7. UANYw	1293^{bc}	13,0^{d}	98,6^{ab}
P_8. UANCn	1227^{bc}	11,5^{d}	105,6^{a}
Híbridos			
P_1xP_4	2586^{abc}	71,2^{abcd}	37,3^{cd}
P_1xP_5	3584^{a}	93,7^{ab}	38,1^{c}
P_1xP_6	2991^{ab}	117,9^{ab}	26,6^{cde}
P_1xP_7	1980^{abc}	52,0^{bcd}	37,2^{cd}
P_2xP_4	2764^{abc}	111,4^{ab}	25,3^{cde}
P_2xP_5	2828^{abc}	91,7^{abc}	30,4^{cde}
P_2xP_6	3247^{a}	120,6^{a}	27,7^{cde}
P_3xP_4	2633^{abc}	98,2^{ab}	26,9^{cde}
P_3xP_8	2781^{abc}	110,1^{ab}	25,2^{cde}
DSM	2349,8	89,32	18,78

RTF = Rendimiento Total del Fruto; NFP = Numero de frutos por planta; PPF = Peso promedio de fruto DSM = Diferencia Significativa Mínima.

Columnas con letras diferentes son estadísticamente diferentes de acuerdo a la prueba Tukey ($P<0,05$).

86,4 y 105,6 g y los híbridos tienen pesos que van desde 25,2 a 38,1 g lo cual se atribuye a una recombinación de genes entre las poblaciones parentales.

Calidad de fruto

Algunas características de interés en las hortalizas, son los compuestos bioquímicos que al ser consumidos repercuten en la salud humana, como es el caso del contenido de ácido ascórbico, carotenoides totales y contenido de capsaicina. El análisis de varianza realizado a estas variables mostró diferencias significativas ($P \leq 0,01$) entre progenitores e híbridos.

Todos los progenitores macho fueron significativamente iguales en CAA, exhibieron una media de 186,8 mg/0,1 Kg de fruto y solamente los híbridos P_3xP_4 y P_3xP_8 presentaron cantidades significativamente iguales a los progenitores macho (Tabla 3). Los progenitores hembras Mitla y Mirador presentaron cantidades de CAA significativamente inferiores a los progenitores machos pero estadísticamente iguales a los híbridos estudiados. Los dos híbridos con altos CAA podrían ser la base para incrementar este metabolito, el cual es un antioxidante que protege las células contra daños causados por los radicales libres, entre otras propiedades en la salud humana. Dada su importancia, es viable considerarlo en las estrategias de mejoramiento genético de hortalizas para el desarrollo de productos hortícolas de mejor calidad para el consumidor. Los datos observados en relación a CAA muestran grandes diferencias entre los progenitores maternos, paternos e híbridos, indicando la gran variabilidad en relación a esta variable. La tabla 3 muestra que los progenitores paternos fueron ricos en este compuesto con rangos que van de 172,2 a 201,9 mg/0,1 Kg de fruto, siendo el progenitor UANRd el que presentó mayor valor y fue significativamente diferente de los progenitores maternos que oscilaron entre 55,8 y 101,2 mg/0,1 Kg, mientras que los híbridos presentaron valores intermedios con rangos de 89,4 mg/0,1 Kg para el hibrido P_1xP_6, a 129,7 mg/0,1 Kg de fruto en el P_3xP_8 que fue el de mayor CAA.

En relación al contenido de CT, cuatro de los progenitores macho y el progenitor hembra Mitla presentaron las mayores cantidades, con un rango de 6430 a 7498 mg/0,1 Kg, los progenitores dentro de este rango fueron significativamente superiores al progenitor Mirador y a todos los híbridos estudiados. Es importante señalar que estos metabolitos actúan como antioxidantes en la salud humana, por lo tanto en el desarrollo de nuevos híbridos es relevante el incremento de estos pigmentos. Los híbridos formados manifestaron valores inferiores a los observados en los progenitores paternos, lo cual infiere que está involucrada la herencia materna de estos caracteres, presentando características similares al progenitor materno. Trujillo-Contreras (2011) trabajando con chile Serrano encontró que manejar su cultivo bajo un sistema de invernaderos más una fertilización química integral aumentó el contenido de antioxidantes, coincidiendo con Caldari (2007) que encontraron que estos antioxidantes pueden alterarse por las características que brinda un cultivo bajo invernadero, lo cual podría explicar los resultados obtenidos para estas variables, ya que los progenitores hembra utilizados nunca se habían cultivado dentro de un ambiente protegido y eso pudo influir en el cambio de concentración de estos compuestos.

Con respecto al contenido de CAPs, se encontró que los progenitores hembras tuvieron cantidades significativamente superiores a los progenitores macho (Tabla 3), mientras que de los híbridos se encontraron seis que fueron significativamente iguales a los progenitores hembra y tres que fueron significativamente iguales a los progenitores macho. El contenido medio de CAPs en los progenitores hembra fue de 11734 SHU, el contenido de los progenitores machos presentaron una

Tabla 3. Valores medios de variables de calidad de fruto de progenitores e híbridos de *Capsicum annuum*
Table 3. Mean values of fruit quality variables of progenitors and hybrids of Capsicum annuum

Progenitores	CAA (mg/0,1Kg)	CT (mg/0,1Kg)	CAPs (SHU)
Hembras			
P_1. Mitla	74,9^{f}	6430^{ab}	11685^{abc}
P_2. Mirador	55,8^{f}	742^{c}	11381^{abc}
P_3. Tampiqueño	101,3bcde^{f}	5494^{b}	12138^{a}
Machos			
P_4. UANOg	184,6^{abcd}	7498^{a}	939^{d}
P_5. UANRd	201,9^{a}	7073^{a}	845^{d}
P_6. UANShw	187,3^{abc}	7477^{a}	740^{d}
P_7. UANYw	172,2^{abcde}	5055^{b}	547^{d}
P_8. UANCn	187,9^{ab}	6454^{ab}	713^{d}
Híbridos			
P_1xP_4	108,7^{bcdef}	1725^{c}	9375^{abc}
P_1xP_5	109,4^{bcdef}	1764^{c}	5952^{cd}
P_1xP_6	89,4^{ef}	1589^{c}	7385^{abc}
P_1xP_7	96,1^{def}	1380^{c}	6253^{bcd}
P_2xP_4	109,2^{bcdef}	1370^{c}	7785^{abc}
P_2xP_5	110,2^{bcdef}	1765^{c}	5950^{cd}
P_2xP_6	98,9^{cdef}	2081^{c}	8797^{abc}
P_3xP_4	120,3^{abcdef}	1616^{c}	7862^{abc}
P_3xP_8	129,^{8abcdef}	1761^{c}	12003^{ab}
DMS	88,77	1545,6	5791,7

CAA = Contenido de ácido ascórbico; CT = Carotenos totales; CAPs = Contenido de Capsaicina; SHU = unidades Scoville; DSM = Diferencia Significativa Mínima.

Columnas con letras diferentes son estadísticamente diferentes de acuerdo a la prueba Tukey (P<0,05).

media de 756 SHU, la media de los híbridos fue de 7909 SHU, es decir, que en promedio los progenitores hembra superaron en un 93% en el contenido de CAPs a los progenitores macho y en 32% a los híbridos. Lo observado anteriormente indica que en relación a pungencia si hubo participación de ambos progenitores, aunque el híbrido P_3xP_8, presentó una pungencia similar a su progenitor femenino con un valor de 12003 SHU, lo cual puede ser de utilidad si se quieren formar híbridos o variedades de chile Jalapeño para invernadero.

Variables Agronómicas

En la variable DAF se encontraron diferencias significativas ($P \leq 0,01$) entre progenitores e híbridos, donde los progenitores fueron significativamente más tardíos que los híbridos, los progenitores presentaron un promedio de 55,4 días a floración mientras que los híbridos en promedio 27,5, por lo tanto los híbridos fueron 50% más precoces que los progenitores. El híbrido P_1xP_7 fue el que presentó mayor precocidad, llegando a la floración a los 20,6 días después del trasplante, adelantándose en 27,2 días respecto al progenitor más precoz (Tabla 4). Esta característica es de suma relevancia ya que está relacionada con una producción temprana de fruto, reduciendo significativamente los costos a inicio de cosecha en la producción en invernadero y proporcionando cosechas más tempranas que pueden competir mejor en el mercado. De los progenitores macho el pimiento UANYw fue el que presentó la mayor precocidad a inicio de floración el cual fue cruzado con el progenitor hembra Mitla, que fue el más precoz de todos los progenitores, por lo tanto se infiere que heredaron dicha característica a su F_1. El progenitor hembra más tardío fue el Mirador alcanzando su primera floración a los 74,2 días mientras que el progenitor macho más tardío fue el UANShw llegando a la floración a los 57,5 días después del trasplante, lo anteriormente citado muestra la gran variabilidad respecto a esta característica contrastando con lo observado por Montaño-Mata y Belisario-Ramos (2012), quienes encontraron que el genotipo más precoz inició la floración a los 27,0 días mientras que el más tardío a los 35,0 días. Sin embargo, la información obtenida en el presente trabajo coincide más con lo reportado por Hernández-Pérez *et al*., (2011) ya que ellos reportan que sus cultivares iniciaron la floración en promedio a los 52,4 días después del trasplante. La precocidad conseguida en los híbridos tienen como principales ventajas adelantar cosechas así como evadir algunas plagas y/o enfermedades, ya que algunas plagas y enfermedades son más severas en ciertas épocas del año, logrando con ello menos aplicación de insecticidas y mayores cosechas de mayor calidad.

En los DAC también se encontraron diferencias significativas ($P \leq 0,01$) entre progenitores e híbridos. El progenitor UANRd fue el más tardío, aunque fue significativamente igual a cuatro progenitores más y tres híbridos, en un segundo grupo quedaron siete progenitores y ocho híbridos, que fueron significativamente iguales, mientras que en un tercer grupo quedo el híbrido P_2xP_5, aunque este fue significativamente igual a cinco progenitores y ocho híbridos. Los progenitores presentaron en promedio 133,9 días a cosecha mientras que los híbridos 116,7 días, donde el híbrido P_2xP_5 fue el más precoz ya que a los 88,5 días después del trasplante se inició la cosecha en este híbrido y en sus progenitores, hembra y macho, a los 139,0 y 173,7 días, respectivamente. En los progenitores se observó una diferencia de 57,0 días entre el más precoz y el más tardío, mientras que en los híbridos fue de 44,0 días, que es una diferencia de 13,0 días; lo antes citado muestra que son rangos muy amplios entre los genotipos estudiados (Tabla 4), difiriendo con lo descrito por

Tabla 4. Valores medios de variables agronómicas de progenitores e híbridos de *Capsicum annuum*
Table 4. Mean values of agronomic variables of progenitors and hybrids of Capsicum annuum

Progenitores	DAF	DAC	ADP (Cm)
Hembra			
P_1. Mitla	$47,7^{abcde}$	$139,0^{ab}$	116^{bcde}
P_2. Mirador	$74,1^{a}$	$138,0^{ab}$	100^{cde}
P_3. Tampiqueño	$55,0^{abcd}$	$130,4^{abc}$	144^{abcde}
Machos			
P_4. UANOg	$54,7^{abcd}$	$120,5^{bc}$	71^{e}
P_5. UANRd	$56,8^{abc}$	$173,7^{a}$	74^{e}
P_6. UANShw	$57,5^{ab}$	$121,5^{bc}$	91^{cde}
P_7. UANYw	$48,0^{abcde}$	$116,5^{bc}$	81^{de}
P_8. UANCn	$49,0^{abcde}$	$131,6^{abc}$	72^{e}
Híbridos			
P_1xP_4	$28,8^{bcde}$	$123,3^{bc}$	147^{abcde}
P_1xP_5	$32,3^{bcde}$	$124,3^{bc}$	173^{ab}
P_1xP_6	$25,0^{bcde}$	$126,8^{abc}$	177^{abc}
P_1xP_7	$20,5^{e}$	$106,6^{bc}$	143^{abcde}
P_2xP_4	$26,6^{bcde}$	$112,7^{bc}$	137^{abcde}
P_2xP_5	$24,6^{cde}$	$88,5^{c}$	148^{abcde}
P_2xP_6	$23,6^{de}$	$103,9^{bc}$	219^{a}
P_3xP_4	$39,6^{bcde}$	$132,9^{abc}$	195^{ab}
P_3xP_8	$26,1^{bcde}$	$131,1^{abc}$	165^{abcd}
DMS	32,52	48,32	87,1

DAF = Días a floración; DAC = Días a cosecha; ADP = Altura de planta, DSM = Diferencia Significativa Mínima.

Columnas con letras diferentes son estadísticamente diferentes de acuerdo a la prueba Tukey ($P<0,05$).

Montaño-Mata y Belisario-Ramos (2012) quienes iniciaron la cosecha a los 75,0 días después del trasplante. Esta diferencia se atribuye a que el cultivo de este estudio fue sembrado en el periodo otoño-invierno en que las temperaturas se mantuvieron bajas, retardando el crecimiento del cultivo, y a que en este periodo la radiación solar también fue baja, en algunos días nula, lo que retrasó el crecimiento vegetativo y reproductivo de las plantas. En este sentido, se indica que temperaturas inferiores a 15°C inhiben el crecimiento vegetativo, mientras que las temperaturas óptimas para este cultivo en el día son 20 a 25°C y las nocturnas de 16 a 18°C (Pilatti *et al*., 2005). En un estudio con chile pimiento en hidroponía, Moreno-Pérez *et al*. (2011) tuvieron la primera cosecha del pimiento más precoz a los 91,0 días después del trasplante y el más tardío a los 117,0 días, valores inferiores a los encontrados en esta investigación.

En lo referente a la ADP se encontraron diferencias significativas (P≤0,01) entre los progenitores e híbridos estudiados. A diferencia de las variables anteriores, aquí podemos observar una tendencia positiva a favor de los híbridos, lo que significa que tuvieron una altura mayor en comparación con sus progenitores. Estas diferencias son consecuencia de la variabilidad presente entre las poblaciones de machos y hembras bajo estudio, además es posible inferir que en las poblaciones bajo estudio hay divergencia genética, las cuales permitieron generar híbridos fenotípicamente diferentes, coincidiendo con lo señalado por De la Cruz-Lázaro *et al*., (2005); Wong-Romero *et al*., (2006) y Guerrero-Guerrero *et al*., (2011) que identificaron híbridos en maíz con mayor altura y alto rendimiento, con alta variabilidad genética presente en los progenitores estudiados. Además, Martínez-Sánchez *et al.* (2010) afirman que la diferencia entre alturas de la planta se debe a que en condiciones de cultivo en invernadero existe un mayor control en los factores ambientales y manejo del cultivo que influye en el crecimiento y desarrollo. La comparación de medias (Tabla 4) nos muestra que todos los híbridos formados son superiores en altura a sus progenitores (macho y hembra) lo cual resultó conveniente puesto que se reflejó en el rendimiento de la planta, ya que había mayor área foliar y por lo tanto mayor acumulación de reservas que permitieron una alta productividad. Esto resulta muy provechoso debido a que los híbridos no presentaron ningún estrés que repercutiera en su crecimiento, por lo que podemos concluir que dichos híbridos se adaptan bien a condiciones de invernadero.

Heterosis

La tabla 5 muestra que para RTF los híbridos exhibieron un rango de heterosis de 88 a 229%, lo que indica que los progenitores utilizados presentan divergencia genética y sobre todo complementariedad génica, que permite la expresión del vigor hibrido en mayor RTF. Además, dado que el hibrido P_2xP_6 fue el que presentó la mayor heterosis, este hecho podría ser aprovechado para desarrollar genotipos de alto rendimiento para producción en invernadero. En la variable NFP también se encontró un rango de heterosis que fue de 66 a 243% y nuevamente fue el híbrido P_2xP_6 el que presentó el mayor valor; sin embargo en la variable PPF se encontró una heterosis negativa lo cual indica que los frutos fueron más semejantes a los progenitores hembra. En la variable DAF y DAC también se encontraron valores elevados y negativos, lo cual es favorable, ya que en los híbridos formados se ganó en precocidad; en días a cosecha se encontró una heterosis negativa de -43%, indicando que el hibrido P_2xP_5 fue más precoz que la media de los dos progenitores. En la variable ADP el híbrido P_2xP_6 manifestó una heterosis de 128%. En las variables CAA y CT se encontraron valores de heterosis negativa, lo cual indica que los valores de estas variables se reduje-

Tabla 5. Valores de heterosis (% sobre promedio de parentales) para variables estudiadas en híbridos formados mediante cruzas entre diferentes tipos de *Capsicum annuum*
Table 5. Heterosis values (% on mid parent value) for studied variables in hybrids formed by crosses between different types of Capsicum annuum

Híbridos	RTF	NFP	PPF	DAF	DAC	ADP	CAA	CT	CAPs
P_1xP_4	98,5	101,2	-35,8	-43,7	-5,0	56,9	-16,2	-75,2	48,5
P_1xP_5	188,7	161,4	-26,9	-38,2	-20,5	81,7	-21,0	-73,9	-5,0
P_1xP_6	133,5	199,0	-55,3	-52,4	-2,6	70,6	-31,8	-77,1	18,9
P_1xP_7	87,6	65,9	-34,3	-57,0	-16,5	44,2	-22,2	-76,0	2,2
P_2xP_4	118,2	162,7	-53,2	-58,6	-12,8	60,3	-9,1	-66,7	26,4
P_2xP_5	132,8	113,9	-38,6	-62,4	-43,2	70,6	-14,5	-54,8	-2,7
P_2xP_6	228,9	243,1	-54,5	-64,1	-19,9	128,6	-18,6	-49,4	45,2
P_3xP_4	114,4	121,7	-51,4	-27,8	5,9	81,2	-15,8	-75,1	20,2
P_3xP_8	154,8	155,6	-58,8	-49,9	0,1	53,1	-10,3	-70,5	86,8

RTF = Rendimiento total del fruto; NFP = Número de frutos por planta; PPF = Peso promedio de fruto; DAF = Días a floración; DAC = Días a cosecha; ADP = Altura de planta; CAA = Contenido de ácido ascórbico; CT = Carotenos totales; CAPs = Contenido de Capsaicina.

ron en relación al comportamiento promedio de los progenitores involucrados en los cruzamientos. Sin embargo lo recomendable es que estos valores sean por lo menos iguales a la media de los progenitores, por lo que dichos valores podrán ser incrementados por procesos de selección o retrocruza hacia el progenitor con los mayores valores. En contenido de CAPs el híbrido P_3xP_8 fue el que presentó el mayor valor de heterosis con 87%, sin embargo el híbrido P_2xP_6, que es de los más sobresalientes presentó una heterosis de 45% el cual es un valor alto e indica que presenta características de pimiento en cuanto a tamaño, sin embargo tiene alto RTF, NFP, ADP, y CAPs, lo cual lo hace prometedor para el desarrollo de una variedad de chile para condiciones de invernadero.

En fitomejoramiento se considera que el nivel deseable para el aprovechamiento de la heterosis en un cruce sea de cuando menos 20 % (Vasal y Córdova, 1996). Sin embargo en el presente trabajo, la heterosis estimada en RTF y NFP, está por encima del nivel mínimo recomendado, lo que indica que existe diversidad genética entre los progenitores, puesto que la heterosis exhibida en sus cruzas simples depende de la aptitud rendidora y de la diversidad genética de los progenitores usados (Moll *et al*., 1962).

Con la hibridación se busca mayor precocidad en la progenie y en este trabajo, los días a floración y días a cosecha de las primeras ramificaciones fueron indicadores de precocidad en las poblaciones evaluadas. Los valores negativos en DAF y DAC son ventajosas ya que permiten tener cosechas más tempranas, datos similares fueron obtenidos por Dzib-Aguilar, *et al.* (2011) en el cultivo de maíz.

Heterobeltiosis

La tabla 6 muestra que para RTF los híbridos P_2xP_6, P_1xP_5 y P_1xP_6 presentaron los valores más altos de heterobeltiosis, con valores de 178, 146 y 115%, respectivamente, y estos mismos híbridos presentaron valores de 104, 74 y 82% de heterobeltiosis para la variable NFP. Considerando estas dos variables, todos los híbridos presentaron heterobeltiosis, sin embargo, los híbridos antes citados son los más prometedores para el desarrollo de variedades para producción en invernadero. En la variable DAF y DAC los valores más negativos indican que estos híbridos presentan las mayores ventajas en cuanto a precocidad permitiendo la obtención de cosechas más tempranas. Además, también se encontró heterobeltiosis alta y positiva en la variable ADP, lo cual permite tener un mejor aprovechamiento del ambiente de invernadero. Sin embargo, en las variables relacionadas con la calidad de fruto no fue posible mejorar los contenidos de CAA, CT y CAPs, ya que todos los híbridos exhibieron valores negativos de heterobeltiosis.

Tabla 6. Valores de heterobeltiosis (% del mejor parental correspondiente) para variables estudiadas en híbridos formados mediante cruzas entre diferentes tipos de *Capsicum annuum*
Table 6. Values of heterobeltiosis (% of de best parent) for variables studied in hybrids formed by crosses between different types of Capsicum annuum

Híbridos	RTF	NFP	PPF	DAF	DAC	ADP	CAA	CT	CAPs
P_1xP_4	67,2	30,3	-61,3	-39,6	2,3	26,5	-41,1	-77,0	-19,8
P_1xP_5	146,4	73,9	-55,2	-32,3	-10,6	48,4	-45,8	-75,1	-49,1
P_1xP_6	115,2	82,5	-73,5	-47,5	4,4	52,1	-52,3	-78,7	-36,8
P_1xP_7	74,6	1,4	-60,7	-56,9	-8,4	22,5	-44,2	-72,7	-46,5
P_2xP_4	70,5	64,5	-73,1	-51,3	-6,5	37,3	-40,8	-81,7	-31,6
P_2xP_5	84,1	37,2	-64,4	-56,6	-35,9	48,1	-45,4	-75,0	-47,7
P_2xP_6	178,5	103,9	-74,2	-58,9	-14,5	118,2	-47,2	-58,8	-22,7
P_3xP_4	67,5	35,8	-72,6	-27,6	10,2	35,5	-34,8	-78,4	-35,2
P_3xP_8	116,8	48,1	-77,1	-46,7	0,6	14,8	-31,0	-72,7	-1,1

RTF = Rendimiento total del fruto; NFP = Número de frutos por planta; PPF = Peso promedio de fruto; DAF = Días a floración; DAC = Días a cosecha; ADP = Altura de planta; CAA = Contenido de ácido ascórbico; CT = Carotenos totales; CAPs = Contenido de Capsaicina.

Conclusiones

Es factible la formación de híbridos de alto rendimiento para producción en invernaderos de baja tecnología, al cruzar chiles picantes (Jalapeño, Mirador y Serrano) con pimientos, ya que en este trabajo se obtuvieron rendimientos que superaron en más del 280% el rendimiento medio de Sinaloa, que es el estado de México con mayor productividad en este cultivo, además se superó en más del 120% el rendimiento más alto registrado en México en chile Jalapeño.

La combinación adecuada de genes, permitió obtener híbridos con valores positivos y altos de heterosis y heterobeltiosis en rendimiento total de fruto y número de frutos por planta.

En los híbridos desarrollados fue posible lograr valores negativos, en heterosis y heterobeltiosis, en días a floración y días a cosecha, logrando tener genotipos de cosecha temprana para producción en invernadero.

Los resultados obtenidos en la presente investigación permiten inferir que es posible mejorar los rendimientos y calidad nutricional de frutos, con características de los progenitores hembras, para producción en invernadero, aunque es necesario repetir los ensayos de productividad para confirmar los resultados preliminares obtenidos.

Dado que se utilizaron líneas puras para formar los híbridos y estos fueron manejados en invernadero con control parcial de variables climáticas, se considera posible lograr rendimientos similares en futuros trabajos de investigación.

Agradecimientos

El primer autor agradece al CONACYT por el apoyo económico otorgado en forma de una beca para realizar estudios de postgrado.

Bibliografía

Alejandro-Rojas GJ (2014). Estimación de la aptitud combinatoria y heterosis en cruzas intervarietales de *Capsicum anuumm* bajo condiciones de invernadero. Tesis de Maestría de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México.

AOAC (2000). Official methods of analysis of AOAC International. No. C/630.240 O3/2000.

Bennett DJ, Kirby GW (1968). Constitution and biosynthesis of capsaicin. Journal of the Chemical Society C: Organic, pp. 442-446.

Bosland PW (1994). Chiles. History, cultivation and uses. En: Spices, herbs, and edible fungi. (Ed. Charambous, G.), pp. 347-366. Elsevier Publication, New York, EEUU.

Caldari P (2007). Manejo de la luz en Invernaderos. Los beneficios de luz de calidad en el cultivo de hortalizas. I Simposio internacional de invernaderos, 20-22 junio, Toluca, México, pp. 5.

De la Cruz-Lázaro E, Rodríguez-Herrera SA, Estrada-Botello MA, Mendoza-Palacios JD, Brito-Manzano NP (2005). Análisis dialélico de líneas de maíz QPM para características forrajeras. Universidad y Ciencia, 21: 19-26.

Duarte RM, Contreras RLG, Contreras FR (2012). Respuesta de la aplicación de estiércol y fertilizantes sobre el rendimiento y calidad del chile Jalapeño. Biotecnia, 14: 32-38.

Dzib-Aguilar LA, Segura-Correa JC, Ortega-Paczka R, Latournerie-Moreno L (2011). Cruzas dialélicas entre poblaciones nativas de maíz de Yucatán y poblaciones mejoradas. Tropical and Subtropical Agroecosystems, 14: 119-127.

FAO (2015). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. División Estadística. Disponible en: http://faostat.fao.org (Consultado: Septiembre 2016).

Fonseca S, Patterson FL (1968). Hybrid vigor in a seven-parent diallel cross in common winter wheat (*Triticum aestivum* L.). Crop Science, 8: 85-88.

Guerrero-Guerrero C, Espinoza-Banda A, Palomo-Gil A, Gutiérrez-del Río E, Zermeño-González H, González Castillo MP (2011). Aptitud combinatoria del rendimiento y sus componentes en dos grupos de líneas de maíz. Agronomía mesoamericana, 22: 257-267.

Hernández-Pérez M, López-Benítez A, Borrego-Escalante F, López-Betancourt SR, Ramírez-Meraz M (2011). Análisis dialélico del rendimiento de Chile por el Método IV de griffing. Agronomía mesoamericana, 22: 37-43.

Laborde-Cansino JA, Pozo-Campodónico O (1982). Presente y pasado del chile en México. Publicación especial Nº 85. Ed. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (INIA-SARH), México, 80 pp.

Macías RH, Romero E, Martínez J (2003). Invernaderos de Plástico. Cap. 6 En: agricultura protegida (Ed. Sánchez Cohen I.), pp. 131-163. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua, Suelo, Planta y Atmósfera (CENID RASPA), Gómez Palacio, Dgo.

Martínez-Sánchez D, Pérez-Grajales M, Rodríguez-Pérez JE, Moreno Pérez EC (2010). Colecta y caracterización morfológica de 'chile de agua' (*Capsicum annuum L.*) en Oaxaca, México. Revista Chapingo Serie Horticultura, 16: 169-176.

Montaño-Mata NJ, Belisario-Ramos HDC (2012). Comportamiento agronómico de siete cultivares de pimentón (*Capsicum annuum* L.). Revista Científica UDO Agrícola, 12: 32-44.

Moreno-Pérez E, Mora-Aguilar R, Sánchez-Castillo F, García-Pérez V (2011). Fenología y rendimiento de híbridos de pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.) cultivados en hidroponía. Revista Chapingo Serie Horticultura, 17(2): 5-18.

Moll RH, Salhuana WS, Robinson HF (1962). Heterosis and genetic diversity in variety crosses of maize. Crop science, 2(3): 197-198.

Pérez-Grajales M, González-Hernández VA, Peña-Lomelí A, Sahagún-Castellanos J (2009). Combining ability and heterosis for fruit yield and quality in manzano hot pepper (*Capsicum pubescens* R & P) landraces. Revista Chapingo Serie Horticultura, 15(1): 103-109.

Pilatti RA, Pérez L, Gariglio NF, Favaro J (2005). Cultivo de pimiento bajo invernáculos no calefaccionados: Tecnología para la obtención de frutos de buena aptitud comercial. FAVE, 6(1): 1-27.

Rodríguez Y, Depestre T, Gómez O (2007). Obtención de líneas de pimiento (*Capsicum annuum*) progenituras de híbridos F1, resistentes a enfermedades virales, a partir del estudio de cuatro sub-poblaciones. Ciencia e investigación agraria, 34(3): 237-242.

SAGARPA (2015). Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Disponible en: https://www.gob.mx/sagarpa/articulos/produccion-del-chile-mexicano (Consultado: Septiembre 2016).

Seneviratne KGS, Kannangara KN (2004). Heterosis, heterobeltiosis and commercial heterosis for agronomic traits and yield of chilli. Annals of the Sri Lanka Department of Agriculture, 6: 195-201.

SIAP-SAGARPA (2016). Avance de Siembras y Cosechas. Resumen nacional por estado. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Disponible en: http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/AvanceNacionalCultivo.do. Disponible en línea http://www.siap.gob.mx (Consultado: Noviembre, 2016).

Servicio Meteorológico Nacional (2014). Disponible en: http://smn.cna.gob.mx/es/climatologia/temperaturas-y-lluvias/resumenes-mensuales-de-temperaturas-y-lluvias (Consultado: Febrero 2015).

Silverstein RM, Webster FX, Kiemle DJ (1998). Infrared spectrometry. En: Spectrometric identification of organic compounds 7th edition. (Ed. State University of New York. College of Environmental Science and Forestry), pp. 72-108. John Wiley and Sons, Inc.

Sousa JA, Maluf WR (2003). Diallel analyses and estimation of genetic parameters of hot pepper (*Capsicum chinense* Jacq.). Scientia Agricola, 60(1): 105-113.

Trujillo-Contreras MI (2011). Cuantificación de compuestos antioxidantes, capsaicina y capacidad antioxidante en chile serrano (*Capsicum annum*) bajo distinto manejo agronómico y sistema de cultivo. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de Querétaro. México.

Valadez López A (1998). Producción de hortalizas. Ed. Limusa, México, D.F. 298 pp.

Vasal SK, Córdova H (1996). Heterosis en maíz: acelerando la tecnología de híbridos de dos progenitores para el mundo en desarrollo. En: Memoria del Curso Internacional de Actualización en Fitomejoramiento y Agricultura Sustentable. [Ed. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN)], pp. 32-54. Buenavista, Saltillo, México.

Wong-Romero R, Gutiérrez-del Río E, Rodríguez-Herrera SA, Palomo-Gil A, Córdova-Orellana H, Espinoza-Banda A (2006). Aptitud combinatoria y parámetros genéticos de maíz para forraje en la comarca lagunera. Universidad y Ciencia 22(2): 141-151.

(Aceptado para publicación el 1 de marzo de 2018)

Nota técnica

El área corporal en bovino de engorde está más correlacionada con la longitud corporal que con el peso corporal

P.M. Parés-Casanova*

Departament de Ciència Animal, ETSEA, Universitat de Lleida. Av. Rovira Roure, 191, 25198 Lleida (Cataluña), España

Resumen

En el cuero extraído de 45 terneros de engorde (19 machos y 26 hembras) de diversas razas de aptitud cárnica, en matadero, se estableció por fotogrametría el área, que se interpretó como área corporal ("Body Surface Area", BSA). Los valores de la BSA obtenidos oscilaron de 2,55 a 8,12 m^2 (CV = 38,5%), presentando un coeficiente de correlación mucho mayor con la longitud corporal (r_s = 0,736) que con el peso corporal (r_s = 0,415), éste estimado a partir del peso canal caliente. Se estableció la fórmula de estimación simple BSA (cm^2) = (longitud corporal en cm)^2, que presentó una correlación altamente significativa con el área real (r = 0,913, p<0,0001). Aunque la BSA calculada mediante la fórmula aquí propuesta está subestimada, puesto que la piel de las partes distales y de la cabeza no fueron contempladas, al quedar excluidas del desollado, y además, no es seguro poder aplicar con la misma confianza esta fórmula más allá del tramo etario estudiado (295-396 días), se demuestra que, al menos en el tramo del engorde, es la longitud corporal y no el peso corporal la variable que estima mejor la BSA, siendo la primera variable más fácilmente medible en condiciones de campo por los métodos zoométricos habituales que el peso.

Palabras clave: Alometría, "Bruna dels Pirineus", BSA, cuero.

Abstract

Body surface area in fattening cattle is more correlated to body length than to body weight

Forty-five fattening cattle (19 males and 26 females) have been studied. Skin area was established by photogrammetry techniques, and it was interpreted as a body surface area (BSA). Body weight was estimated from the hot carcass weight. BSA values obtained ranged from 2.55 to 8.12 m^2 (CV = 38.5%) and they presented a higher significant correlation to body length (r_s = 0.736) than to body weight (r_s = 0.415). It was stablished the simple equation BSA (cm^2) = (body length in cm)^2, which showed a highly significant correlation with the actual area (r = 0.913, p<0.0001). The estimated BSA by the formula proposed here underestimates the real area, since neither the skin of the distal parts and head were included in the skinning. Moreover it must not be applied to animals out of the age range considered (295-396 days). In any way body length is much easier and safer to obtain in the field by the usual zoometric methods than weight.

Keywords: Allometry, "Bruna dels Pirineus", BSA, leather.

* Autor para correspondencia: peremiquelp@ca.udl.cat

https://doi.org/10.12706/itea.2018.009

Introducción

El cálculo del área corporal ("Body Surface Area", BSA) es necesario para estudios de adaptación climática (Daniell *et al.*, 2012; Kasabova y Holliday, 2015), farmacológicos (Daniell *et al.*, 2012; Jones *et al.*, 2015; Itoh *et al.*, 2016), metabólicos (Elting, 1926; Berman, 2003; Daniell *et al.*, 2012), de nutrición (Hogan y Skouby, 1923), para la evaluación de quemaduras (Daniell *et al.*, 2012), en veterinaria forense (Henríquez *et al.*, 2013), etc.

El cálculo de la BSA en seres humanos se remonta al siglo XVIII, cuando Abernathy en 1793 midió directamente la superficie de la cabeza, mano y pie con papel de forma triangular (Daniell *et al.*, 2012). La primera ecuación desarrollada para estimar la BSA fue la de Meeh en 1879 (Hogan y Skouby, 1923; Daniell *et al.*, 2012), que incluía el peso vivo, PV, como predictor, y que estaba basada en la proposición euclidiana de que para cuerpos de similar forma, el área de la superficie es proporcional a dos tercios de su volumen (Elting, 1926; Berman, 2003). En la estimación de Meeh, BSA (cm^2) = $K \times (PV \text{ en kg})^{2/3}$, donde *K* es una constante de la forma, cuyo valor difiere entre especies (Jones *et al.*, 2015). Así, la BSA en perros se ha establecido como $BSA = 10{,}1 \times PV^{2/3}$, y para gatos $BSA = 10 \times PV^{2/3}$ (Aiello *et al.*, 2016). La fórmula de Meeh llega a presentar variaciones extremas del 7% en el caso de su uso en humanos (Hogan y Skouby, 1923). Trowbridge, Moulton, y Haigh establecieron en 1915, para ganado vacuno, una constante *K* de 7,319 a 10,74, dependiendo de la edad y el grado de gordura de los animales (citado en Elting (1926)). En la práctica, esta utilización genérica de estimadores de BSA puede producir estimaciones inexactas para las diferentes especies.

Existen otras fórmulas de estimación diferentes a las de Meeh, como las de Mitchell en 1928 [$0{,}09 \times PV^{0{,}69}$], Brody en 1945 [$0{,}14 \times PV^{0{,}57}$] y Johnson *et al.* en 1961 [$0{,}235 \times PV^{0{,}49}$] (todos citados en Berman (2003)). La fórmula de Moulton para bovino de engorde es $0{,}158 \times PV^{5/8}$, y para otras especies es $0{,}1186 \times PV^{5/9}$ (Elting, 1926). Otras fórmulas de otros autores incorporan otras variables. Por ejemplo, la ecuación de Hogan y Skouby (1923), para vacuno, incluye la longitud corporal (Elting, 1926): $BSA = PV^{0{,}4} \times (\text{longitud corporal})^{0{,}6} \times 217$.

El objetivo de esta investigación fue establecer si es el peso corporal o la longitud corporal, o la combinación de ambas, las variables que se correlacionan mejor con la BSA, en el caso de los bovinos de engorde.

Material y métodos

Se trabajó con una muestra de 45 bovinos (19 machos y 26 hembras) de diversas razas de aptitud cárnica –básicamente "Bruna dels Pirineus" y sus cruzados–. Los animales, de una edad comprendida entre los 205 y los 396 días, fueron sacrificados en un matadero frigorífico. Después del desollado, se extendió la piel y se obtuvo una fotografía de toda ella, en la que se incluyó un patrón lineal. Posteriormente, a partir de esta imagen se obtuvo el área corporal y la longitud corporal (distancia medida desde la base de la cola a la cruz) utilizando para ello el paquete informático Digimizer versión 4.6.1 (disponible en *www.digimizer.com*). Debe destacarse que estos cueros no incluían ni las partes correspondientes a la cabeza ni la cola, ni las partes distales de las extremidades (la sección se hacía a nivel de articulaciones carpo-metacarpiana y tarso-metatarsiana). La piel prepucial y de la ubre sí que se consideraron, puesto que no se separaban del resto de cuero.

Se anotaron el sexo, raza y edad de cada animal a partir de los datos del Documento de Identificación Bovino, así como el peso canal caliente (± 0,1 kg). El peso vivo se estimó a partir de considerar el rendimiento en un 52,5%

(el rendimiento oscila de un 50 a un 55% en el vacuno pesado español) (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2008). Aunque el peso vivo real se estima a partir de un rendimiento teórico (Mckiernan *et al.*, 2007), y posiblemente diferente en diferentes tramos de edad, no se considera una fuente de error puesto que únicamente de lo que se trataba era detectar si existía correlación con el peso, fuese vivo, corporal o en canal.

Se recurrió al paquete estadístico PAST versión 2.17c (Hammer *et al.*, 2001) para el tratamiento de los datos. Se utilizó el test de Shapiro-Wilk para el análisis de normalidades. Puesto que la distribución de los datos no presentó normalidad ($p<0.05$) se recurrió al uso de tests no paramétricos. Se hizo también necesaria la transformación logarítmica (base 10) de los datos a fin de obtener una mejor estimación de la BSA en el modelo de regresión. Se estableció en el 5% el nivel de confianza.

Los modelos matemáticos son ecuaciones que, entre otras cosas, permiten construir curvas continuas de una variable biológica en función de otra. Las relaciones entre el incremento de una dimensión en función del tiempo, pueden entonces pasar a expresarse mediante curvas generales de crecimiento (Reiss, 1989), que tienen forma sigmoidea, en la que se distinguen una fase de aceleración –caracterizada porque la velocidad de crecimiento es muy rápida y positiva, llegando al máximo en el punto de inflexión de la curva–, una fase de desaceleración –en la que a partir del punto de inflexión la tasa de crecimiento empezará a disminuir–, y una fase lineal final –en la que el animal deja de crecer o el crecimiento puede ser considerado como una mera reposición de tejidos– (Parés-Casanova *et al.*, 2015). Por ello, finalmente, se estudió la relación de la longitud corporal con la BSA mediante uno de estos modelos, concretamente el de von Bertalanffy (Parés-Casanova *et al.*, 2015).

Puesto que los animales se sacrificaron con fines comerciales para su carnización, y por motivos totalmente ajenos al objetivo de esta investigación, no se consideró necesaria la obtención de autorización ética para esta investigación.

Resultados

Los valores reales de la BSA obtenidos oscilaron de 2,55 a 8,12 m^2 (CV = 38,5%). En la Tabla 1 se exponen los coeficientes r_s de Spearman obtenidos. Como puede observarse, el coeficiente de correlación r_s fue mucho mayor cuando se consideró la longitud corporal como variable independiente (r_s = 0,736) que cuando se consideró el peso corporal (r_s = 0,415). Los coeficientes de determinación R^2 pasaron de 0,894 y 0,040, para la longitud corporal y el peso corporal, respectivamente por separado, a un 0,889 al utilizar ambas variables. No aportó más ajuste para la estimación de la BSA, pues, incorporar el peso.

Utilizando únicamente la longitud corporal, a partir de la fórmula $y = 10^b x^a$ se pudo establecer la ecuación de estimación: BSA (m^2) = $10^{-4,430}$ × (longitud corporal en m)^{2,143}, que en un formato de más fácil memorización, si se transforman las unidades (de m^2 a cm^2), podría quedar en la ecuación simple BSA (cm^2) = (longitud corporal en cm)^2. En la primera ecuación, al tener el exponente *a* mayor al esperado según la isometría, consideramos la BSA con una hiperalometría positiva respecto de la longitud corporal, es decir, hay un crecimiento desproporcionadamente alto del área del cuerpo respecto del tamaño (entendido como longitud corporal) (Howland *et al.*, 2004; McGregor, 2016), lo que explica ese rango tan elevado en los valores reales de la BSA obtenidos. En la Figura 1 aparece la recta de regresión entre la superficie corporal (BSA, expresada en cm^2) y la superficie estimada a partir de la fórmula BSA =

Tabla 1. Coeficientes r_s de Spearman obtenidos (n = 45). Los coeficientes estadísticamente significativos (diagonal inferior) aparecen en negrita. Valores *p* en la diagonal superior. BSA = "Body Surface Area".
Table 1. Obtained Spearman's coefficients r_s (n = 45). Statistically significant coefficients (lower diagonal) are shown in bold. p values appear on the upper diagonal values. BSA = "Body Surface Area".

	Edad	Peso corporal	Longitud corporal	BSA
Edad		0,320	0,846	0,927
Peso corporal	-0,151		0,038	0,004
Longitud corporal	-0,029	**0,310**		0,000
BSA	-0,013	**0,415**	**0,736**	

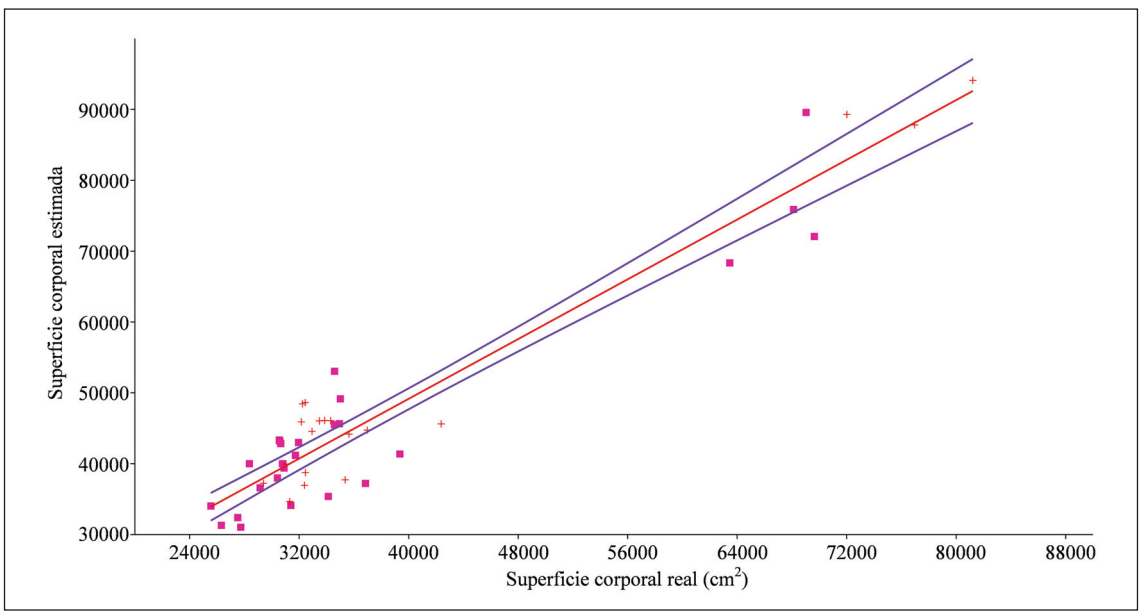


Figura 1. Recta de regresión y límites de confianza de 95% entre la superficie corporal real (BSA, expresada en cm^2) y la superficie estimada a partir de la fórmula BSA = (longitud corporal)^2. Las cruces indican machos (n = 19) y los cuadrados rellenos, hembras (n = 26). Esta regresión presentó una correlación altamente significativa (r = 0,913, p<0,0001).
Figure 1. Regression line and 95% confidence limits between the real body surface area (BSA, expressed in cm^2) and the area estimated from the formula BSA = (body length)^2. Crosses indicate males (n = 19) and filled squares indicate females (n = 26). It showed a highly significative correlation (r = 0.913, p<0.0001).

(longitud corporal)^2, que presentó una correlación altamente significativa con la BSA (r = 0,913, p<0,0001). El error promedio es del 10,9%, con valores extremos de 0,5 a 21,0%.

En la Figura 2 aparece la relación de la longitud corporal con la BSA mediante un modelo de von Bertalanffy, que corrobora esta ausencia de crecimiento isométrico de la BSA.

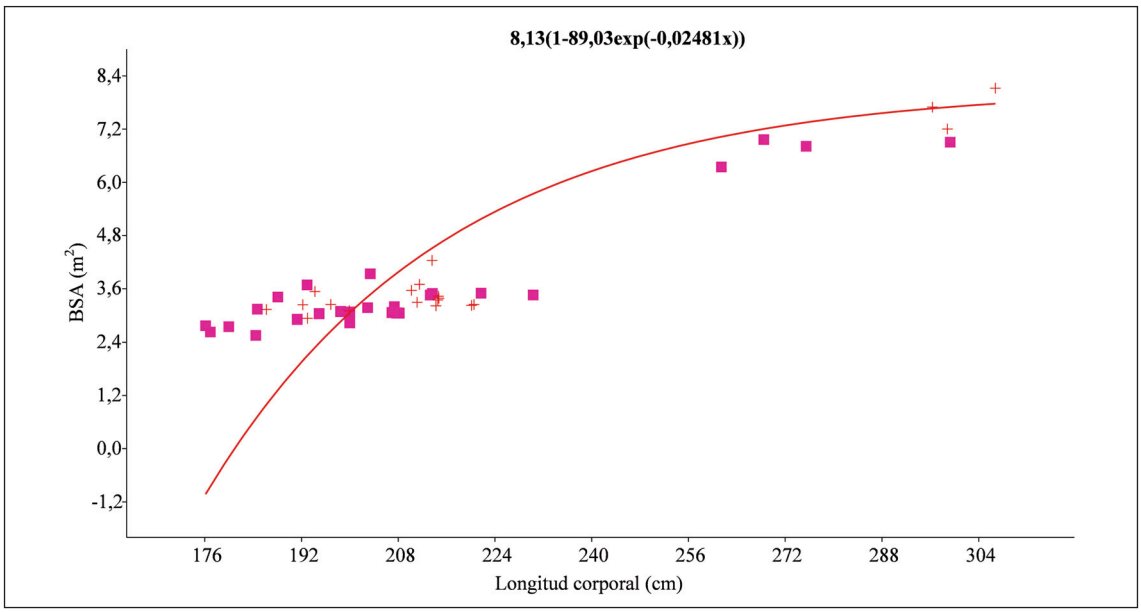


Figura 2. Relación de la longitud corporal con la BSA ("Body Surface Area") mediante el modelo de von Bertalanffy. Las cruces indican machos (n = 19) y los cuadrados rellenos, hembras (n = 26).
Figure 2. Relationship of body length with BSA ("Body Surface Area") using the von Bertalanffy's model. Crosses indicate males (n = 19) and filled squares indicate females (n = 26).

Discusión

Tradicionalmente, la BSA ha sido evaluada midiendo físicamente la superficie (por ejemplo, a partir de muestras de piel, por triangulación, usando un rodillo, utilizando moldes sobre cadáver…) (Elting, 1926; Jones *et al.*, 2015; Kasabova y Holliday, 2015; Itoh *et al.*, 2016). Más recientemente, se ha recurrido a la tomografía computerizada, que permite establecer la BSA de manera no invasiva (Jones *et al.*, 2015). Nuestro método está basado en la obtención directa por fotogrametría –y por tanto se espera que muy ajustado a lo real– (Gaudioso *et al.*, 2014). Y a partir de ello, se aprecia que es la longitud corporal y no el peso corporal la variable que estima mejor la BSA. El comportamiento no isométrico de la BSA, por otro lado, ya ha sido descrito para otras especies, como el caprino (Salehi *et al.*, 2013; McGregor, 2016), y esta falta de isometría restringe el uso de fórmulas genéricas para un tramo de edad fuera del estudiado (205-396 días).

A parte de ser un mejor estimador, la longitud corporal es una variable mucho más segura de obtener en vivo que el peso vivo –que puede estimarse por zoometría lineal, normalmente a partir del perímetro torácico (Aparicio, 1960; MacDonald *et al.*, 2008) (lo

que añade el error de "estimar a partir de una estimación"), pero es difícil e insegura, e incluso peligrosa tanto para el observador como para el animal (McGregor, 2016)–. A ello se añade que el peso depende de la raza, edad, tipo, tamaño, condición y nivel de engorde de los animales (Ozkaya y Bozkurt, 2009), por lo que su estimación puede estar sujeta a mucha variabilidad (MacDonald *et al.*, 2008; Ozkaya y Bozkurt, 2009). Aunque en este trabajo el peso vivo se estimó a partir del rendimiento en canal, ello puede presumirse más ajustado a la realidad que haberlo hecho por métodos zoométricos, puesto que al fin y al cabo el peso caliente de la canal representa un peso corporal individual (Mckiernan *et al.*, 2007).

La fórmula aquí propuesta podría de todos modos adolecer una falta, que sería la subestimación, puesto que la piel de las partes distales y de la cabeza no se consideraron para esta investigación. Una limitación, inherente a la regresión, es que no puede afirmarse que más allá del tramo estudiado tenga validez (hemos visto que la BSA no es isométrica respecto de la longitud corporal). Otros estudios (McDowell *et al.*, 2016), indican que no existe correlación alguna entre la BSA y la longitud corporal, aunque debe tenerse en cuenta que estos autores trabajaron con vacuno adulto (Jersey F1 Sindhi-Jersey), y que se debería calcular la superficie de corporal que representan las extremidades y la cabeza para ajustar la fórmula y comprobar el grado de fiabilidad total de la fórmula presentada.

Conclusiones

Se puede establecer la fórmula de estimación simple BSA (cm^2) = (longitud corporal en cm)^2, que presenta una correlación altamente significativa con el área real (r = 0,913, p<0,0001), aunque debe tenerse en cuenta que esta fórmula está subestimada, al no contemplar ni la piel de las partes distales ni de la cabeza, y que es únicamente aplicable en el tramo biométrico estudiado. De todos modos, la conclusión más importante de la presente investigación, pues, no sería la fórmula de estimación *per se*, sino más bien el haber corroborado que al menos en el tramo del engorde en bovino, es la longitud corporal y no el peso corporal la variable que se correlaciona mejor la BSA.

Agradecimientos

El autor agradece las facilidades ofrecidas por el matadero MAFRISEU SA, de la Seu d'Urgell (Lleida, Cataluña), así como de su veterinario responsable, sr. Miquel Àngel Albertón.

Bibliografía

Aiello SE, Moses MA, Allen DG (2016). The Merck Veterinary Manual, 10th ed. Kenilworth, NJ : Merck & Co., Inc, 3325 pp.

Aparicio G (1960). Zootecnia Especial. Etnología Compendiada, 4th ed. Imprenta Moderna, Córdoba. 478 pp.

Berman A (2003). Effects of Body Surface Area Estimates on Predicted Energy Requirements and Heat Stress. Journal of Dairy Science 86: 3605-3610. doi:http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73966-6

Daniell N, Olds T, Tomkinson G (2012). Technical note: Criterion validity of whole body surface area equations: A comparison using 3D laser scanning. American Journal of Physical Anthropology 148: 148-155. doi:10.1002/ajpa.22051

Elting EC (1926). A formula for estimating surface area of dairy cattle. Journal of Agricultural Research 33: 269-280.

Gaudioso V, Sanz-Ablanedo E, Lomillos JM, Alonso ME, Javares-Morillo L, Rodríguez P (2014). 'Photozoometer': A new photogrammetric system

for obtaining morphometric measurements of elusive animals. Livestock Science 165: 147-156. doi:10.1016/j.livsci.2014.03.028

Hammer Ø, Harper DAT, Ryan PD (2001). PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis.v. 2.17c. Palaeontología Electrónica 4: 1-229.

Henríquez AL, Landaeta-Aqueveque C, Larenas J (2013). Cinética del algor mortis. Primeros pasos para estimar data de muerte en animales. Archivos de medicina veterinaria 45: 77-81. doi: 10.4067/S0301-732X2013000100013

Hogan AG, Skouby CI (1923). Determination of the surface area of cattle and swine. Journal of agricultural research 25: 419-432.

Howland HC, Merola S, Basarab JR (2004). The allometry and scaling of the size of vertebrate eyes. Vision Research 44: 2043-2065. doi:10. 1016/j.visres.2004.03.023

Itoh T, Kawabe M, Nagase T, Endo K, Miyoshi M, Miyahara K (2016). Body surface area measurement in laboratory miniature pigs using a computed tomography scanner. The Journal of toxicological sciences 41: 637-644. doi: https://doi.org/10.2131/jts.41.637

Jones KL, Abbigail Granger L, Kearney MT, F. da Cunha A, Cutler DC, Shapiro ME, Tully, TN, Shiomitsu K (2015). Evaluation of a ferret-specific formula for determining body surface area to improve chemotherapeutic dosing. American Journal of Veterinary Research 76: 142-148.

Kasabova BE, Holliday TW (2015). New model for estimating the relationship between surface area and volume in the human body using skeletal remains. American Journal of Physical Anthropology 156: 614-624. doi:10.1002/ajpa.22678

MacDonald T, Windsor P, Rast L, Bush R (2008). Using Girth Measurements To Estimate the Live Weight of Cattle. Camden,New South Wales.

McDowell RE, Lee DHK, McMullan HW, Fohrman MH, Swett WW (2016). Body Weights, Body Measurements, and Surface Area of Jersey and Sindhi-Jersey (F1) Crossbred Females. Journal of Dairy Science. 37: 1420-1428. doi:10.3168/jds. S0022-0302(54)91427-7

McGregor BA (2016). Allometric relationships determined for skin area and fleece production of Angora goats. Small Ruminant Research 145: 28-32. doi:10.1016/j.smallrumres.2016.10.018

Mckiernan B, Gaden B, Sundstrom B (2007). Dressing percentages for cattle. Prime Facts 340: 7-9.

Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino (2008). La clasificación de canales de vacuno pesado. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Madrid. 55 pp.

Ozkaya S, Bozkurt Y (2009). The accuracy of prediction of body weight from body measurements in beef cattle. Arch. für Tierzucht 52: 371-377.

Parés-Casanova PM, Caballero M, Perezgrovas R (2015). Comparison of non-linear models for describing growth curves according to sex in ovine chiapas breed. Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú 26: 389-394 doi:10.15381/rivep.v26i3.11170

Reiss MJ (1989). The allometry of growth and reproduction.Ed. Cambridge University Press, Cambridge.182pp. doi: https://doi.org/10.1017/CBO9780511608483

Salehi M, Kadim I, Mahgoub O, Negahdari S, Naeeni RSE (2013). Effects of type, sex and age on goat skin and leather characteristics. Animal Production Science 54: 638-644.

(Aceptado para publicación el 20 de febrero de 2018)

Ayuda a las decisiones de apareamiento en poblaciones animales con información genealógica incompleta

L. Alfonso*

Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, IS-FOOD Research Institute, Universidad Pública de Navarra, Campus Arrosadia, Pamplona, España

Resumen

Los coeficientes de parentesco y de relación media de parentesco son dos herramientas útiles para determinar apareamientos con el objetivo de controlar, de forma práctica, el aumento de la consanguinidad en poblaciones animales. No obstante, su utilidad se ve condicionada por la cantidad de información genealógica disponible, pues ésta determina, en ausencia de información genómica, la precisión con que podemos estimarlos. Cuando la información genealógica sea incompleta, afectando de forma distinta a los animales, la precisión de las estimaciones de los coeficientes variará entre animales, comprometiendo el resultado de las decisiones de apareamiento. El objetivo del trabajo es calcular algunas medidas de la fiabilidad de la estimación de los coeficientes de parentesco y de relación media de parentesco. Se plantea la utilización de dos medidas basadas en la proporción de antecesores conocidos en las cinco generaciones anteriores de un animal y en la incorporación de información conocida, pero no contenida en la genealogía, a través del concepto de grupos genéticos. Los resultados muestran que estas medidas pueden ayudar a mejorar las decisiones de elección de reproductores y de acoplamiento.

Palabras clave: Parentesco, consanguinidad, fiabilidad, genealogía, acoplamiento.

Abstract
Mating decision support in animal populations with incomplete pedigree

The coefficients of coancestry and average relatedness are two useful tools to define in practice appropriate mating decisions aimed to control inbreeding rates. However, their utility is conditioned by the amount of genealogical information available, since, if genomic information is not employed, the accuracy of both coefficients depends on the genealogy completeness. In incomplete pedigrees with animals differentially affected by missing information, the accuracy will vary among them and this will affect mating decisions. The aim of this work is to compute some reliability measures of estimation of coancestry and average relatedness coefficients. Two measures are proposed based on the proportion of known ancestors of an animal in five generations, and the use of genetic group concept to integrate known genealogical information not included in pedigree. Results show how these measures can help to improve decisions on parents' selection and mating.

Keywords: Kinship, inbreeding, reliability, pedigree, mating.

* Autor para correspondencia: leo.alfonso@unavarra.es
https://doi.org/10.12706/itea.2018.010

Introducción

La gestión genética de poblaciones animales implica la toma de decisiones sobre la elección de los reproductores y los apareamientos a realizar entre ellos, tanto en pequeñas poblaciones con programas de conservación, como en explotaciones comerciales que participan en programas de mejora. Se debe establecer qué reproductores seleccionar de entre los disponibles y cómo aparearlos en base a criterios que, aunque varían según el programa de conservación/mejora, suelen incluir el evitar un aumento importante de la consanguinidad.

Para alcanzar ese objetivo las decisiones se han basado históricamente en el conocimiento de la información genealógica de los animales. En la actualidad es posible utilizar información molecular (Toro *et al.*, 2011), pero la realidad es que en muchas poblaciones no es posible usarla dado su contexto socio-económico, y no es difícil imaginar que para muchos siga siendo así durante las próximas décadas, p. ej. Montes *et al*. (2008). Por ello, cabe esperar que la información genealógica siga siendo importante para el diseño de apareamientos en muchas poblaciones animales.

Existen numerosos y buenos programas de análisis de información genealógica, p. ej. Gutiérrez y Goyache (2005) pero en cualquier caso, la utilidad de la información extraída depende de la cantidad y calidad de la información genealógica disponible. Incluso asumiendo una elevada calidad de la información genealógica y una exhaustiva depuración de errores, las recomendaciones a elevar en el diseño de apareamientos estarán muy condicionadas por la profundidad de la genealogía registrada, que en algunos casos es realmente escasa, por ejemplo en poblaciones calificadas en peligro de extinción como la Betizu o la Sasi-Ardi (Arca, 2017).

También existen distintos sistemas de apareamientos en programas de conservación, p. ej. Toro *et al*. (2008), así como programas de acoplamientos en programas de mejora, p. ej. Jiménez (2016), pero su implementación práctica no siempre es sencilla. En una situación ideal la metodología óptima para controlar el aumento de consanguinidad consiste en calcular las contribuciones genéticas de los reproductores disponibles que minimicen el aumento de consanguinidad en la siguiente generación (Woolliams *et al.,* 2015), contribuciones que vienen determinadas por el parecido genético entre los reproductores y el número de descendientes a dejar de cada uno de ellos. La metodología no sólo es útil en poblaciones de conservación, también lo es en poblaciones sujetas a selección si calculamos las contribuciones que maximicen la respuesta genética bajo la restricción de un determinado aumento de consanguinidad.

No obstante, en situaciones reales, no siempre es fácil aplicar la metodología de las contribuciones genéticas. Una primera razón es que si en el momento de realizar los apareamientos en las explotaciones algún reproductor no está disponible, o no se puede utilizar tal como se tenía previsto, la solución óptima varía debiéndose recalcular sin considerar aquellos reproductores no disponibles, lo que resta mucha operatividad. Una segunda razón es que para que realmente ofrezca soluciones óptimas debemos conocer la genealogía completa de los animales, y como se ha comentado no siempre es así, lo que obliga a hacer aproximaciones excluyendo de antemano reproductores con poca genealogía o definiendo grupos de padres desconocidos (Woolliams *et al.,* 2015; Wellmann, 2017).

Por ello, en situaciones reales, se puede considerar como una forma simple y operativa de mantener variabilidad genética y evitar consanguinidad el elegir como reproductores a aquellos animales que aseguren un mayor tamaño efectivo de población, y diseñar con ellos apareamientos de mínimo parentesco. Así, podemos utilizar el coeficiente de rela-

ción media de parentesco (AR_x) (Dunner *et al*., 1998) y el coeficiente de parentesco entre dos animales (f_{xy}), p. ej. Caballero (2017), para, respectivamente, escoger reproductores que garanticen la variabilidad genética y apareamientos que eviten que aumente mucho el coeficiente de consanguinidad de los animales de la siguiente generación (F_x), p. ej. Caballero (2017).

El procedimiento a seguir sería: 1º) escoger como reproductores aquellos animales con menor relación media de parentesco con el resto de reproductores disponibles (machos y hembras), y 2º) aparear las hembras con aquellos machos con los que tengan menor coeficiente de parentesco (intentando a falta de otros criterios mantener equilibrado el número de hembras por macho). El procedimiento sin ser ideal, puede resultar operativo, pero al igual que la metodología de las contribuciones genéticas, asume que conocemos toda la genealogía. Así, cuando la información genealógica disponible no sea completa, calcular únicamente AR_x y f_{xy} será también de escasa utilidad.

Ante la ausencia de información genealógica completa existen propuestas para aproximar la consanguinidad, tanto en poblaciones naturales (Miller *et al*., 2017) como domésticas bajo selección (VanRaden, 1992; Cassell *et al*., 2003; Colleau y Sargolzaei, 2011), pero no propuestas que contemplen directamente la elección de reproductores y sus apareamientos. Conocer el grado de certidumbre con que podemos estimar AR_x y f_{xy} con la información disponible en la genealogía ayudaría a la toma de esas decisiones.

El objetivo de este trabajo es por tanto considerar alguna medida sencilla de la capacidad informativa de las estimaciones de AR_x y f_{xy} para ser utilizada en la toma de decisiones de los apareamientos a recomendar en la gestión práctica de poblaciones en base a información genealógica incompleta, en aquellos casos en que no sea posible utilizar masivamente información molecular.

Material y métodos

Medidas de fiabilidad de criterios de decisión de apareamientos

Se consideraron como criterios de elección de reproductores y de diseño de apareamientos (con el objetivo de controlar el aumento medio del Coeficiente de consanguinidad (F_x) de los animales de la siguiente generación), el Coeficiente de relación media de parentesco (AR_x) y el Coeficiente de parentesco entre dos animales (f_{xy}):

- AR_x, definido como el doble de la probabilidad de que un alelo del animal x sea igual por descendencia a otro de la población, se calculó como:

$$AR_x = \sum_{y=1}^{n} a_{xy} \Big/ n$$

- f_{xy}, que coincide con el Coeficiente de consanguinidad de los descendientes del apareamiento de *x* e *y*, se calculó como:

$$f_{xy} = 0{,}5\ a_{xy}$$

donde a_{xy} es el coeficiente de relación genética aditiva entre dos animales (*x,y*) y *n* es el número total de animales en activo de la población (incluido el propio animal).

Como medidas de la capacidad informativa, llamémosle fiabilidad, de las estimaciones de AR_x, y f_{xy} para ayudar en la toma de decisiones, se calcularon los siguientes parámetros:

- La fiabilidad del AR_x estimado, se calculó a partir de la proporción de antecesores conocidos en las cinco generaciones anteriores de un animal (*%PC*) calculado mediante la expresión (Cole, 2012):

$$\%PC = \frac{n}{\sum_{i=1}^{g} 2^i} \qquad [1]$$

donde:

g = número de generaciones (se consideraron 5, Figura 1)

n = número de ancestros conocidos

$\sum_{i=1}^{g} 2^i$ representa el número real de ancestros en g generaciones (62 para g = 5).

Así, para un par de animales x e y, se definió $\%PC5_{xy}$ como:

$$\%PC5_{xy} = \frac{(\%PC5_x * 62 + \%PC5_y * 62) + 2}{126} \quad [2]$$

Y se calculó la fiabilidad de AR_x para un animal x como:

$$Fiabilidad(AR_x) = \%PC5 = \frac{\sum_{j=1}^{m} \%PC5_{xj}}{m} \quad [3]$$

donde m es el número de reproductores en activo de la población (machos y hembras disponibles excluidos los animales de recría).

Esa fiabilidad se puede entender como la media de la proporción de antecesores conocidos en las seis generaciones anteriores de todos los posibles descendientes de un animal si se apareara con todos los reproductores de la población (independientemente del sexo e incluido él mismo); AR_x se podría calcular a través del coeficiente de consanguinidad de todos los hipotéticos descendientes de x.

La fiabilidad del f_{xy} estimado, se aproximó teniendo en cuenta $\%PC5_{xy}$, y la Diferencia máxima de parentesco (*DMP*), calculada siguiendo la idea de los grupos genéticos o padres fantasmas llevada al cálculo de los coeficientes de consanguinidad por ejemplo por VanRaden (1992). En concreto, *DMP* se calculó como la diferencia entre el valor de f_{xy} estimado con la genealogía disponible ($f_{xy\ Est}$), y el valor de f_{xy} estimado asignando un único antecesor "fantasma" (padre y madre a la vez) a padres y madres desconocidos pero que no son ni animales base, ni animales procedentes de otras poblaciones ($f_{xy\ Max}$):

$$DMP_{xy} = 1 - (f_{xy\,Max} - f_{xy\,Est}) \quad [4]$$

Ese valor se utilizó para ponderar el valor de $\%PC5_{xy}$ y así derivar la fiabilidad (*FP5*):

$$Fiabilidad\ (f_{xy}) = FP5 = DMP_{xy} * \%PC5_{xy} \quad [5]$$

Esta aproximación permite diferenciar, de entre los animales con genealogía desconocida, a los que es posible que estén emparentados, de aquellos que sepamos que realmente no están emparentados. Así se puede diferenciar entre animales sin padre ni madre registrados de los animales de la población base, o de animales importados de otras poblaciones sin información genealógica. En este último caso por ejemplo, si sabemos que un macho importado no está emparentado, cercanamente, con ninguna hembra de la población, podremos atribuirle una fiabilidad mayor al valor f_{xy} = 0 que estimaremos, que al mismo valor estimado para un macho de la población sin padres registrados, pero probablemente emparentado.

Aunque el coeficiente de consanguinidad (F_x) no es la herramienta más útil en el diseño de apareamientos, también se consideró como medida de la consanguinidad realizada. Así, definiendo F_x como la probabilidad de que en un animal los dos alelos de un gen sean idénticos por descendencia, se calculó como $F_x = a_{xx} - 1$, donde a_{xx} es el coeficiente de relación genética aditiva entre el animal consigo mismo. Como medida de fiabilidad de los valores estimados de F_x de los animales de la generación resultante, se consideró el Índice de compleción de la genealogía en las últimas cinco generaciones (*Ipec5*), propuesto por MacCluer *et al*. (1983), que se calculó como la media armónica de los índices de compleción de la genealogía vía padre y vía madre:

$$Fiabilidad(F_x) = Ipec5 = \frac{2C_{padre}C_{madre}}{C_{padre} + C_{madre}} \quad [6]$$

donde C es:

$$C = \frac{1}{g}\sum_{i=1}^{g} p_i$$

siendo:

g = número de generaciones (se consideraron 5)

p_i = proporción de ancestros conocidos en la generación i

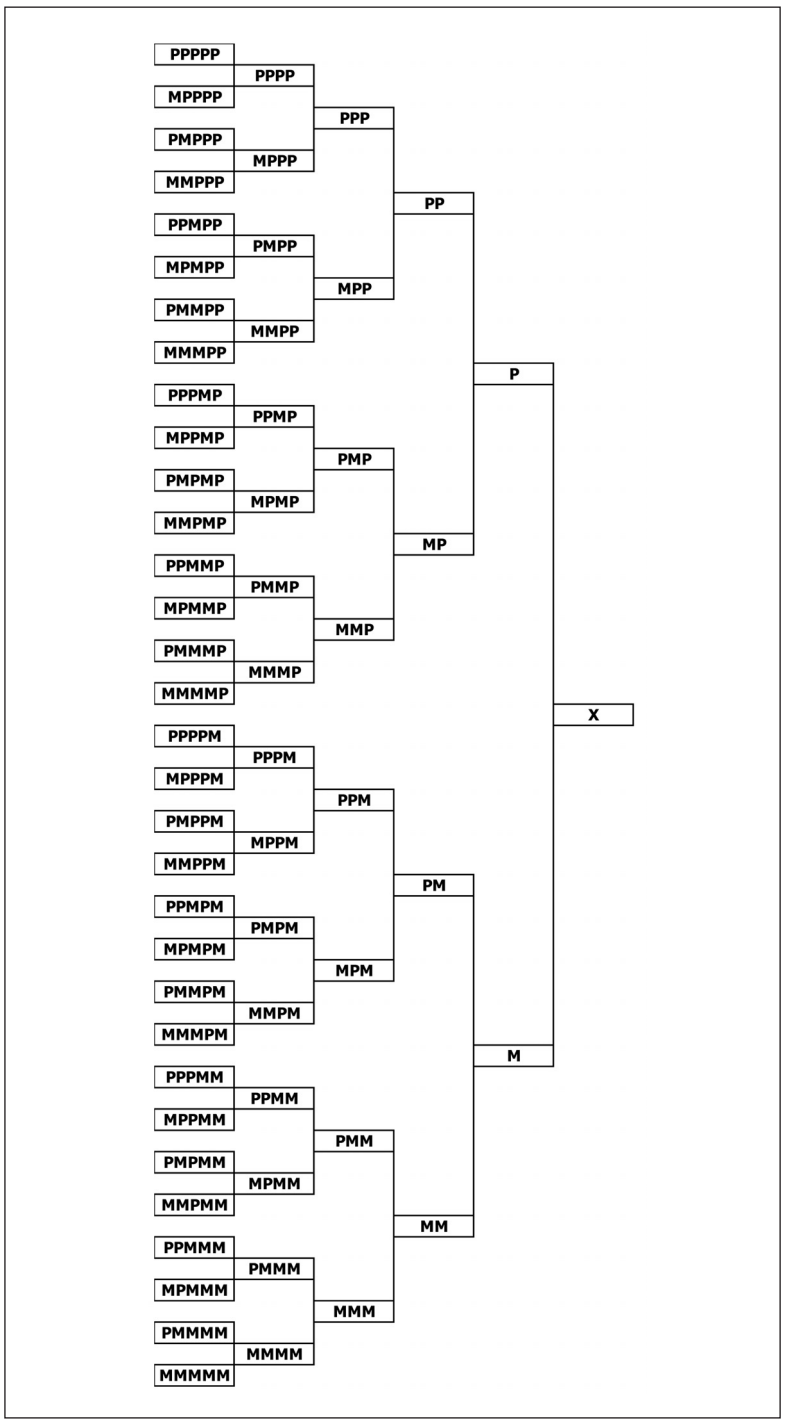


Figura 1. Abreviaciones identificativas de los distintos antecesores de un animal (X) en una genealogía de cinco generaciones.
Figure 1. Abbreviations identifying the ancestors of an animal (X) in a five-generations pedigree.

Este índice *Ipec5*, llamado a veces índice de acabado o de integridad, ya se incorpora en algunas herramientas de cálculo del coeficiente de consanguinidad individual en algunos programas de mejora (p. ej. en el del Caballo de Pura Raza Española).

Cabe resaltar las diferencias existentes entre las medidas de fiabilidad propuestas para AR_x y f_{xy}, y con respecto a *Ipec5*. Por una parte, *%PC*, representa la proporción de antecesores conocidos en las cinco generaciones anteriores de un animal, mientras que *Ipec5*, representa la capacidad de calcular el coeficiente de consanguinidad de un animal en base a la información genealógica conocida (VanRaden, 2005). Ambos varían entre 0 y 1, pero mientras el primero es 0,5 (ecuación [1]) cuando se desconoce un padre, el segundo es 0 (ecuación [6]). Por otra parte, mientras *%PC5* e *Ipec5* tratan por igual a todos los animales con información ausente, *FP5* permite diferenciar entre animales sin genealogía que sabemos que en realidad no están emparentados, y animales sin genealogía que sabemos que pueden estar emparentados. Es algo habitual en muchas poblaciones; sería por ejemplo el caso de importar un macho de otra población. Sabemos que no está emparentado, cercanamente, con ningún animal de la población original, pero los índices *%PC5* e *Ipec5* no lo van a tener en cuenta. El índice *FP5* sí lo tiene en cuenta penalizando a los animales con padre/madre desconocidos que son originarios de la población pero no así a los inmigrantes (que sepamos que no están emparentados). Por ello la fiabilidad calculada del coeficiente de parentesco entre dos animales será menor que la correspondiente fiabilidad del coeficiente de consanguinidad de sus descendientes si la genealogía es incompleta.

Todos los cálculos se realizaron utilizando el programa, de orientación docente, GGPob (http://www.unavarra.es/rmga/).

Ejemplo de utilización de las medidas de fiabilidad propuestas

Utilizando el programa MiPob (Alfonso, 2014) se simuló una población de vacuno de carne de muy pequeño tamaño durante diez generaciones. La población fundadora estaba formada por 5 machos y 50 hembras no emparentados. Cada generación se seleccionaron los 2 mejores machos y las mejores 50 hembras según su peso a la edad de 12 meses, solapando generaciones. Los animales se aparearon de la siguiente forma, las 25 hembras (vacas o novillas) que alcanzaron mayor peso a los 12 meses de vida se aparearon con el macho (toro o novillo) de mayor peso a la misma edad, y las siguientes mejores 25 hembras con el siguiente mejor macho. No se tuvo en cuenta ningún criterio de parentesco en el diseño de los apareamientos de modo que el coeficiente de consanguinidad medio aumentó relevantemente durante las 10 generaciones simuladas, alcanzando al final un valor de 0,17.

Tras las 10 generaciones de selección fenotípica la población estaba formada por 2 toros y 47 vacas en activo, así como 22 novillos y 25 novillas. Para simular un ejemplo de información genealógica incompleta, se eliminó la información de padres y/o madres de 4 machos y una hembra (Tabla 1). Posteriormente se tomaron las siguientes decisiones:

1. Escoger de entre todos los machos disponibles (24, toros y novillos,) los 5 machos con menor AR_x (por simplicidad para la presentación de resultados, no se consideró la selección de las hembras).
2. Escoger de entre esos 5 machos, el más adecuado (menor f_{xy}) para aparear la hembra sin información genealógica completa (nº 563, Tabla 1).

Finalmente para ver la utilidad de las medidas de fiabilidad propuestas se compararon las decisiones tomadas bajo los siguientes supuestos:

Tabla 1. Información genealógica de la población simulada para realizar un ejemplo de toma de decisiones de elección de reproductores y diseño de apareamientos
Table 1. Pedigree information of the population simulated to make an example of decision making in the parents' selection and mating

Animal	Genealogía completa		Sexo	Genealogía incompleta	
	Padre	Madre		Padre	Madre
414	389	184	Macho	389	184
502	389	42	Macho	389	42
556	414	532	Macho	414	532
558	414	506	Macho	—	506
559	414	513	Macho	—	—
560	414	491	Macho	414	491
561	414	428	Macho	414	428
562	414	413	Macho	414	413
565	414	553	Macho	414	553
569	414	458	Macho	—	—
574	414	457	Macho	414	457
575	414	539	Macho	414	539
576	414	487	Macho	414	487
577	414	554	Macho	414	554
582	502	415	Macho	502	415
583	502	184	Macho	502	184
584	502	315	Macho	502	315
585	502	541	Macho	502	541
591	502	462	Macho	502	462
593	502	522	Macho	502	522
594	502	525	Macho	502	525
595	502	538	Macho	—	538
596	502	401	Macho	502	401
603	502	406	Macho	502	406
563	414	517	Hembra	—	517

1. Escenario ideal (de referencia): genealogía completa.
2. Escenario habitual (sin medidas de fiabilidad): genealogía incompleta con padres desconocidos.
3. Escenario con ayuda a la decisión (con medidas de fiabilidad): genealogía incompleta con padres desconocidos pero animales base identificados. Se consideró que *%PC5* debía de ser ≥ 0,5 (equivalente a no desconocer ninguno de los padres en una genealogía de más de 5 generaciones) y *FP5* ≥ 0,5 (equivalente a un valor *%PC5* ≥ 0,5 y un valor *DMP* = 1).

Resultados y discusión

Como se observa en la Tabla 2, si no se tiene en cuenta la fiabilidad con que se calculan los coeficientes AR_x para los machos candidatos a ser seleccionados, se tiende a escoger erróneamente, como cabía esperar, a aquellos machos con genealogía incompleta (558, 559, 569, 584, 595). Sin embargo cuando se calcula el valor de *%PC5*, como medida de fiabilidad de AR_x, y se impone un valor mínimo de 0,5 para la decisión de elección, se ve que pese a carecer de cierta información genealógica se toma la misma decisión que disponiendo de toda la información. En este caso el resultado no es sorprendente pues podríamos haber descartado directamente a los animales sin padre conocido como candidatos a ser seleccionados, pero se comprueba que *%PC5* recoge esa información sin tener que consultar los árboles genealógicos, que por otra parte no son fáciles de contrastar cuando la información ausente es de generaciones previas.

En la Tabla 3 se recogen los valores de f_{xy} de la hembra 563 (se asumió que se desconocía su padre; Tabla 1), con los machos de la población, resaltando en negrita los valores con los machos que forman parte de la "cartera" de cinco machos previamente seleccionados. El macho más recomendable para aparear con la hembra 563 cuando conocemos toda la información genealógica es el 584 por tener el mínimo f_{xy}. Por contra, cuando carecemos de la información genealógica completa, el macho recomendable pasa a ser el 559 o 569 (f_{xy} = 0), machos con los que en realidad tiene un f_{xy} de 0,433 y 0,408, respectivamente. Si calculamos y tenemos en cuenta *FP5* como medida de fiabilidad con que estimamos f_{xy} el macho elegido es el mismo que bajo el escenario de genealogía completa, aunque evidentemente se infraestime el parentesco entre ambos animales. Como se indicaba anteriormente, el resultado era bastante esperable y habríamos llegado a la misma decisión consultando la genealogía de los animales. Pero se pone de manifiesto que los índices *%PC5* y *FP5* pueden sintetizar la información genealógica faltante, ayudando a la toma de decisiones en el diseño práctico de apareamientos.

Un aspecto clave a tener en cuenta es qué valores umbral de *%PC5* y *FP5* se deberían de tener en cuenta a la hora de decidir. La primera consideración a hacer es que estas medidas de fiabilidad deben entenderse como una ayuda a la decisión, al igual que lo es la precisión de los valores genéticos/genómicos predichos en las evaluaciones genéticas; en algunos casos no tiene interés tenerlos en cuenta, pero en otros sí deben ser considerados. La segunda es que los valores sobre los que tomar decisiones no tienen por qué ser siempre los mismos, teniéndose que adaptar a la especie, el sistema de producción y la cantidad de información genealógica disponible.

Como ejemplo, en la Tabla 4 se recogen los valores de *%PC5* y *FP5* esperados bajo algunos casos de genealogía incompleta siguiendo la genealogía de cinco generaciones de la Figura 1. En el caso de *%PC5* (Tabla 4a) se puede observar que si queremos seleccionar como macho reproductor a un animal con al

Tabla 2. Coeficientes AR_x estimados para los machos, de la población simulada, bajo los tres escenarios considerados: Ideal (de referencia, genealogía completa); Sin fiabilidad (habitual, genealogía incompleta sin medida de fiabilidad); Con fiabilidad (propuesto, genealogía incompleta con medidas de fiabilidad). Se indican sombreados los valores correspondientes a los machos que se escogerían como reproductores bajo los tres escenarios

Table 2. AR_x coefficients estimated for sires of simulated population under the three scenarios considered: Ideal (reference, complete pedigree); Without reliability (usual, incomplete pedigree without reliability measures); With reliability (proposed, incomplete pedigree with reliability measures). Values for sires chosen as reproductive under the three scenarios are displayed in shaded cells

Animal	Ideal	Sin fiabilidad	Con fiabilidad	%PC5
	AR_x	AR_x	AR_x	
414	0,507	0,479	0,466	0,460
502	0,380	0,366	0,359	0,396
556	0,449	0,427	0,417	0,650
558	0,447	0,188	0,183	0,468
559	0,471	0,010	0,010	0,269
560	0,376	0,358	0,349	0,571
561	0,402	0,383	0,374	0,635
562	0,418	0,398	0,389	0,650
565	0,443	0,421	0,411	0,650
569	0,468	0,010	0,010	0,269
574	0,433	0,412	0,401	0,666
575	0,434	0,414	0,404	0,650
576	0,383	0,365	0,356	0,587
577	0,363	0,346	0,338	0,539
582	0,355	0,343	0,337	0,587
583	0,364	0,348	0,341	0,460
584	0,293	0,283	0,279	0,508
585	0,328	0,316	0,310	0,508
591	0,334	0,320	0,313	0,523
593	0,374	0,359	0,352	0,603
594	0,374	0,359	0,352	0,603
595	0,376	0,183	0,180	0,468
596	0,299	0,289	0,284	0,539
603	0,349	0,337	0,331	0,587

Tabla 3. Coeficientes f_{xy} estimados entre la hembra 563 de la tabla 1 y los machos candidatos a aparearse bajo los tres escenarios considerados: Ideal (de referencia, genealogía completa); Sin fiabilidad (habitual, genealogía incompleta sin medida de fiabilidad); Con fiabilidad (propuesto, genealogía incompleta con medidas de fiabilidad). Se indican en negrita los machos previamente seleccionados de acuerdo a su valor AR_x, y sombreados los valores correspondientes al macho que se escogería para el apareamiento bajo los tres escenarios

Table 3. f_{xy} coefficients estimated for dam 563 in table 1 and sires candidates for mating under the three scenarios considered: Ideal (reference, complete pedigree); Without reliability (usual, incomplete pedigree without reliability measures); With reliability (proposed, incomplete pedigree with reliability measures). In bold, sires previously selected regarding their AR_x value, in shaded cells values corresponding to sires chosen for mating under the three scenarios

Animal	Ideal	Sin fiabilidad	Con fiabilidad	*FP*5
	f_{xy}	f_{xy}	f_{xy}	
414	0,486	0,213	0,213	0,452
502	0,162	0,072	0,072	0,389
556	0,355	0,157	0,157	0,643
558	0,398	**0,068**	0,068	0,403
559	0,433	**0**	0	0,196
560	0,311	0,137	0,137	0,563
561	0,326	0,145	0,145	0,627
562	0,329	0,147	0,147	0,643
565	0,359	0,158	0,158	0,643
569	0,408	**0**	0	0,196
574	0,424	0,211	0,211	0,659
575	0,332	0,150	0,150	0,643
576	0,314	0,138	0,138	0,579
577	0,284	0,125	0,125	0,532
582	0,167	0,077	0,077	0,579
583	0,241	0,106	0,106	0,452
584	**0,118**	**0,058**	**0,058**	**0,5**
585	**0,150**	0,067	**0,067**	**0,5**
591	**0,203**	0,089	**0,089**	**0,516**
593	0,221	0,100	0,100	0,595
594	0,221	0,100	0,100	0,595
595	0,167	**0,041**	0,041	0,403
596	**0,125**	0,059	**0,059**	**0,532**
603	**0,178**	0,088	**0,088**	**0,579**

Tabla 4. Valores de fiabilidad de *%PC5*, *FP5* e *Ipec5* cuando se desconocen algunos antecesores de un animal (X) en una genealogía de 5 generaciones (figura 1)
Table 4. %PC5, FP5 and Ipec5 reliability values when some ancestors of an animal (X) are unknown in a five-generations pedigree (figure 1)

4a. Valores del índice *%PC5* correspondientes a AR_x de X respecto a toda la genealogía
4a. Values for %PC5 index corresponding to AR_x of X with respect to the entire pedigree

Antecesor materno desconocido	Antecesor paterno desconocido					
	Ninguno	P	PP	PPP	PPPP	PPPPP
Ninguno	0,540	0,291	0,418	0,482	0,515	0,532
M		0,041	0,168	0,232	0,265	0,282
PM			0,295	0,359	0,392	0,409
PPM				0,424	0,457	0,474
PPPM					0,490	0,507
PPPPM						0,523

4b. Valores del índice *FP5* correspondientes a f_{xy} de X con otro animal Y con genealogía completa
4b. Values for FP5 index corresponding to f_{xy} of X with other animal Y with complete pedigree

Antecesor materno desconocido	Antecesor paterno desconocido					
	Ninguno	P	PP	PPP	PPPP	PPPPP
Ninguno	1	0,754	0,881	0,944	0,976	0,992
M		0,508	0,635	0,698	0,73	0,746
PM			0,762	0,825	0,857	0,873
PPM				0,889	0,921	0,937
PPPM					0,952	0,968
PPPPM						0,984

4c. Valores del índice *Ipec5* correspondientes a F_x de X
4c. Values for Ipec5 index corresponding to F_x of X

Antecesor materno desconocido	Antecesor paterno desconocido					
	Ninguno	P	PP	PPP	PPPP	PPPPP
Ninguno	1	0	0,75	0,919	0,974	0,994
M		0	0	0	0	0
PM			0,6	0,703	0,735	0,747
PPM				0,85	0,897	0,914
PPPM					0,95	0,968
PPPPM						0,988

menos todos los bisabuelos conocidos deberíamos tomar como umbral de fiabilidad *%PC5* ≥ 0,42. No obstante, ese valor corresponde al valor de AR_x calculado con todos los animales de su genealogía (Figura 1), y variará si variamos la población de respecto a la cual se calcule AR_x. Así por ejemplo, en poblaciones con escasa y reciente genealogía registrada como es el caso de la raza Betizu nos podemos encontrar con valores máximos de *%PC5* de 0,128 (datos no publicados).

Por ello, es difícil establecer valores de decisión para *%PC5*, aunque podemos pensar en escoger animales cuyo valor *%PC5* no se sitúe en el último cuartil de los animales disponibles. En el caso de la Tabla 2 evitaríamos de este modo (*%PC5* ≥ 0,468; 4º cuartil) elegir animales con algún padre desconocido (animales 558, 559, 569 y 595) y animales con genealogía poco profunda (animales 414, 502 y 583 hijos de animales de la 1ª y 2ª generación simulada).

Por suerte, para *FP5* es más sencillo establecer valores deseables de fiabilidad que sirvan de referencia. Por ejemplo, consideremos la regla de campo muchas veces recomendada de aparear animales que no tengan ningún abuelo en común y que persigue asegurar valores F_x en la descendencia menores de 0,03125 (regla que sin ser óptima resulta bastante operativa). Podemos ver en la Tabla 4b que para aplicarla basta con asegurar que adicionalmente a un $f_{xy} < 0{,}03125$, su fiabilidad, el valor de *FP5*, sea mayor de 0,88 (un abuelo desconocido). De igual modo se pueden derivar los valores para otras restricciones de apareamiento tal como se recoge en la Tablas 4b y 5; por ejemplo para dos animales con padre desconocido y madres no emparentadas, para los que obtendremos una estimación $f_{xy} = 0$, *FP5* será 0,444, fiabilidad que bajaría a 0,196 si de uno de ellos también desconociéramos la madre. No debe sorprender en la Tabla 5 que si desconocemos de ambos animales ambos padres, *FP5* sea 0,008 y no exactamente 0; el valor se puede deducir teniendo en cuenta las ecuaciones de cálculo empleadas (ecuaciones [2], [4] y [5]): $\%PC5_{xy} = 2/126 = 0{,}016$; $f_{xyMax} = 0{,}5$ y $f_{xyMax} = 0$ resultando $DMP_{xy} = 0{,}5$; y finalmente *FP5* = 0,5*0,016 = 0,008.

Tabla 5. Valores del índice *FP5* correspondientes al coeficiente de parentesco entre dos animales (X, Y) aparentemente no emparentados ($f_{xy} = 0$) en algunos ejemplos de genealogía incompleta (figura 1).
Table 5. Values for FP5 index corresponding to kinship coefficient between two apparently unrelated ($f_{xy} = 0$) animals (X, Y), in some examples of incomplete pedigree (figure 1).

Antecesor de X desconocido	Antecesor de Y desconocido	*FP*5
Dos padres	Dos padres	0,008
Dos padres	Un padre	0,196
Un padre	Un padre	0,444
Dos padres	Ninguno	0,508
Un padre	Un abuelo	0,595
Un abuelo	Un abuelo	0,738
Un padre	Ninguno	0,754
Un abuelo	Ninguno	0,881

En resumen, es posible calificar los posibles apareamientos como recomendables o no en función de los valores de f_{xy} y *FP5*, y facilitar así la toma de decisiones en momento de planificar o llevar a cabo las cubriciones. A modo de ejemplo, el programa GGPob utilizado para realizar los cálculos indica esas recomendaciones de forma intuitiva mediante símbolos + y –; por ejemplo un apareamiento +++(+) indica un apareamiento con $f_{xy} \leq$ 0,03125 y *FP5* > 0,6, y –(– –) un apareamiento con 0,0625 $\leq f_{xy} \leq$ 0,125 y *FP5* < 0,4.

Finalmente, aunque el coeficiente de consanguinidad es, desde un punto de vista práctico, menos útil que el coeficiente de parentesco en la toma de decisiones de diseño de apareamientos, en algún caso puede interesar comparar el coeficiente de consanguinidad entre animales, para lo cual también puede resultar útil la medida de fiabilidad *Ipec5* propuesta, que como se ha indicado ya consideran algunas herramientas de algunos programas de mejora. La Tabla 6 recoge los coeficientes de consanguinidad de los animales de la Tabla 1 más los descendientes de los apareamientos recomendables bajo los tres escenarios considerados. El F_x real para los descendientes del apareamiento recomendado cuando se tenían en cuenta las medidas de fiabilidad propuestas (hembra 563 con macho 584) es 0,118, siendo su estimación menor cuando la genealogía es incompleta, F_x = 0,058. En este caso podemos tener información del error que se comete calculando *Ipec5*, cuyo valor es 0,703. De igual forma, para el apareamiento recomendado cuando no se tenía en cuenta la ausencia de genealogía completa, que era con el macho 559, tenemos un F_x real de 0,433 en los hijos, aunque el valor estimado sea 0, pero el valor de *Ipec5* (0,3) ya indica la baja fiabilidad de la estimación.

Se puede comprobar que esos valores de F_x coinciden con los f_{xy} de los padres en la Tabla 3, pero no lo hacen los valores de fiabilidad. Las fiabilidades de los coeficientes de parentesco de la hembra 563 con los machos 584 y 559 fueron 0,5 y 0,196 respectivamente. Como se ha comentado, el cálculo de *FP5* se basa en la cantidad de información disponible de dos animales para calcular su relación de parentesco, y tiene además la posibilidad de diferenciar de entre los animales sin genealogía, los posiblemente emparentados, y los ciertamente no emparentados, con el resto de animales de la población. Por contra, el cálculo de *Ipec5*, tal como lo propusieron MacCluer *et al*. (1983), no tiene en cuenta esta última posibilidad, informando este índice sobre la cantidad de información disponible para calcular el coeficiente de consanguinidad de un animal. Así la fiabilidad de f_{xy} en el caso de animales sin ningún abuelo en común vimos debía ser mayor de 0,88, mientras que la fiabilidad de F_x de los descendientes debe ser mayor de 0,92 (correspondiente a desconocer un bisabuelo, Tabla 4c).

Para finalizar, se debe indicar que este trabajo no pretende ofrecer una alternativa teórica a la metodología de las contribuciones genéticas óptimas (Woolliams *et al.,* 2015). Es conocido que si se tiene un control exhaustivo de las cubriciones y se dispone de información genealógica completa esa metodología debe permitir una gestión óptima de la consanguinidad, aunque en el día a día de las explotaciones pueda resultar poco flexible. Pero, cuando el control que se puede realizar sobre las cubriciones presente dificultades, dado el sistema de producción (p. ej. monta natural en vacuno de carne en pastos de montaña) o el sistema de inseminación (p. ej. inseminación artificial en ovino con semen fresco y tratamiento hormonal de las ovejas), escoger reproductores de mínimo AR_x y aparearlos posteriormente según el mínimo f_{xy}, puede ser una solución de compromiso, y en ese caso tener en cuenta la fiabilidad con que se estiman ambos valores puede ayudar a una correcta toma de decisiones. Las medidas de fiabilidad utilizadas en este trabajo

Tabla 6. Coeficientes F_x estimados para los animales de la tabla 1 y los descendientes del apareamiento más recomendable en los tres escenarios considerados: Ideal (de referencia, genealogía completa); Sin fiabilidad (habitual, genealogía incompleta sin medida de fiabilidad); Con fiabilidad (propuesto, genealogía incompleta con medidas de fiabilidad)

Table 6. F_x coefficients estimated for animals in table 1 and the offspring of the more recommendable mating under the three scenarios considered: Ideal (reference, complete pedigree); Without reliability (usual, incomplete pedigree without reliability measures); With reliability (proposed, incomplete pedigree with reliability measures)

Animal	Ideal	Sin fiabilidad	Con fiabilidad	*Ipec*5
	F_x	F_x	F_x	
414	0,094	0,094	0,094	0,707
502	0	0	0	0,318
556	0,247	0,247	0,247	0,900
558	0,348	0	0	0
559	0,426	0	0	0
560	0,148	0,148	0,148	0,771
561	0,18	0,180	0,180	0,887
562	0,18	0,180	0,180	0,912
565	0,26	0,260	0,260	0,900
569	0,363	0	0	0
574	0,305	0,305	0,305	0,924
575	0,18	0,180	0,180	0,900
576	0,156	0,156	0,156	0,833
577	0,09	0,090	0,090	0,720
582	0,145	0,145	0,145	0,780
583	0,109	0,109	0,109	0,662
584	0,039	0,039	0,039	0,711
585	0,266	0,266	0,266	0,711
591	0,09	0,090	0,090	0,687
593	0,109	0,109	0,109	0,789
594	0,109	0,109	0,109	0,789
595	0,327	0	0	0
596	0,082	0,082	0,082	0,752
603	0,145	0,145	0,145	0,780
563	0,426	0	0	0
HIJOS 584-563	0,118	0,058	0,058	0,703
HIJOS 559-563	0,433	0	0	0,300

son las que se encuentran implementadas en el programa GGPob empleado en los cálculos, pero se puede pensar en otras que se adapten mejor a situaciones reales en función de la especie y el sistema de producción, por ejemplo incluyendo la posibilidad de contemplar más de un padre "fantasma" para incluir en los cálculos información sobre grupos genéticos no emparentados que no esté contenida en la genealogía. También sería interesante valorar, en trabajos posteriores, la posibilidad de integrar dentro de la metodología óptima de las contribuciones genéticas, la fiabilidad con que se puede estimar f_{xy} cuando no se dispone de información genealógica completa.

Conclusiones

Calcular alguna medida de fiabilidad del coeficiente de relación media de parentesco y del coeficiente de parentesco entre dos animales estimados en poblaciones con genealogía incompleta no soluciona, evidentemente, el problema de falta de información, pero puede ayudar a tomar mejores decisiones en el momento de seleccionar los futuros reproductores y diseñar sus apareamientos. El trabajo muestra cómo medidas sencillas de la idoneidad de la información disponible para estimar AR_x y f_{xy}, como son las propuestas *%PC5* y *FP5*, pueden ser una herramienta de ayuda para la gestión genética de poblaciones con información genealógica incompleta de las que no sea posible disponer de información genómica para estimar con mayor precisión el parecido genético entre animales.

Agradecimientos

A Miguel Ángel Toro, por sus comentarios que ayudaron a mejorar el texto.

Bibliografía

Alfonso L (2014). MiPob: un programa de simulación para el aprendizaje en mejora genética animal. Archivos de Zootecnia, 63: 665-676.

Arca (2017). Sistema Nacional de Información de Razas. Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio ambiente. Disponible en: http://www.mapama.gob.es/es/ganaderia/temas/zootecnia/razas-ganaderas/ (Consultado: 18/10/2017).

Caballero A (2017). Genética cuantitativa. Ed. Síntesis, Madrid. 353 pp.

Cassell BG, Adamec V, Pearson RE. (2003) Effect of Incomplete Pedigrees on Estimates of Inbreeding and Inbreeding Depression for Days to First Service and Summit Milk Yield in Holsteins and Jerseys. Journal of Dairy Science, 86: 2967-2976.

Cole JB (2012). A Manual for use of PyPedal: A software package for pedigree analysis. Animal Improvement Programs Laboratory, Agricultural Research Service, United States Department of Agriculture. Beltsville, USA. 106 pp.

Colleau JJ, Sargolzaei M (2011). MIM: an indirect method to assess inbreeding and coancestry in large complete pedigree of selected dairy cattle. Journal of Animal Breeding and Genetics, 128: 163-173.

Dunner S, Checa ML, Gutierrez JP, Martin JP, Cañon J (1998). Genetic analysis and management in small populations: the Asturcon pony as an example. Genetics Selection Evolution, 30: 397-405.

Gutiérrez JP, Goyache F (2005). A note on ENDOG: a computer program for analysing pedigree information. Journal of Animal Breeding and Genetics, 122: 172-176.

Jiménez JA (2016). Acoplamiento básico con CONAFEMAT. Frisona Española, 215: 72-73.

MacCluer JW, Boyce AJ, Dyke B, Weitkamp LR, Pfennig DW, Parsons CJ (1983). Inbreeding and pedigree structure in Standard bred horses. Journal of Heredity, 74: 394-399.

Miller MP, Haig SM, Ballou JD, Steel EA (2017). Estimating inbreeding rates in natural populations: addressing the problem of incomplete pedigrees. Journal of Heredity, 108: 574-582.

Montes M, Quicaño I, Quispe R, Quispe E, Alfonso L (2008). Quality characteristics of Huacaya alpaca fibre produced in the Peruvian Andean Plateau region of Huancavelica. Spanish Journal of Agricultural Research, 6: 33-38.

Toro MA, Caballero A, Fernández J (2008). Mejora genética y gestión de poblaciones pequeñas. ITEA-Información Técnica Económica Agraria, 104: 268-282.

Toro MA, García-Cortés LA, Legarra A (2011) A note on the rationale for estimating genealogical coancestry from molecular markers. Genetics Selection Evolution, 43: 27.

VanRaden PM (1992). Accounting for inbreeding and crossbreeding in genetic evaluation of large populations. Journal of Dairy Science, 75: 3136-3144.

VanRaden PM (2005). Inbreeding adjustments and effect on genetic trend estimates. Interbull Bulletin, 33: 81-84.

Wellmann R. (2017). optiSel: optimum contribution selection and population genetics. R package version 1.0.0. Disponible en: https://cran.r-project.org/web/packages/optiSel/optiSel.pdf (Consultado: 18/10/2017).

Woolliams JA, Berg P, Dagnachew BS, Meuwissen THE (2015) Genetic contributions and their optimization. Journal of animal Breeding and Genetics, 132: 89-99.

(Aceptado para publicación el 19 de marzo de 2018)

Análisis de la heterogeneidad de la demanda de bienes públicos procedentes del olivar de montaña en Andalucía

R. Granado-Díaz, A.J. Villanueva*, J.A. Gómez-Limón y M. Rodríguez-Entrena

Universidad de Córdoba. Departamento de Economía Agraria. Campus Rabanales, Edificio C5, Ctra. Madrid-Cádiz km. 396, 14014 Córdoba, España

Resumen

La provisión de bienes públicos por los sistemas agrarios se ha utilizado en los últimos años para legitimar las políticas de apoyo a la agricultura, especialmente la Política Agraria Común (PAC). En el presente trabajo se analiza la demanda de la sociedad andaluza respecto al olivar de montaña como sistema proveedor de bienes públicos ambientales (principalmente biodiversidad) y socioculturales (vitalidad del medio rural), así como del "mal público" erosión del suelo. Para ello se ha utilizado la metodología de los experimentos de elección utilizando un modelo de clases latentes para evaluar la heterogeneidad de las preferencias de la población. Los resultados muestran la presencia de tres grupos diferenciados en función de su disposición a pagar: un primer grupo con nula disposición a pagar (22% de la población andaluza); un segundo grupo con una reducida disposición a pagar y enfocada hacia la vitalidad del medio rural (14%); y un tercer grupo más numeroso caracterizado por una elevada disposición a pagar por los tres bienes públicos (64%). Las variables de opinión y actitudinales, tanto relacionadas con la implementación de políticas directamente (privada/pública, local o no, etc.) como indirectamente (provisión no agraria, preferencias respecto del aceite de oliva, etc.), son las que permiten discriminar de forma más eficiente la pertenencia a cada grupo. Estos resultados son de especial utilidad para adecuar el diseño de las políticas a la demanda social.

Palabras clave: Política agraria, biodiversidad, erosión, vitalidad de las zonas rurales, experimentos de elección, modelo de clases latentes.

Abstract
Analysis of heterogeneity in the demand for public goods provided by mountain olive groves in Andalusia

The provision of public goods by agricultural systems has been used in recent times to legitimise policies in agriculture, specially the European Union's Common Agricultural Policy. This paper analyses the demand of Andalusian society with respect to the main public goods provided by mountain olive groves, including environmental (mostly biodiversity) and sociocultural ones (rural vitality), as well as the 'public bad' soil erosion. For this purpose, the choice experiment method has been used with a special focus on preference heterogeneity, using the latent class model as econometric specification. The results point out that three different groups of population can be clearly identified according to their willingness to pay for the public goods provided by mountain olive groves: one group of zero willingness to pay (representing 22% of the sample), another with a low willingness to pay and just for rural vital-

* Autor para correspondencia: ajvillanueva@uco.es
https://doi.org/10.12706/itea.2018.011

ity (14%), and a third larger group with a high willingness to pay for the three public goods/bads under consideration. The results show that variables related to opinions and attitudes, especially those linked to policy implementation, both directly (private/public, local or not, etc.) and indirectly (acceptance of non-agricultural provision, preferences for olive oil, etc.), can better explain group belonging. These results can be of special relevance to internalise social demands in the design of public policies.

Keywords: Agricultural policy, biodiversity, soil erosion, rural vitality, choice experiments, latent class model.

Introducción

En los últimos años se ha observado un creciente interés de la sociedad por la producción agraria de bienes públicos (BBPP) y su papel en el apoyo público a la agricultura. Un claro exponente de ello lo constituye la aplicación del principio de "dinero público a cambio de bienes públicos", cuyo rol dentro de la Política Agraria Común (PAC) de la Unión Europea condiciona cada vez más el apoyo a los agricultores (Rocamora-Montiel *et al*., 2014b; Salazar-Ordoñez y Sayadi, 2011). No en vano, en su última reforma de 2013 se incluyó como uno de sus objetivos fundamentales "garantizar prácticas de producción sostenibles y mejorar el suministro de bienes públicos medioambientales" (European Commission (EC), 2010), articulando instrumentos específicos para ello (EC, 2013). De hecho, se espera que la demanda social por los BBPP producidos por la agricultura siga moldeando la PAC (EC, 2017), lo que se traduciría en la implementación de nuevos instrumentos mejor dirigidos y adaptados.

En este contexto resulta relevante el análisis tanto de la oferta de BBPP por parte del sector agrario como de su demanda social, al objeto de determinar la posible existencia de fallos de mercado en su provisión (desfase entre su oferta y su demanda), circunstancia que justificaría la intervención pública. Asimismo, desde el punto de vista de los decisores políticos resulta de interés no sólo la posible existencia de estos fallos de mercado, sino también la heterogeneidad de las preferencias de los individuos, de cara a identificar los grupos poblacionales que se benefician en mayor grado de los BBPP provistos por los sistemas agrarios, así como las opciones de políticas públicas más legitimadas socialmente. Esto justifica el interés de investigaciones centradas en valorar los BBPP producidos por los sistemas agrarios desde una perspectiva de demanda, incidiendo en el análisis de la heterogeneidad de las preferencias sociales.

Concretamente, la presente investigación toma a la población andaluza como caso de estudio, al objeto de analizar sus preferencias respecto de los principales BBPP producidos por uno de los sistemas más característicos de la región: el olivar de montaña. Cabe apuntar que, si bien durante la última década el análisis de la demanda social de los BBPP producidos por los sistemas de olivar en Andalucía ha sido profuso (véase Colombo *et al.*, 2006; Arriaza *et al.*, 2008; Rodríguez-Entrena *et al.*, 2012; Salazar-Ordóñez *et al.*, 2013; Rocamora-Montiel *et al.*, 2014a; Colombo *et al.*, 2016; Rodríguez-Entrena *et al.*, 2017), el análisis de la heterogeneidad, cuando se ha realizado, se ha limitado generalmente a la identificación de factores que influyen en las preferencias individuales. Sin embargo, son escasos los estudios que identifican grupos poblacionales con una demanda diferencial por estos bienes en Andalucía. La única excepción la constituye el trabajo de Rodríguez-Entrena *et al.* (2014), quienes utilizan el método de experimentos de elección (EE) y modelos de clases latentes (MCL) como especificación econométrica para analizar la demanda de los principales BBPP producidos por el conjunto de olivar andaluz (cambio climático, biodiversidad y conservación del suelo).

La realización de este trabajo está justificada por la ausencia de información específica del olivar de montaña, en la medida que la mayor parte de los estudios antes citados analizan el olivar en general. Como ahora se explicará, la especificidad del sistema de olivar de montaña requiere de un análisis diferenciado al objeto de soportar el diseño e implementación de las políticas adecuadas. En efecto, este sistema agrario se caracteriza por su baja rentabilidad, derivada fundamentalmente de las importantes limitaciones biofísicas del medio donde se localiza (especialmente asociadas a la mala calidad de sus suelos –bajos rendimientos– y la elevada pendiente –elevados costes de producción–). Estas circunstancias han dificultado enormemente el desarrollo de procesos de intensificación y mecanización acontecidos en el resto de los sistemas de olivar, como estrategias de mejora de su competitividad. Por este motivo ha sido posible el mantenimiento de viejas plantaciones y elementos tradicionales, al igual que un menor empleo de labores y agroquímicos, condiciones que favorecen la provisión de BBPP de tipo ambiental, especialmente la biodiversidad. De esta forma, el olivar de montaña se enmarca en un contexto de baja rentabilidad que pone en riesgo tanto la continuidad de la actividad a largo plazo como su potencial de producción de BBPP. Se puede afirmar, por tanto, que existe una elevada probabilidad de ocurrencia de un fallo de mercado, en la medida que este sistema no pueda satisfacer las demandas de la sociedad respecto de la provisión de tales bienes. En este contexto, la cuantificación de la demanda social respecto de los principales BBPP producidos por el olivar de montaña resulta útil para, por una parte, evidenciar la existencia del fallo de mercado asociado, y, por otra, para apoyar la toma de decisiones políticas dirigidas a corregirlo. De esta forma, la principal aportación de este estudio consiste en valorar la demanda de la población andaluza respecto a la provisión de BBPP por parte del sistema agrario del olivar de montaña de Andalucía, analizando las preferencias heterogéneas de los distintos grupos de población respecto a dicha provisión y sus factores subyacentes, así como las implicaciones políticas útiles para el diseño de los correspondientes instrumentos de política agraria.

Para ello, tras esta sección introductoria, el siguiente apartado presenta el sistema agrario del olivar de montaña en Andalucía, justificando su interés como caso de estudio en relación con la provisión de BBPP, y describe el enfoque de valoración empleado (método de EE y el MCL como especificación econométrica), así como el correspondiente proceso de captura de información primaria. En el tercer apartado se presentan y discuten los principales resultados obtenidos, para finalmente en el cuarto y último apartado extraer las principales conclusiones que se derivan de los mismos.

Material y métodos

Caso de estudio: el olivar de montaña de Andalucía

El olivar ocupa en Andalucía más de 1,5 millones de hectáreas, siendo el principal cultivo de la región y representando más de un tercio de su superficie agraria. La vasta implantación de este muestra, a su vez, un sector heterogéneo en el se que puede distinguir una amplia diversidad de sistemas agrarios en función de su orientación productiva (aceite o aceituna de mesa), régimen de secano o regadío, posibilidades de mecanización, densidad de plantación, etc. Entre los principales sistemas de olivar, destaca el olivar en pendiente, circunstancia que conlleva unos mayores costes debido a la dificultad de mecanización de las labores.

Dentro de los olivares localizados en pendientes elevadas se pueden distinguir dos tipos de plantaciones. Por un lado, pueden

encontrarse olivares caracterizados por presentar bajos rendimientos debido a su localización en zonas con malas condiciones edafoclimáticas, circunstancia que provocan serios problemas de viabilidad económica y un elevado riesgo de abandono (Gómez-Limón y Arriaza, 2011; Colombo y Camacho-Castillo, 2014; Boletín Oficial de la Junta de Andalucía, 2015). Junto a este tipo de olivar, se pueden encontrar también olivares en pendiente ubicados en suelos con mayor capacidad productiva, circunstancia que le permite alcanzar producciones moderadas y una rentabilidad mínimamente aceptable que asegura la continuidad de la actividad (Rodríguez-Entrena *et al.*, 2016). Estas diferencias productivas afectan no sólo a la producción de bienes privados (i. e., aceitunas y otros subproductos), sino que también condicionan la provisión de BBPP. En este sentido, considerando las graves consecuencias que tendría para la provisión de BBPP el abandono de la actividad productiva (Villanueva *et al.*, 2017c), se justifica que este trabajo se centre en el primer tipo de olivar, al que denominamos "olivar de montaña".

Para evitar la confusión entre ambos sistemas de olivar en pendiente, resulta necesario establecer una definición operativa del olivar de montaña objeto de estudio. En el presente trabajo se ha definido como: aquel cultivado en zonas con pendientes elevadas (iguales o superiores al 15%), en régimen de secano y con suelos pobres y poco profundos, que condicionan que los rendimientos medios sean inferiores a los 2.500 kg de aceituna/ha. Considerando la información disponible en el Modelo de Olivar de la Agencia de Gestión Agraria y Pesquera de Andalucía (AGAPA), el olivar de montaña así definido cubre en Andalucía 211.000 hectáreas, lo que supone cerca del 14% de la superficie de olivar andaluz. Este olivar se encuentra concentrado en Sierra Morena (Sevilla y Córdoba) y en el valle de los Pedroches (Córdoba) y, en menor medida, en las sierras de Málaga y Cádiz.

Las dificultades del olivar de montaña para intensificar la producción han permitido la continuidad de plantaciones tradicionales (olivares más longevos y marcos de plantación más amplios que el resto del olivar), el mantenimiento de elementos tradicionales como muros, setos, vegetación de ribera, etc., y una menor intensidad en las labores y el uso de agroquímicos. Todo ello ha favorecido la provisión de BBPP de tipo ambiental, entre los que destaca especialmente la biodiversidad. Así, este tipo de olivar presenta un alto valor natural caracterizado por una mayor densidad y riqueza de especies (Duarte *et al.*, 2009). En efecto, en comparación con otros tipos de olivar, se ha constatado que el olivar de montaña muestra una mayor presencia de especies diferentes de aves (Duarte *et al.*, 2009), artrópodos (Ruiz y Montiel, 2000 y 2001) y anfibios (Carpio *et al.*, 2016), e incluso una mayor presencia de una especie tan simbólica como el lince ibérico (Gastón *et al.*, 2016). En cualquier caso, la provisión del bien público biodiversidad por parte de este sistema agrario está amenazada, tanto por la intensificación de los procesos productivos (mayor antropización del sistema, en detrimento de la flora y la fauna autóctona), como por el abandono de la actividad (que, entre otros aspectos, conlleva un mayor riesgo de incendios) (Rocamora-Montiel *et al.*, 2014c).

Por el contrario, la localización de este sistema agrario en terrenos con elevada pendiente, unida a la implementación de prácticas culturales poco adecuadas para la conservación del suelo (p. ej., mantenimiento del suelo desnudo durante buena parte del año) hacen que este tipo de olivar suela registrar tasas de erosión significativamente superiores a las del resto de olivares (Xiloyannis *et al.*, 2008). De hecho, la implementación de las prácticas agrarias antes aludidas, si bien puede mejorar la rentabilidad a corto plazo (aunque no a largo plazo), supone una grave ame-

naza para la provisión del bien público de funcionalidad del suelo y de otros BBPP vinculados a este (fijación de carbono, paisaje, etc.)[1]. En este sentido debe tenerse en cuenta que dichas pérdidas de suelo se corresponden con los horizontes superficiales más ricos en nutrientes y materia orgánica, por lo que en el largo plazo estos fenómenos erosivos son insostenibles en la medida que suponen un deterioro continuado de la capacidad productiva de los suelos, limitando de esta manera su funcionalidad para la producción agrícola o cualquier otro uso del mismo como soporte del medio natural y primer eslabón de la cadena alimentaria (Nieto *et al.*, 2013).

Finalmente, desde un punto de vista socioeconómico, el olivar de montaña se encuentra mayoritariamente ubicado en zonas remotas, caracterizadas generalmente por la presencia de menores servicios públicos, mayor distancia a los centros de consumo, déficit de infraestructuras, y otros factores que resultan en desventajas competitivas para las actividades económicas que se localizan en dichos territorios. Como consecuencia, en estos territorios se constata la presencia de problemas de despoblamiento, envejecimiento y desempleo, lo que compromete la viabilidad a largo plazo de estas comunidades (Villanueva *et al.*, 2017c). Por los motivos expuestos, resulta necesario preservar aquellas actividades económicas que puedan mantener la vitalidad de las zonas rurales, al objeto de minimizar el éxodo de su población. En este contexto debe entenderse la actividad productiva del olivar de montaña como una de las escasas alternativas económicas posibles en estas zonas que puedan generar empleo y, con ello, favorecer la fijación de la población al territorio (Viladomiu y Rosell, 2004). Sin embargo, la baja rentabilidad de este sistema pone en riesgo su supervivencia a largo plazo, existiendo un elevado riesgo de abandono de la actividad[2], que Gómez-Limón y Arriaza (2011) estiman puede afectar hasta al 90% de las explotaciones de olivar de montaña.

Por lo comentado anteriormente, cabe considerar los tres BBPP señalados (biodiversidad, funcionalidad del suelo y vitalidad de las zonas rurales) como los más relevantes en el caso del olivar de montaña. No en vano, los estudios de valoración de demanda de BBPP provistos por los sistemas agrarios de olivar en Andalucía se centran fundamentalmente en estos tres BBPP (Colombo *et al.*, 2006; Kallas *et al.*, 2006; Rodríguez-Entrena *et al.*, 2012; Rocamora-Montiel *et al.*, 2014a), si bien ninguno investiga la heterogeneidad de grupos poblacionales según sus preferencias hacia la provisión de estos por parte del olivar de montaña.

Experimentos de elección: atributos y niveles

El objetivo principal del estudio es evaluar la demanda de la población andaluza en relación con la provisión de los principales BBPP por

1. Para un análisis en profundidad de los BBPP producidos por los sistemas agrarios en general, y por el olivar de montaña en particular, se remite al lector al libro de Villanueva *et al.* (2017c). En este documento se explica con detalle cómo la mayoría de BBPP se producen conjuntamente, de ahí que la mayor o menor provisión del bien "funcionalidad del suelo" incida de forma directa en el nivel de provisión de otros BBPP.

2. En este sentido, Colombo (2017) pone de manifiesto que la coexistencia de olivares tradicionales con los intensivos y superintensivos es insostenible en el tiempo, de forma que las explotaciones tradicionales menos competitivas (i. e., menos rentables) acabarán siendo marginadas debido a la presión sobre los precios que provocará el incremento de la producción de aceite de oliva procedente de las explotaciones con mayores densidades. Teniendo en cuenta que el olivar de montaña definido en este estudio se limita a explotaciones con rendimientos de aceituna inferiores a 2.500 kg/ha, este tipo de olivar será uno de los más afectados por este proceso de transformación del sector. Así lo ponen de manifiesto igualmente Rodríguez-Entrena *et al.* (2016), quienes apuntan que en un escenario de precios bajos y en ausencia de ayudas directas, el olivar de sierra de baja producción presenta una rentabilidad negativa.

parte del olivar de montaña. Así, para la valoración de preferencias declaradas, se ha empleado la técnica de los EE, que se asienta en la Teoría del Consumidor (Lancaster, 1966) y la Teoría de la Utilidad Aleatoria (McFadden, 1974). Una descripción detallada de esta técnica puede consultarse en Hensher *et al.* (2005).

El EE empleado para este estudio tiene como objetivo analizar las preferencias de la población andaluza en relación con el diseño de un programa integral de gestión del olivar de montaña andaluz (en adelante, el programa), cuya duración sería de 5 años, y cuyo objetivo sería aumentar la provisión de los tres principales BBPP producidos por el olivar de montaña (biodiversidad, funcionalidad del suelo y vitalidad de las zonas rurales). La financiación de este programa se realizaría a través de un nuevo impuesto incluido en la declaración de la renta, destinándose el dinero íntegramente a la consecución de las mejoras previstas.

El diseño del EE se compone de cuatro atributos, de los cuales tres de ellos se refieren a la mejora de los BBPP considerados, y el cuarto al importe de pago asociado al programa. La selección de los atributos y sus correspondientes niveles se ha realizado consultando la bibliografía especializada y contrastándola con un panel de expertos que ha apoyado el desarrollo de esta investigación[3].

Para facilitar el adecuado entendimiento de estos atributos por parte del público en general, se han definido una serie de indicadores o variables *proxy* para cada uno de ellos. Así, para evaluar la biodiversidad se ha utilizado la variable "número de especies de aves por explotación". En el caso de la funcionalidad del suelo, se ha empleado "pérdida anual de suelo por erosión", cuantificada en estadios olímpicos llenos de tierra perdida. Finalmente, para la vitalidad de las zonas rurales la variable *proxy* empleada ha sido el "riesgo de abandono de la actividad por falta de rentabilidad", cuantificada como el porcentaje de explotaciones de olivar de montaña que presentan una probabilidad elevada de cesar en su actividad productiva. Para los tres atributos anteriores se han considerado tres niveles de provisión de los correspondientes BBPP. Conforme al debate mantenido por el panel de expertos que ha asesorado la realización del trabajo, se ha asumido que el nivel mínimo de provisión (valores más bajos de los indicadores "número de especies de aves por explotación" y "riesgo de abandono de la actividad por falta de rentabilidad", y más elevados del indicador "pérdida anual de suelo por erosión") se corresponde con los niveles de provisión de referencia o actuales, resultantes de la gestión de las explotaciones conforme a las exigencias que marca la condicionalidad de la PAC. El segundo nivel se corresponde con una mejora moderada en la provisión de cada bien público, y el tercero con una mejora significativa en la provisión de los mismos. Este tercer nivel (mejora significativa) se corresponde con el mayor nivel de provisión que el panel consultado ha considerado como factible. En la Tabla 1 se detallan los atributos y niveles utilizados.

Por último, el cuarto atributo se refiere al importe del pago asociado a la implementación del programa. Dicho vehículo de pago se ha

3. Las referencias bibliográficas empleadas para conocer la situación actual de provisión de BBPP por parte del sistema analizado, así como su potencial de mejora (niveles objetivo de provisión), están recogidas en el trabajo de Villanueva *et al.* (2017b), donde se presenta un ejercicio de valoración complementario realizado desde el lado de la oferta (disponibilidad a aceptar por los olivicultores para desarrollar prácticas que mejoren la provisión de estos bienes). Concretamente, los trabajos consultados en relación con la funcionalidad del suelo están citados en el Cuadro 2.1 (p. 56) de este artículo. Por su parte, las evidencias utilizadas en relación con la biodiversidad pueden encontrarse en el Cuadro 2.2 (p. 57).

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

Atributo	Descripción (*proxy* empleado)	Niveles
Biodiversidad	Número de especies de aves por explotación	14 especies de aves/explotación (situación actual) 22 especies de aves/explotación (mejora moderada) 30 especies de aves/explotación (mejora significativa)
Funcionalidad del suelo	Pérdida anual de suelo por erosión medida en estadios olímpicos llenos de tierra	5 estadios olímpicos (situación actual) 3 estadios olímpicos (mejora moderada) 1 estadio olímpico (mejora significativa)
Vitalidad de las zonas rurales	Riesgo de abandono de la actividad por falta de rentabilidad	90% de explotaciones en riesgo de abandono (situación actual) 70% de explotaciones en riesgo de abandono (mejora moderada) 50% de explotaciones en riesgo de abandono (mejora significativa)
Impuesto anual	Impuesto anual obligatorio a pagar durante los 5 años que dura el programa	3 euros/año 6 euros/año 9 euros/año 12 euros/año 15 euros/año 18 euros/año

Fuente: Elaboración propia.

establecido como un nuevo impuesto previsto para financiar dicho programa, que se incluiría en la declaración de la renta y que debería pagarse durante los 5 años de duración del mismo. Para este atributo monetario se ha dispuesto de seis niveles, que van desde 3 a 18 euros anuales. Estos niveles se establecieron teniendo en cuenta los niveles empleados en valoraciones previas de la demanda de bienes públicos de origen agrario por parte de la población, así como la dimensión del sistema agrario analizado. La pertinencia de este rango fue confirmada igualmente durante el pre-test de la encuesta.

El escenario de valoración planteado a la población andaluza se compone de una alternativa correspondiente a la situación actual y de dos alternativas de programa integral para la mejora de la provisión de BBPP entre las cuales el encuestado debe elegir su alternativa preferida. En la Figura 1 se incluye un ejemplo de tarjeta de elección.

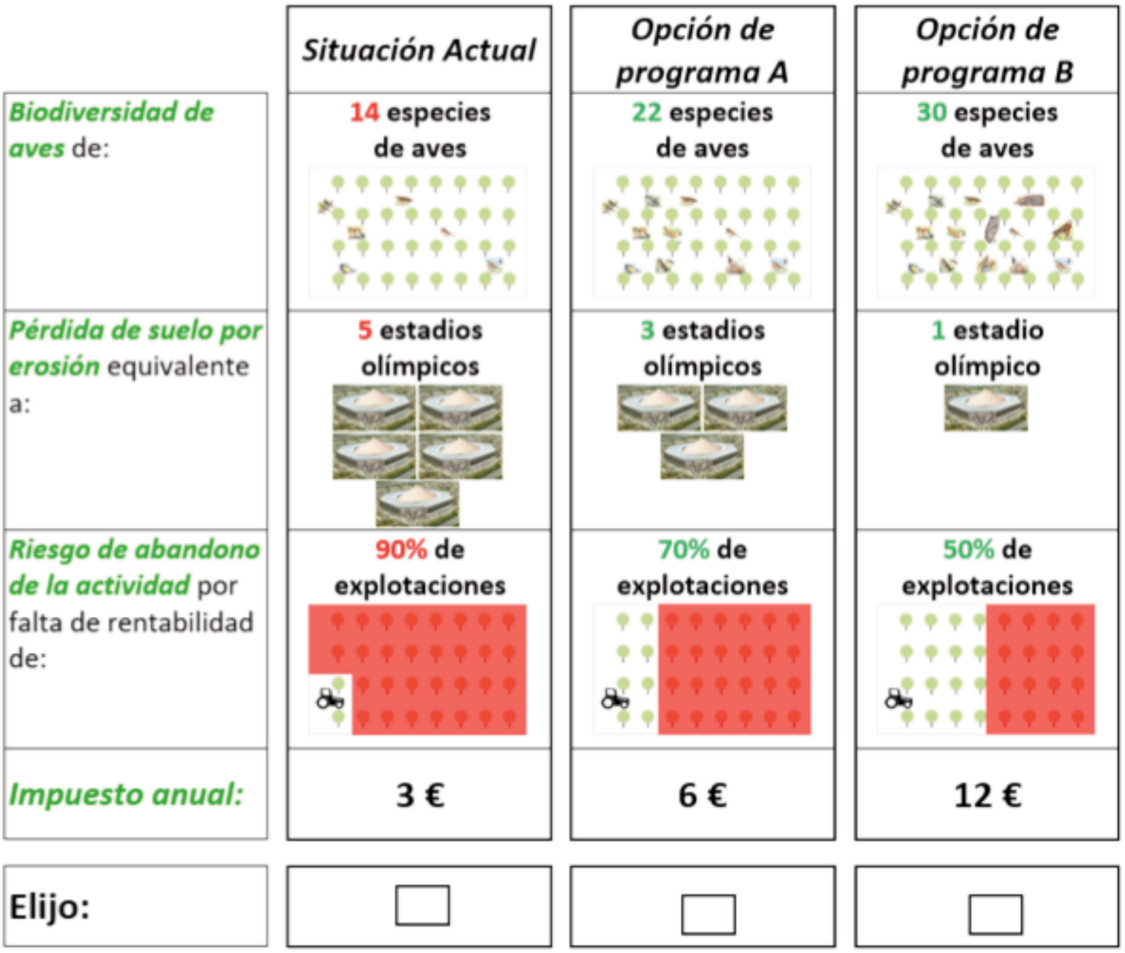


Figura 1. Ejemplo de tarjeta de elección.
Fuente: Elaboración propia.
Figure 1. Example of choice card.

Especificación econométrica

Para incorporar la heterogeneidad de preferencias de los encuestados en la modelización, se utiliza un MCL. El MCL es un modelo logístico mixto con distribuciones discretas de los parámetros, cuyo empleo se recomienda especialmente cuando se desea analizar las preferencias heterogéneas de los individuos y sus causas subyacentes (Hensher *et al.*, 2005). Este enfoque se apoya en la hipótesis de que los individuos se pueden agrupar en función de sus preferencias, lo que acarrea una situación de homogeneidad dentro de cada clase y heterogeneidad entre clases. Así dicha técnica permite la identificación de ciertos grupos o clases latentes que de otra manera quedarían inobservadas (Hess *et al.*, 2011), lo que conlleva que dicho enfoque sea especialmente útil desde el punto de vista del decisor político.

El enfoque de clases latentes se basa en la ecuación de probabilidad de pertenencia a las clases, la cual presenta una formulación logística clásica, asumiendo que los componentes de error están distribuidos idéntica e independientemente siguiendo una distribución de tipo Gumbel. Así, la heterogeneidad en las preferencias incluida en la información obtenida de los EE es analizada asignando cada individuo a su "grupo comportamental" o clase latente, con el que comparte una misma estructura de preferencias.

Formalmente, en los MCL, la utilidad (*U*) de la alternativa *j* del individuo *n* (en una elección *t*) que pertenece a una determinada clase *s*, puede expresarse como:

$$U_{jnt|s} = \beta_s X_{jnt} + \varepsilon_{jnt} \qquad [1]$$

donde X_{jnt} es el vector de los atributos asociados a cada alternativa *j* (para el individuo *n* en el momento t), β_s describe el vector de parámetros específico de cada clase, y ε_{jnt} representa la heterogeneidad inobservada.

Dentro de cada clase, las probabilidades de elección se extraen a partir de un modelo logístico multinomial. Así, la probabilidad (*P*) de que un individuo *n*, que realiza una secuencia de elecciones (y_1, y_2,… y_T) entre un determinado grupo de alternativas *J*, pertenezca a la clase *s* es:

$$P_n([\mathrm{y}_1, \mathrm{y}_2, \ldots . \mathrm{y}_\mathrm{T}]) = \sum_{s=1}^{S} \left[\frac{\exp(\alpha_s Z_n)}{\sum_{s=1}^{S} \exp(\alpha_s Z_n)} \right] \left[\prod_{t}^{T} \frac{\exp(\beta_s X_{jnt})}{\sum_{j=1}^{J} \exp(\beta_s X_{jnt})} \right] \qquad s = 1, \ldots ., S \qquad [2]$$

donde la primera expresión entre corchetes es la probabilidad de que el individuo *n* pertenezca a la clase *s*, considerando las características específicas del individuo (i. e., el vector de variables Z_n y su correspondiente vector de parámetros α_s) como covariables predictoras de la clase de pertenencia. Una explicación más extensa del enfoque de MCL puede encontrarse en Hess *et al.* (2011).

Para la elección del modelo final de clases latentes incluido en el presente trabajo se atendió a los criterios de parsimoniosidad, nivel de significación de los parámetros, interpretabilidad de las clases e importancia relativa de las mismas. La Tabla 2 muestra los valores de los estadísticos de bondad de ajuste para modelos de clases latentes con diferente número de clases. Entre los modelos mostrados en la tabla, sobresalen los de tres y cuatro clases, por ser estos los que muestran unas mejoras más significativas respecto de estos estadísticos. No obstante, siguiendo los criterios mencionados anteriormente, finalmente se seleccionó la solución de tres clases. La inclusión de las variables relativas a las características específicas del individuo se realizó siguiendo un procedimiento secuencial. Inicialmente se estimaron MCL incluyendo de forma separada cada variable para identificar aquellas variables explicativas que se mostraban significativas a la hora de

Tabla 2. Estadísticos de bondad de ajuste para diferentes modelos de clases latentes[(1)]
Table 2. Goodness-of-fit parameters for different latent class models

Número de clases	Número de parámetros (P)	Log-verosimilitud (LL)	McFadden`s Pseudo-R^2	AIC/N
1	5	-2239,69	0,075	2,028
2	18	-1673,75	0,312	1,528
3	31	-1584,74	0,349	1,460
4	44	-1511,63	0,375	1,405
5	57	-1472,96	0,392	1,389

[(1)] Muestra: 369 individuos (N), 2214 elecciones. M. Pseudo-R^2 = 1-(LL/LL0); AIC = -2(LL-P).
Fuente: Elaboración propia.

conformar las clases. Posteriormente se integraron diferentes combinaciones de estas variables significativas en diversos MCL, seleccionándose, de entre los múltiples modelos analizados, aquel que mostraba un mejor ajuste para la separación de las clases e interpretación de la heterogeneidad individual observada respecto al diseño de políticas.

Diseño experimental

El diseño experimental se realizó en dos etapas. En primer lugar, se partió de la información secundaria contenida en Rodríguez-Entrena *et al.* (2012) respecto a la demanda de BBPP por parte de la sociedad en el sistema agrario del olivar. Concretamente se jerarquizó a los BBPP en función de su importancia en la función de utilidad de los ciudadanos andaluces y, posteriormente, se evaluó el orden de magnitud de la diferencia de utilidad entre los tres BBPP. De esta manera, se consiguió disponer de unos *priors* preliminares para el diseño experimental, en lugar de optar por la situación más desfavorable de considerarlos 0 cuando no se tiene información previa alguna. Así, se estimó un diseño eficiente preliminar minimizando el D-error mediante técnicas bayesianas (Rose *et al.*, 2011), que constó de 24 perfiles de tarjeta distribuidos en 4 bloques y se utilizó para las primeras 72 entrevistas, respondiéndose en cada una a un bloque de 6 tarjetas.

En segundo lugar, los resultados obtenidos de estas primeras observaciones fueron utilizados para obtener el diseño experimental eficiente definitivo, obteniéndose los *priors* a partir de un modelo logístico multinomial (MNL) estimado con las observaciones iniciales, cuyos resultados permitieron, empleando técnicas bayesianas, minimizar el D-error y, así, maximizar la eficiencia estadística. El diseño definitivo resultante constó también de 24 perfiles de tarjeta distribuidos en 4 bloques, contestándose en cada entrevista igualmente a un bloque de 6 tarjetas.

El D-error del diseño experimental inicial fue de 0,086, mientras que el del definitivo fue de 0,069. Para la estimación de ambos diseños experimentales se empleó el programa NGene 1.1.1.

Recolección de datos

La población objeto de estudio se ha definido como los ciudadanos mayores de 18 años residentes en Andalucía en 2016, que ascendía a 6.766.896 (Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía, 2016). Para este estudio, se ha optado por un panel de consumidores *on-line*[4], recopilándose información primaria relativa a una muestra de 504 andaluces. Para esta investigación se realizó un muestreo por cuotas en función de las siguientes variables: a) provincia de residencia: las ocho provincias andaluzas; b) hábitat de residencia: rural (<20.000 hab.), intermedio (entre 20.000 y 100.000 hab.) y urbano (>100.000 hab.); y c) edad: 18-34 años, 35-55 años, y >55 años. El cálculo de las correspondientes cuotas se realizó sobre la base de la información proporcionada por el Padrón municipal actualizado para el año 2016. De esta manera cabe asumir que la muestra empleada resulta representativa de la población objetivo analizada.

Con la finalidad de evitar sesgos en la comprensión del cuestionario, se realizó un pre-test para analizar el funcionamiento del mismo entre los panelistas. Tras la fase de pre-test se decidió diseñar un sistema que ayudase a la cumplimentación del cuestionario. En este sentido, tanto la introducción del objeto de estudio de la investigación como la creación del mercado para la ejecución del EE, fue ilustrada mediante imágenes y locuciones. Dicho soporte audiovisual ayudaba al panelista a comprender el objeto de estudio (BBPP suministrados por el olivar de montaña andaluz) e interiorizar aspectos como la restricción presupuestaria, el coste de oportunidad, el vehículo de pago, etc., necesarios para la correcta creación del mercado para el ejercicio de valoración.

Tras el pre-test, la toma de datos definitiva tuvo lugar a través de dicho panel *on-line* entre los meses de febrero y marzo de 2017.

El cuestionario implementado para este estudio se compuso de tres bloques de preguntas, al objeto de recoger información acerca de: i) las preferencias de los individuos sobre el programa de mejora de la provisión de BBPP propuesto (EE propiamente dicho); ii) las características sociodemográficas de los encuestados; y iii) las opiniones, actitudes y hábitos de los encuestados en relación con la provisión de BBPP. En las Tablas 3 y 4 se describen las variables sociodemográficas y de opinión y actitud incluidas en los dos últimos bloques del cuestionario, así como la hipótesis de partida en cuanto a su influencia en la disposición a pagar (DAP) por la mejora en la provisión de BBPP por parte del olivar de montaña.

Para seguir profundizando en el análisis de la heterogeneidad y no comprometer la parsimoniosidad del MCL definitivo, se ha complementado este análisis econométrico con análisis bivariantes utilizando variables que fueron significativas en la asignación de clases en los modelos MCL iniciales donde se incluyó cada variable explicativa por separado. Concretamente, para el análisis de variables mé-

4. El uso de encuestas *on-line* en ejercicios de valoración empleando EE es una práctica habitual. En comparación con las encuestas presenciales, presenta ventajas importantes, tales como la facilidad de recolección de información, la reducción del sesgo de complacencia con el entrevistador (tendencia de los sujetos a responder siguiendo un patrón socialmente responsable) y, sobre todo, el menor coste asociado. Sin embargo, este procedimiento de recolección de información también presenta inconvenientes, fundamentalmente derivados del menor control sobre el entendimiento del cuestionario y la calidad de las respuestas del encuestado. En concreto, en relación con el presente estudio, cabe señalar como potenciales problemas la identificación del sistema caso de estudio (y su diferenciación de otros sistemas de olivar), la aparición de comportamientos estratégicos y la existencia de respuestas banales (p. ej., respuestas irreflexivas realizadas en un tiempo excesivamente reducido). En la medida de lo posible, el diseño de la captura de datos y el posterior tratamiento de datos han intentado paliar estos inconvenientes.

Tabla 3. Descriptivo de las variables sociodemográficas utilizadas en el modelo[1]
Table 3. Descriptive of the sociodemographic variables included in the model

Variable [ACRÓNIMO]	Unidades o categoría	Media o %	Desviación típica	Hipótesis[2]
Sexo [SEXO]	Varón	58,0%		+
	Mujer	42,0%		(SEXO = Mujer)
Edad [EDAD]	Años	44,4	15,0	–
Nº Hijos [HIJOS]	Nº de hijos	0,4	0,8	+
Ingresos mensuales del hogar [RENTA]	1: Menos de 600 €/mes			
	…(intervalos de 500 €/mes)…			
	9: Más de 4.100 €/mes	3,7	2,0	+
Nivel de estudios [ESTUDIOS]	Sin estudios	0,3%		+
	Primarios	10,6%		(ESTUDIOS = Universidad)
	Secundarios	45,0%		
	Universidad	44,2%		
Hábitat de residencia [HABITAT]	Urbano (municipios >100.000 hab.)	33,3%		+
	Intermedio (municipios entre 100.000 y 20.000 hab.)	32,2%		(HABITAT = Rural)
	Rural (municipios <20.000 hab.)	33,9%		
Algún familiar cercano es agricultor	Sí	26,6%		+
[AGRIFAMI]	No	73,4%		(AGRIFAMI = Sí)

[1] Los valores se refieren a la muestra efectiva de 369 individuos incluidos en el análisis.
[2] +: a mayor valor de la variable, mayor DAP; –: a mayor valor de la variable, menor DAP; +/–: efecto *a priori* desconocido.
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4. Descriptivo de las variables de opinión, actitudes y hábitos utilizadas en el modelo[1]
Table 4. Descriptive of the opinion, habits and attitudes variables included in the model

Variable [ACRÓNIMO]	Unidades o categoría	Media o %	Desviación típica	Hipótesis[2]
Grado de concienciación ambiental [CONCAMB]	Likert [1,5]: 1: Ninguno … 5: Muy elevado	3,8	1,0	+
Opina que el presupuesto de la PAC para provisión agraria de BBPP es demasiado alto [PRESUPAC]	Sí	26,8%		–
	No	73,2%		PRESUPAC = Sí
Opina que debe compensarse a los agricultores por cumplir el programa [AYUDAS]	Sí	80,2%		+
	No	19,8%		AYUDAS = Sí
Opina que el programa debe ser obligatorio para todos los olivareros de montaña [OBLIGAT]	Sí	39,0%		+
	No	61,0%		OBLIGAT = Sí
Opina que organismos privados deben encargarse de implementar el programa [PRIVADA]	Sí	15,2%		+/–
	No	84,8%		PRIVADA = Sí
Opina que la admón. local debe encargarse de implementar el programa [ADMLOC]	Sí	14,9%		+/–
	No	85,1%		ADMLOC = Sí
Opina que debería promoverse la conversión del olivar de montaña en tierras de monte [CONVERS]	Likert [1,7]: 1: Totalmente en desacuerdo… 7: Totalmente de acuerdo	4,0	1,2	+/–
Prefiere el aceite de oliva producido por el olivar de montaña [ACEMONT]	Likert [1,7]: 1: Totalmente en desacuerdo… 7: Totalmente de acuerdo	4,2	1,6	+
Opina que sus respuestas serán tenidas en cuenta para el diseño del programa [CONSECUEN]	Likert [1,7]: 1: Totalmente en desacuerdo… 7: Totalmente de acuerdo	2,9	1,0	+
Nº de veces que ha salido al campo en su tiempo libre durante el último año [CAMPO]	Likert [1,5]: 1: Ninguna… 5: Más de 10 veces	3,4	1,4	+

[1] Los valores se refieren a la muestra efectiva de 369 individuos incluidos en el análisis.
[2] +: a mayor valor de la variable, mayor DAP; –: a mayor valor de la variable, menor DAP; +/–: efecto *a priori* desconocido.
Fuente: Elaboración propia.

tricas se ha empleado el test de Kruskal-Wallis, analizando las diferencias significativas por pares de clases empleando el test de Mann-Whitney aplicando la corrección de Bonferroni. Para el análisis de las variables dicotómicas se ha empleado el test Chi-cuadrado.

Resultados y discusión

Del total de 504 individuos encuestados, se encontraron 72 respuestas no válidas[5] y 63 respuestas fueron consideradas protesta[6]. En ambos casos, estas respuestas no fueron incluidas en el análisis, de manera que el total de observaciones válidas fue de 369.

Modelo de clases latentes

La Tabla 5 muestra los resultados del modelo de clases latentes. La primera parte de la tabla muestra los coeficientes asociados a los tres BBPP analizados, mientras que la segunda parte muestra los coeficientes asociados a las covariables predictivas que explican la asignación de los sujetos a cada clase. Para que el modelo pueda ser estimado, los coeficientes de la clase 3 son fijados a 0, mientras que para el resto de las clases los coeficientes son estimados libremente y se interpretan en relación con esta clase normalizada. En general el MCL obtenido presenta una buena bondad de ajuste como se desprende del estadístico pseudo-R^2 de 0,348.

Los resultados muestran tres clases homogéneas pero muy diferentes entre sí. La clase 1 (CL1), que supone el 22,0% de la muestra, no presenta ninguno de los parámetros de los atributos como significativamente diferentes de cero, lo cual indica una preferencia nula por las alternativas de mejora de la provisión de BBPP. La clase 2 (CL2) (14,1% de la muestra) tan sólo presenta significativos los parámetros relativos al coste y a la vitalidad de las zonas rurales, mientras que en la clase 3 (CL3) (63,9% de la muestra) todos los parámetros de los atributos resultan significativos y presentan el signo esperado, esto es, positivo para los atributos relativos a los BBPP y negativo para el atributo coste.

El parámetro de la constante (ASC_{SQ}) es significativo para las tres clases, siendo positivo para la CL1 y negativo para las CL2 y CL3. Esto sugiere que, mientras que de forma general los individuos de las CL2 y CL3 muestran un comportamiento sistemático hacia las alternativas que ofrecen un incremento en la provisión de BBPP, los individuos de la CL1 muestran un comportamiento opuesto consistente en la preferencia hacia la situación actual.

5. El criterio para la identificación de respuestas no válidas fue fundamentalmente el reducido tiempo en la respuesta y el seguir un comportamiento sistemático de respuesta (p. ej., elegir siempre la misma alternativa de programa de mejora en el ejercicio de experimentos de elección para realizar más rápido las elecciones). La no inclusión de estas respuestas no válidas se justifica por el impacto que pueden presentar sobre las estimaciones de DAP, tal y como muestran Rocamora-Montiel *et al.* (2014a), entre otros.

6. Las respuestas protesta se identificaron siguiendo las directrices mostradas en Villanueva *et al.* (2017a), que consideran como tales las de aquellos individuos que eligen sistemáticamente la alternativa de situación actual argumentando motivos de naturaleza protestataria. Con este propósito se incluyó una pregunta en el cuestionario para que estos individuos indicasen las razones de sus elecciones, incluyendo razones representativas de ceros genuinos ("mi economía no permite hacer frente a esos pagos", "prefiero utilizar mi dinero en otras cosas", y "prefiero que el olivar de montaña andaluz siga como está ahora porque su situación es buena"), y de respuestas protesta ("considero injusto pedir que yo aporte dinero para ello", "aunque pagaría por ello, prefiero no hacerlo a través de un aumento en mis impuestos", y "no confío en que este programa de gestión vaya a tener los efectos positivos descritos"). Los 63 individuos identificados como respuestas protesta motivaron sus elecciones a través de estas últimas razones.

Tabla 5. Modelo de clases latentes
Table 5. Latent class model

	CL1		CL2		CL3	
	Coef.	Error típ.	Coef.	Error típ.	Coef.	Error típ.
Biodiversidad (Mejora en 1 especie de ave/explotación)	-0,017^{NS}	0,045	0,029^{NS}	0,026	0,031***	0,004
Funcionalidad del suelo (Reducción de la erosión en 1 estadio olímpico)	0,183^{NS}	0,171	0,050^{NS}	0,125	0,142***	0,019
Vitalidad rural (Reducción del 1% de las explotaciones en riesgo de abandono)	0,021^{NS}	0,019	0,034*	0,016	0,013***	0,002
Coste (aumento de impuestos)	-0,131^{NS}	0,080	-0,802***	0,127	-0,109***	0,007
Constante-ASC_{SQ}	3,588***	0,880	-3,856***	0,745	-2,162***	0,140
AYUDAS	-1,766***	0,397	-0,723^{NS}	0,487	Fijo	
OBLIGAT	-1,363***	0,380	-0,516^{NS}	0,366	Fijo	
PRIVADA	1,243**	0,441	0,749^{NS}	0,523	Fijo	
ADMONLOC	0,904*	0,422	-0,256^{NS}	0,579	Fijo	
CONVERS	0,268*	0,133	0,029^{NS}	0,122	Fijo	
CONSECUEN	-0,953***	0,199	-0,536**	0,195	Fijo	
CAMPO	-0,377**	0,133	-0,225^{+}	0,124	Fijo	
Constante específica de clase	3,048**	0,934	1,456^{NS}	0,003	Fijo	
Probabilidad de pertenencia a clase	0,220		0,141		0,639	
Log-verosimilitud (LL)	-1584,75					
McFadden pseudo-R^2	0,348					
AIC/N	1,460					
Número de individuos (nº de observaciones)	369 (2214)					

***, **, *, $^{+}$, ^{NS} muestran nivel de significación del 99,9%, 99%, 95%, 90% y no significativo, respectivamente.

La definición de las covariables puede consultarse en las Tablas 3 y 4.

Fuente: Elaboración propia.

En relación con el análisis de heterogeneidad relativo a las covariables que explican la asignación de los sujetos a cada una de las clases, el primer aspecto a destacar es que en el modelo final obtenido no aparecen variables de naturaleza sociodemográfica, de manera que todas las covariables están relacionadas con opiniones, actitudes y hábitos de los individuos respecto a la provisión de BBPP y la implementación de políticas encaminadas a su mejora. Así, tanto los individuos de la CL1 como los de la CL2 muestran un menor número de salidas al campo en su tiempo libre (CAMPO) que los de la CL3, lo que resulta coherente con estudios previos que analizan las preferencias hacia la provisión de BBPP por parte del olivar andaluz (Colombo *et al.*, 2006; Rodríguez-Entrena *et al.*, 2014). Claramente, este resultado muestra el diferente valor de uso que presentan los BBPP que produce el olivar en función de la clase. En el caso de los individuos de la CL1 muestran también una menor predisposición a compensar a los agricultores por cumplir el programa (AYUDAS) y una menor predisposición a que el programa sea obligatorio (OBLIGAT) respecto a los de la CL3, lo que está en línea con los resultados obtenidos por Rodríguez-Entrena *et al.* (2017). Por otro lado, los individuos de esta misma clase son más proclives hacia la conversión del olivar de montaña en tierras de monte (CONVERS), indicando de esta forma su mayor preferencia por la provisión no agraria de los BBPP.

Mención aparte merece la variable CONSECUEN. Esta variable refleja las opiniones de los encuestados en relación con la consideración de sus respuestas en la toma de decisiones a la hora de diseñar el programa, resultando significativa y con signo negativo tanto para la CL1 como para la CL2. Ello indica que, en comparación con la CL3, los individuos de ambas clases consideran en menor medida que sus opiniones serán tenidas en cuenta en el diseño del programa. De esta forma, queda patente cómo la percepción de los individuos sobre si sus respuestas serán consideradas para el diseño de políticas (esto es, su percepción de la "consecuencialidad" de sus respuestas) influye sobre las preferencias declaradas por el individuo respecto de la provisión de BBPP. Este efecto de la "consecuencialidad" percibida ha sido identificado en los trabajos previos de Herriges *et al.* (2010) y Vossler y Watson (2013), pero por primera vez se evidencia en relación con la producción de BBPP por parte de los sistemas agrarios.

Finalmente, el análisis de las clases revela un resultado significativo de las variables PRIVADA y ADMONLOC en la CL1, indicando la preferencia de estos individuos por la implementación del programa a través de instituciones privadas y la administración local (en comparación con administraciones a escala superior), respectivamente, evidencia que parece indicar un cierto nivel de desconfianza de la población encuadrada en esta clase hacia la administración que actualmente implementa este tipo de programas (administración regional).

En la Tabla 6 se muestra la DAP media por los atributos relativos a los BBPP de cada clase. Como puede observarse, los resultados muestran DAP significativamente diferentes de cero para el bien público vitalidad de las zonas rurales en la CL2 y los tres BBPP en la CL3, mientras que en la CL1 las DAP no difieren significativamente de cero para ningún bien público. De ello se deduce que los individuos de la CL3 son los que están más dispuestos a pagar por mejorar los BBPP que provee el olivar de montaña; en concreto, 0,29 €/persona/año por mejorar una especie de ave por explotación, 1,31 €/persona/año por reducir la erosión en un estadio olímpico, y 0,12 €/persona/año por reducir en un 1% las explotaciones en riesgo de abandono. Los de la CL2 tan solo estarían dispuestos a pagar por mejorar la vitalidad de las zonas rurales, aun-

Tabla 6. Disposición a pagar de la población por cada atributo [(1)] (en €/persona/año)
Table 6. Willingness to pay for each attribute (in €/person/year)

Atributo	CL1	CL2	CL3	Total
Biodiversidad	-0,24^{NS}	0,04^{NS}	0,29***	0,18
(Mejora en 1 especie de ave/explotación)	(-2,59 – 1,53)	(-0,03 – 0,10)	(0,20 – 0,38)	(0,13 – 0,24)
Funcionalidad del suelo (Reducción de	1,81^{NS}	0,06^{NS}	1,31***	0,83
la erosión en 1 estadio olímpico)	(-4,10 – 11,72)	(-0,31 – 0,36)	(0,96 – 1,66)	(0,61 – 1,06)
Vitalidad rural (Reducción del 1% de las	0,04^{NS}	0,04*	0,12***	0,08
explotaciones en riesgo de abandono)	(-0,44 – 0,84)	(0,01 – 0,08)	(0,09 – 0,16)	(0,06 – 0,11)

[(1)] Entre paréntesis, los intervalos de confianza al 95% siguiendo el método *bootpstrap* de Krinsky y Robb (1986) (1000 extracciones).

***, **, *, ^{NS} muestran nivel de significación del 99,9%, 99%, 95% y no significativo, respectivamente.

Fuente: Elaboración propia.

que de forma reducida: 0,04 €/persona/año por reducir en un 1% las explotaciones en riesgo de abandono. Por último, los de la CL1 no estarían dispuestos a pagar por mejorar la provisión de ninguno de estos BBPP. Los resultados en este sentido se muestran congruentes con los obtenidos por Rodríguez-Entrena *et al.* (2014), quienes también identifican igualmente tres clases de individuos diferenciados por la DAP respecto de algunos BBPP (lucha frente al cambio climático, biodiversidad y conservación del suelo) producidos por el olivar andaluz en su conjunto.

Asimismo, cabe comparar los resultados de DAP obtenidos para el conjunto de la población (ver última columna de la Tabla 6) con las estimaciones obtenidas en estudios anteriores. Por ejemplo, Rodríguez-Entrena *et al.* (2012) obtuvieron una DAP media para el conjunto de la población andaluza de 0,58 €/persona/año para el incremento de la biodiversidad en una especie de ave y 0,52 €/persona/año para la reducción de la erosión en un estadio olímpico. Se puede observar cómo nuestras estimaciones de DAP son sensiblemente inferiores para el primero (0,18 €/persona/año por especie de ave) y superiores para el segundo (0,83 €/persona/año por estadio olímpico), cuando cabría esperar en ambos casos estimaciones inferiores habida cuenta de que las estimaciones de DAP de Rodríguez-Entrena *et al.* (2012) se refieren al conjunto del olivar andaluz y las nuestras únicamente al olivar de montaña en esta región. En el caso de la erosión del suelo, la población andaluza parece percibir que este problema es más severo en el olivar de montaña y, por tanto, estaría dispuesta a pagar más por reducirla en este sistema en comparación con el resto de los sistemas de olivar. En cuanto a la vitalidad de las zonas rurales, el valor obtenido en el presente trabajo (0,08 €/persona/año por la reducción de un 1% del nivel de abandono de explotaciones) es igualmente inferior al obtenido por Arriaza *et al.* (2008), quienes reportaron una DAP de 0,53 €/persona/año por una reducción equivalente del riesgo de abandono. La diferencia temporal entre ambos estudios, especialmente teniendo en cuenta las diferentes condiciones socioeconómicas existentes entre ambos momentos (pre- y post-crisis), podría explicar en gran medida dicha discrepancia.

Análisis bivariante de la heterogeneidad

A continuación se analizan las diferencias que presentan las clases identificadas en las distintas variables incluidas en el cuestionario. La Tabla 7 muestra los resultados obtenidos para las variables métricas, mientras que la Tabla 8 muestra los de las variables dicotómicas.

En línea con los resultados del MCL, las variables sociodemográficas (edad, estudios, lugar de residencia, etc.) no muestran diferencias significativas entre las clases (solo la variable SEXO muestra diferencias significativas, aunque al nivel del 90%); en cambio, sí aparecen para las variables actitudinales y de opinión. Así, el análisis bivariante muestra diferencias significativas para las covariables empleadas en el MCL, i. e., AYUDAS, OBLIGAT, PRIVADA, ADMONLOC, CONVERS, CONSECUEN y CAMPO. No obstante, este análisis muestra una fuente adicional de heterogeneidad observada indicando diferencias significativas para las variables relativas al grado de concienciación ambiental (CONCAMB), preferencia del aceite producido por el olivar de montaña (ACEMONT) y opinión de que el presupuesto de la PAC para provisión agraria de BBPP es demasiado alto (PRESUPAC), todas ellas asociadas igualmente a actitudes y opiniones de los individuos.

En general, los resultados del análisis bivariante vienen a corroborar las diferencias entre clases apuntadas por el modelo, mostrándose por tanto diferencias eminentemente entre las clases CL1 y CL3, quedando en un punto intermedio CL2. Así, respecto de las variables no incluidas en el modelo, este análisis añade que, en comparación con CL1 y CL2, los individuos de la CL3 muestran una mayor preferencia por el aceite de oliva procedente del

Tabla 7. Características de las clases (variables métricas)[1]
Table 7. Class characteristics (metric variables)

Tipo	Variable	CL1	CL2	CL3	Total	Kruskal-Wallis	p-valor
Sociodemográficas	EDAD	44,4	40,6	45,3	44,4	3,496	0,174
	HIJOS	0,4	0,2	0,5	0,4	3,842	0,146
	RENTA	3,7	3,4	3,8	3,7	1,848	0,397
Actitudes, opiniones	CONCAMB	$3,5^a$	$3,7^a$	$4,0^b$	3,8	13,409	0,001
y hábitos	CONVERS	$4,4^a$	$4,0^a$	$3,9^b$	4,0	7,007	0,030
	ACEMONT	$3,9^a$	$4,2^a$	$4,4^b$	4,2	5,808	0,055
	CONSECUEN	$2,4^a$	$2,7^a$	$3,1^b$	2,9	36,525	0,000
	CAMPO	$3,0^a$	$3,2^a$	$3,6^b$	3,4	13,624	0,001

[1] Para las variables que mostraron diferencias significativas entre clases de acuerdo con el test de Kruskal-Wallis, se analizaron las diferencias significativas por pares de clases empleando el test de Mann-Whitney (aplicando la corrección de Bonferroni). Los superíndices 'a' y 'b' denotan un subconjunto de clases cuyas medias difieren significativamente a un nivel del 95%. La definición de las variables puede consultarse en las Tablas 3 y 4.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8. Características de las clases (variables dicotómicas)[1]
Table 8. Class characteristics (dichotomous variables)

Tipo	Variable	CL1	CL2	CL3	Total	χ^2	p-valor
Sociodemográficas	SEXO = Mujer	31,7	51,0	43,7	42,0	5,484	0,064
	ESTUDIOS = Universidad	50,0	42,9	42,4	44,2	1,454	0,483
	HABITAT = Rural	32,9	40,8	32,8	33,9	1,216	0,544
	AGRIFAMI	30,5	26,5	25,2	26,6	0,871	0,647
Actitudes y opiniones	PRESUPAC	$46,3^{a}$	$42,9^{a}$	$16,8^{b}$	26,8	34,493	0,000
	AYUDAS	$54,9^{a}$	$77,6^{b}$	$89,5^{b}$	80,2	43,308	0,000
	OBLIGAT	$22,0^{a}$	$36,7^{ab}$	$45,4^{b}$	39,0	14,191	0,001
	PRIVADA	$34,1^{a}$	$18,4^{ab}$	$8,0^{b}$	15,2	32,877	0,000
	ADMONLOC	$25,6^{a}$	$10,2^{a}$	$12,2^{b}$	14,9	9,651	0,008

[1] Los superíndices 'a' y 'b' denotan un subconjunto de clases cuyas proporciones por columnas difieren significativamente a un nivel del 95%. En caso de no especificar subíndice indica no diferencias significativas al nivel 95%. La definición de las variables puede consultarse en las Tablas 3 y 4.

Fuente: Elaboración propia.

olivar de montaña (ACEMONT), y opinan en una mayor proporción que el presupuesto de la PAC para la provisión de BBPP no es demasiado alto (PRESUPAC). Asimismo, se observa que estos individuos se caracterizan por una mayor concienciación ambiental (CONCAMB), hecho ya contrastado en estudios previos relativos al olivar andaluz (Rodríguez-Entrena *et al.*, 2012; Rodríguez-Entrena *et al.*, 2014). Estos resultados son coherentes con los mostrados para el MCL, en la medida que los individuos de la CL3 muestran una mayor DAP por la provisión de BBPP en el olivar de montaña que los de las otras dos clases.

Apoyo a la toma de decisiones de políticas públicas

Los resultados obtenidos permiten considerar diversas derivadas relevantes desde el punto de vista del decisor de políticas públicas, tanto relativas a la agregación del montante que estaría dispuesta a pagar la población andaluza, como a otros aspectos relevantes relativos a las preferencias de los individuos sobre la implementación de políticas dirigidas a la provisión de BBPP por parte del olivar de montaña.

El montante total que la población andaluza estaría dispuesta a pagar por los principales BBPP (biodiversidad, funcionalidad del suelo y vitalidad de las zonas rurales) producidos por el olivar de montaña puede estimarse agregando las DAP individuales mostradas arriba para diferentes escenarios de mejora en la provisión de estos BBPP. Por ejemplo, para un escenario de *mejora moderada* (incremento de 8 especies de aves por explotación, reducción de la erosión en 2 estadios olímpicos, y reducción de un 20% de las explotaciones con riesgo de abandono), la DAP agregada ascendería a 31,8 millones de euros. Para un escenario de *mejora significativa* (incremento de 16 especies de aves por explotación, reduc-

ción de la erosión en 4 estadios olímpicos, y reducción de un 40% de las explotaciones con riesgo de abandono), la DAP agregada sería de 63,6 millones de euros. Estos importes, distribuidos entre toda la superficie de olivar de montaña de Andalucía (211.000 ha) equivaldrían a una ayuda por hectárea de olivar de montaña de 150,7 € para el caso de la mejora moderada, y de 301,5 € para el caso de la mejora significativa.

Estos cálculos se pueden comparar con los importes de ayuda de las medidas de la PAC dirigidas específicamente a la provisión de BBPP por parte del olivar de montaña en Andalucía. Las principales medidas en este sentido son las ayudas agroambientales y climáticas y las ayudas al mantenimiento de olivar en agricultura ecológica. A través de estos instrumentos de la PAC, el olivar de montaña puede optar a una ayuda de hasta 362 €/ha en caso de estar certificado en producción ecológica[7], o a una ayuda de 110-277 €/ ha en caso de estarlo en producción integrada[8]. Estos importes están en el mismo orden de magnitud que las estimaciones de DAP agregada obtenidas, si bien, con la información disponible, no se puede afirmar si la implementación de estas medidas está produciendo realmente mejoras en la provisión de BBPP asimilables a los escenarios antes planteados. Así, aunque no puede realizarse una comparación adecuada entre los importes de DAP agregada y los importes de ayudas de la PAC dirigidas a la provisión de BBPP, sí se evidencia la existencia de una mayoría de la población que se muestra dispuesta a pagar a cambio de la provisión de BBPP por parte del olivar de montaña, lo que justificaría el empleo de instrumentos para fomentar su provisión por parte de las administraciones públicas como las medidas agroambientales y climáticas antes mencionadas.

Por otro lado, cabe indagar sobre las implicaciones políticas que pueden extraerse de los resultados en relación con las preferencias de los individuos respecto a la implementación de instrumentos de política relativos a la provisión de BBPP por parte del olivar de montaña. Por ejemplo, de forma general nuestros resultados señalan a las variables de actitud y opinión como determinantes de la DAP por estos bienes, relegando las variables sociodemográficas a un papel secundario en este sentido. Estos resultados están en la línea de estudios previos como los de Colombo *et al.* (2006), Rodríguez-Entrena *et al.* (2014) y Rodríguez-Entrena *et al.* (2017), donde igualmente se identificaron las variables actitudinales y de opinión como determinantes de la DAP de los individuos respecto de la provisión de BBPP. No obstante, estos y otros estudios (como, por ejemplo, Arriaza *et al.*, 2008) identificaron también la existencia de variables sociodemográficas, tales como la edad o el nivel de estudios, que incidían sobre la DAP de forma significativa. Futuras investigaciones deberían aportar luz al objeto de aclarar esta diversidad de resultados, y determinar si, efectivamente, existe un creciente peso de las variables de actitud y de opinión con respecto de las sociodemográficas a la hora de determinar la DAP de la población. De confirmarse esta tendencia, ello implicaría una dificultad creciente a la hora de identificar qué población se beneficia en mayor medida de la implementación de las políticas dirigidas a mejorar la provisión de BBPP, dado que no sería posible anticipar la DAP de una determinada población sobre la base de sus características sociodemográficas.

7. Este importe se obtiene de sumar la ayuda para el olivar ecológico que es de 247,90 €/ha y el complemento específico de 114,14 €/ha que supone la línea de ayuda de *agricultura de montaña con orientación ecológica en olivar*.

8. El importe de esta línea de ayuda de *sistemas sostenibles de olivar* varía en función de parámetros como la pendiente de la parcela, el tipo, ancho y manejo de la cubierta vegetal, y del manejo de los restos de poda.

De los resultados relativos a las actitudes y opiniones y de cómo estas determinan la DAP por los BBPP producidos por el olivar de montaña se pueden extraer otras implicaciones políticas de calado. Estas implicaciones se refieren a: a) la opinión de la población respecto de los instrumentos de política a implementar para favorecer la provisión de BBPP, b) las preferencias sociales respecto a una eventual sustitución de dicha provisión por actividades no agrarias, y c) al potencial de emplear instrumentos de mercado para incentivar la provisión agraria de BBPP. Respecto de las opiniones relativas a los instrumentos de política, los resultados muestran que existe una preferencia mayoritaria por la mejora de la provisión de BBPP a través de un programa voluntario (61% de la población) y que implique una compensación económica para el agricultor (80% de la población). Esto sugiere que la actual implementación de mecanismos voluntarios como los programas agroambientales y climáticos resulta una opción adecuada (i. e., apoyada socialmente) para alcanzar los objetivos de provisión de BBPP demandados por la sociedad, en contraposición a instrumentos coercitivos (*command and control*, que implicarían obligatoriedad y no compensación al agricultor) o híbridos de estos y aquellos (p. ej., actual pagos básico y "verde" con condicionalidad, que hasta cierto punto implican obligatoriedad y compensación).

En relación con la opinión de la población andaluza respecto de la provisión no agraria de los BBPP producidos por el olivar de montaña, parece existir heterogeneidad de preferencias en este sentido. En efecto, nuestros resultados apuntan a que existe una parte importante de la población andaluza (38%) que está de acuerdo con promover la conversión de parcelas de olivar de montaña a tierras de monte, mientras que el resto se divide a partes iguales entre los que no están de acuerdo con esta opción y los que no muestran acuerdo ni desacuerdo. Estos resultados señalan que la posibilidad de la producción no agraria de los BBPP producidos por el olivar de montaña es moderadamente aceptada por la sociedad. Esta preferencia por la provisión no agraria es más acusada entre los individuos que no están dispuestos a pagar por la provisión de BBPP por este sistema agrario (47% a favor de promover la conversión de parcelas de olivar de montaña a tierras de monte, frente a un 16% que se muestran en contra). Este hecho podría indicar que tales individuos pueden estar cuestionándose la necesidad de mantener un sistema productivo cuya viabilidad económica está comprometida, de ahí que no contemplen la opción de pagar por los BBPP provistos por este sistema, y sí la de incentivar su conversión a usos forestales. Desgraciadamente, nuestros resultados no permiten contrastar esta hipótesis, ni si dichos individuos estarían dispuestos o no a pagar por los BBPP en caso de provisión no agraria. En cualquier caso, estas evidencias invitan a realizar futuras investigaciones en esta dirección, analizando tanto sus implicaciones desde el lado de la demanda (preferencias sociales de la provisión agraria frente a provisión no agraria) como del de la oferta (disposición de los agricultores a convertir sus plantaciones en tierras forestales).

En lo que se refiere a la opción de emplear instrumentos de mercado para fomentar la provisión de BBPP agraria, los resultados muestran que existe heterogeneidad en las preferencias de los encuestados en relación con el aceite de oliva procedente del olivar de montaña y cómo esta está igualmente relacionada con la DAP por los BBPP que provee este sistema. En concreto, los resultados muestran que los individuos que presentan una mayor DAP por los BBPP producidos por el olivar de montaña son a su vez los que más valoran el aceite de oliva producido por este en comparación con el de otros sistemas de olivar. Estos resultados sugieren que existe

potencial para adoptar estrategias de diferenciación de producto a la hora de comercializar el aceite de oliva de este sistema de olivar, a través de las cuales se podría obtener un mayor precio y/o cuota de mercado. En especial, el hecho de que una importante parte de la población (i. e., CL3) presente una elevada DAP por los BBPP que produce el olivar de montaña, apunta a la conveniencia de asociar la estrategia de diferenciación al elevado desempeño de este sistema respecto de la provisión de estos bienes. Esta estrategia (denominada como "comoditización" o *commodification*, en inglés) se basa en la idea de que el consumidor estaría dispuesto a pagar más por un aceite de oliva virgen extra que es producido en explotaciones donde a su vez se producen BBPP en alto grado. Sin embargo, es necesario destacar que en España las apreciaciones de los consumidores hacia los atributos diferenciales de los aceites de oliva son reducidas, lo que puede dificultar aplicar este tipo de estrategias.

Conclusiones

La sociedad andaluza muestra un comportamiento heterogéneo respecto al apoyo financiero hacia los BBPP producidos por parte del olivar de montaña. Así, mientras una mayoría de la población presenta una disposición a pagar por la mejora de los tres BBPP analizados (biodiversidad, funcionalidad del suelo y vitalidad de las zonas rurales), un porcentaje significativo de la población no muestra tal disposición, o bien lo hace de forma muy reducida y tan sólo por mejorar la vitalidad de las zonas rurales. En cualquier caso, el hecho de que una mayoría de la población esté dispuesta a pagar por mejorar la provisión de BBPP en el olivar de montaña evidenciaría la existencia de un fallo de mercado, lo que justifica el diseño e implementación de políticas para fomentar su provisión por parte de las administraciones públicas.

Según se ha podido observar, son las actitudes y opiniones de los individuos respecto a cuestiones medioambientales y de gobernanza las que mayoritariamente parecen determinar su pertenencia a un grupo u otro y, por tanto, su DAP en relación con la provisión de BBPP en el olivar de montaña. Por el contrario, las cuestiones sociodemográficas como la edad, la renta o el nivel de estudios no parecen presentar un papel determinante en este sentido.

De estos resultados se derivan asimismo importantes implicaciones de cara al diseño de políticas públicas para el fomento de la provisión de BBPP por parte del olivar de montaña. En primer lugar, desde el punto de vista meramente presupuestario, se ha mostrado la necesidad de evaluar el impacto de los diferentes instrumentos que puedan implementarse para la mejora de la provisión de BBPP, de manera que pueda determinarse si efectivamente su aplicación supone un aumento neto del bienestar social; es decir, si el presupuesto utilizado para dichas medidas es inferior al incremento de bienestar debido a la mejora de los BBPP derivada de su aplicación.

Asimismo, se ha podido evidenciar una preferencia general de la población por instrumentos voluntarios y que conlleven compensación para el agricultor, lo cual avala la estrategia de emplear instrumentos tales como las medidas agroambientales y climáticas para el fomento de esta provisión. De igual forma, los resultados aluden a otros aspectos relevantes que representan oportunidades para investigación futura, tales como una aceptación moderada de la población respecto de la provisión no agraria (i. e., conversión del olivar de montaña en tierras forestales) y el potencial de "comoditizar" la provisión agraria de BBPP a través de la diferenciación en el mercado del bien privado (aceite de oliva virgen extra) producido juntamente con aquellos.

Finalmente, de este estudio pueden derivarse futuras líneas de investigación relativas a la demanda de los BBPP por parte de la sociedad. Además de las líneas ya mencionadas, futuros trabajos deberían arrojar luz sobre el impacto de la percepción de la consecuencialidad sobre la DAP de los individuos. Asimismo, debería seguir avanzándose en el análisis de la heterogeneidad de las preferencias, introduciendo la dimensión espacial en su análisis de cara a determinar el tamaño del mercado (Schaafsma *et al.*, 2012), lo que permitiría un cálculo más preciso de la DAP total como agregación de la DAP individual de la población encuadrada dentro de dicho mercado.

Agradecimientos

Los autores agradecen los comentarios y sugerencias realizados por los revisores anónimos durante el proceso de evaluación del artículo, los cuales han contribuido a la mejora del documento final. Este trabajo ha sido financiado por el programa Horizonte 2020 de investigación e innovación de la Unión Europea a través del proyecto PROVIDE (*PROVIding smart DElivery of public goods by EU agriculture and forestry*, Grant agreement No 633838).

Bibliografía

Arriaza M, Gomez-Limon JA, Kallas Z, Nekhay O (2008). Demand for non-commodity outputs from mountain olive groves. Agricultural Economics Review 9: 5-23.

Boletín Oficial de la Junta de Andalucía (2015). Decreto 103/2015, de 10 de marzo, por el que se aprueba el Plan Director del Olivar. Boletín Oficial de la Junta de Andalucía, núm 54, de 19 de marzo de 2015, pp. 8-154.

Carpio AJ, Oteros J, Tortosa FS, Guerrero-Casado J (2016). Land use and biodiversity patterns of the herpetofauna: The role of olive groves. Acta Oecologica 70: 103-111.

Colombo S, Calatrava-Requena J, Hanley N (2006). Analysing the social benefits of soil conservation measures using stated preference methods. Ecological Economics 58: 850-861.

Colombo S, Camacho-Castillo J (2014). Caracterización del olivar de montaña andaluz para la implementación de los Contratos Territoriales de Zona Rural. ITEA. Información Técnica Económica Agraria 110: 282-299.

Colombo S, Glenk K, Rocamora-Montiel B (2016). Analysis of choice inconsistencies in on-line choice experiments: Impact on welfare measures. European Review of Agricultural Economics 43: 271-302.

Colombo S (2017). La rentabilidad de los distintos tipos de olivar y las estrategias de desarrollo. En: Economía y comercialización de los aceites de oliva. Factores y perspectivas para el liderazgo español del mercado global (Ed. Gómez-Limón JA, Parras M), pp. 77-106. Cajamar Caja Rural, Almería.

Duarte J, Campos M, Guzmán JR, Beaufoy G, Farfán MA, Cotes B, Benítez E, Vargas JM, Muñoz-Cobo J (2009). Olivar y biodiversidad. En: Sostenibilidad de la producción de olivar en Andalucía (Ed. Gómez Calero JA), pp. 162-222. Consejería de Agricultura y Pesca, Junta de Andalucía, Sevilla.

EC (European Commission) (2010). The CAP towards 2020: Meeting the food, natural resources and territorial challenges of the future. COM(2010) 672 final. European Commission, Brussels.

EC (European Commission) (2013). Overview of CAP reform 2014-2020. European Commission, Brussels.

EC (European Commission) (2017). Reflection paper on the future of EU finances. European Commission, Brussels.

Gastón A, Blázquez-Cabrera S, Garrote G, Mateo-Sánchez MC, Beier P, Simón MA, Saura S (2016). Response to agriculture by a woodland species depends on cover type and behavioural state: Insights from resident and dispersing Iberian lynx. Journal of Applied Ecology 53: 814-824.

Gómez-Limón JA, Arriaza M (2011). Evaluación de la sostenibilidad de las explotaciones de olivar en Andalucía. Ed. Analistas Económicos de Andalucía, Málaga. 294 pp.

Hensher DA, Rose JM, Greene WH (2005). Applied choice analysis: A primer. Ed. Cambridge University Press, Cambridge (UK). 717 pp.

Herriges J, Kling C, Liu C-C, Tobias J (2010). What are the consequences of consequentiality? Journal of Environmental Economics and Management 59: 67-81.

Hess S, Ben-Akiva M, Gopinath D, Walker J (2011). Advantages of latent class over continuous mixture of logit models. Institute for Transport Studies, University of Leeds, Leeds (UK).

Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía (2016). Padrón municipal de habitantes. Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía, Sevilla.

Kallas Z, Gómez-Limón JA, Arriaza M, Nekhay O (2006). Análisis de la demanda de bienes y servicios no comerciales procedentes de la actividad agraria: El caso del olivar de montaña andaluz. Economía Agraria y Recursos Naturales 6: 49-79.

Krinsky I, Robb AL (1986). On approximating the statistical properties of elasticities. The Review of Economics and Statistics 68: 715-719.

Lancaster KJ (1966). A new approach to consumer theory. The Journal of Political Economy 74: 132-157.

McFadden DL (1974). Conditional logit analysis of qualitative choice behaviour. En: Frontiers in econometrics (Ed. Zarembka P), pp. 105-142. Academic Press, New York.

Nieto OM, Castro J, Fernández-Ondoño E (2013). Conventional tillage versus cover crops in relation to carbon fixation in Mediterranean olive cultivation. Plant and Soil 365: 321-335.

Rocamora-Montiel B, Colombo S, Glenk K (2014a). El impacto de las respuestas inconsistentes en las medidas de bienestar estimadas con el metodo del experimento de eleccion. Economía Agraria y Recursos Naturales 14: 27-48.

Rocamora-Montiel B, Colombo S, Salazar-Ordóñez M (2014b). Social attitudes in southern Spain to shape EU agricultural policy. Journal of Policy Modelling 36: 156-171.

Rocamora-Montiel B, Glenk K, Colombo S (2014c). Territorial management contracts as a tool to enhance the sustainability of sloping and mountainous olive orchards: Evidence from a case study in Southern Spain. Land Use Policy 41: 313-325.

Rodríguez-Entrena M, Barreiro-Hurlé J, Gómez-Limón JA, Espinosa-Goded M, Castro-Rodríguez J (2012). Evaluating the demand for carbon sequestration in olive grove soils as a strategy toward mitigating climate change. Journal of Environmental Management 112: 368-376.

Rodríguez-Entrena M, Espinosa-Goded M, Barreiro-Hurlé J (2014). The role of ancillary benefits on the value of agricultural soils carbon sequestration programmes: Evidence from a latent class approach to Andalusian olive groves. Ecological Economics 99: 63-73.

Rodríguez-Entrena M, Villanueva AJ, Arriaza M, Gómez-Limón JA (2016). ¿Es rentable el olivar andaluz? Un análisis por sistema productivo. Ed. Junta de Andalucía. Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera, Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural, Córdoba. 17 pp.

Rodríguez-Entrena M, Colombo S, Arriaza M (2017). The landscape of olive groves as a driver of the rural economy. Land Use Policy 65: 164-175.

Rose J, Bain S, Bliemer MCJ (2011). Experimental design strategies for stated preference studies dealing with non-market goods. En: The international handbook on non-market environmental valuation (Ed. Bennet J), pp. 273-299. Edward Elgar Publishing, Cheltenham (UK).

Ruiz M, Montiel A (2000). Introducción al conocimiento de la entomofauna del olivar en la provincia de Jaén. Aspectos cualitativos. Boletín de Sanidad Vegetal. Plagas 26: 129-148.

Ruiz M, Montiel A (2001). Introducción al conocimiento de la entomofauna del olivar en la provincia de Jaén. Aspectos cuantitativos. Boletín de Sanidad Vegetal. Plagas 27: 531-560.

Salazar-Ordóñez M, Sayadi S (2011). Environmental care in agriculture: A social perspective. Journal of Agricultural and Environmental Ethics 24: 243-258.

Salazar-Ordóñez M, Rodríguez-Entrena M, Sayadi S (2013). Agricultural sustainability from a societal view: An analysis of southern Spanish citizens. Journal of Agricultural and Environmental Ethics 26: 473-490.

Schaafsma M, Brouwer R, Rose J (2012). Directional heterogeneity in WTP models for environmental valuation. Ecological Economics 79: 21-31.

Viladomiu L, Rosell J (2004). Olive oil production and the rural economy of Spain. En: Sustaining agriculture and the rural economy: Governance, policy and multifunctionality (Ed. Brouwer F), pp. 223-246. Edward Elgar Publishing, Cheltenham (UK).

Villanueva AJ, Glenk K, Rodríguez-Entrena M (2017a). Protest responses and willingness to accept: Ecosystem services providers' preferences towards incentive-based schemes. Journal of Agricultural Economics 68: 801-821.

Villanueva AJ, Gómez-Limón JA, Rodríguez-Entrena M (2017b). Valoración de la oferta de bienes públicos por parte de los sistemas agrarios: el caso del olivar de montaña en Andalucía. Economía Agraria y Recursos Naturales 17: 25-58.

Villanueva AJ, Granado-Díaz R, Gómez-Limón JA (2017c). La producción de bienes públicos por parte de los sistemas agrarios. UCOpress, Córdoba. 276 pp.

Vossler CA, Watson SB (2013). Understanding the consequences of consequentiality: Testing the validity of stated preferences in the field. Journal of Economic Behavior & Organization 86: 137-147.

Xiloyannis C, Martinez Raya A, Kosmas C, Favia M (2008). Semi-intensive olive orchards on sloping land: Requiring good land husbandry for future development. Journal of Environmental Management 89: 110-119.

(Aceptado para publicación el 18 de diciembre de 2017)

Canales cortos de comercialización territoriales: conceptualización, caracterización y aplicación para el caso de Córdoba, España

L. Reina-Usuga[1,*], T. De-Haro[1] y C. Parra-López[2]

[1] Departamento de Economía, Sociología y Política Agrarias, E.T.S. Ingeniería Agronómica y de Montes, Universidad de Córdoba, Campus de Rabanales Ctra. Madrid-Cádiz Km. 396, Edificio Gregor Mendel (C-5), 3ª planta, ala Este. 14071, Córdoba, España

[2] Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera (IFAPA). Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural. Junta de Andalucía. Apdo. 2.027 – 18.080 Granada, España

Resumen

Este trabajo tiene como objetivo avanzar en la conceptualización y caracterización de los Canales Cortos de Comercialización Territoriales (CCCT), e ilustrar a nivel práctico esta caracterización en la ciudad de Córdoba (España), mediante el uso de técnicas de Análisis de Redes Sociales. Los resultados evidencian que los CCCT son una forma de acción colectiva que potencializa el capital relacional y el arraigo territorial. Se resalta la vinculación a economías alternativas, la participación de pequeños productores y la construcción de mecanismos de confianza. Así, se ponen de manifiesto cambios en la gobernanza alimentaria territorial al prevalecer la participación de organizaciones de la sociedad civil en este tipo de iniciativas.

Palabras clave: Sistema alimentario, territorio, capital relacional, gobernanza alimentaria territorial, mercado territorial, redes sociales.

Abstract
Territorial short food supply chains: conceptualization and characterization for the case of Córdoba, Spain

This paper aims at making progress in the conceptualization and characterization of Territorial Short Food Supply Chains (TSFSCs). As an illustration, this characterization is applied in the city of Córdoba (Spain), through the use of Social Network Analysis techniques. Results show that TSFSCs are a form of collective action that enhance relational capital and territorial embeddedness. The linkage among alternative economies, the participation of small producers, and the construction of trust mechanisms are emphasized. Thus, changes in territorial food governance are manifested by the prevailing participation of civil society organizations in this type of initiatives.

Keywords: Food system, territory, relational capital, territorial food governance, territorial market, social networks.

* Autor para correspondencia: z52reusm@uco.es
https://doi.org/10.12706/itea.2018.012

Introducción

Las dos últimas décadas han marcado un cambio importante en las dinámicas de la seguridad alimentaria a nivel mundial. Primero, se ha rescatado el papel social y ambiental de la agricultura que ha despertado el interés por el desarrollo rural territorial a nivel local y regional (Marsden, 2017). Segundo, ha surgido un consumo más consciente en algunos territorios, en el que consumidores y productores, como ciudadanos activos, dan nuevas formas y valores a sus relaciones en el sistema agroalimentario, tomando gran relevancia el tiempo y el espacio en el que tienen lugar (Goodman *et al*., 2012; Renting *et al*., 2012; Marsden, 2017). Y, finalmente, han emergido cuestiones relacionadas con la sostenibilidad y sus conexiones con la "nueva ecuación alimentaria" caracterizada por la subida de los precios de los alimentos, la degradación de los recursos naturales, los efectos del cambio climático (Morgan y Sonnino, 2010) y la concentración de poder en las industrias agroalimentarias (IPES-Food, 2017; Morague-Faus *et al*., 2017).

La reconfiguración de los vínculos entre las áreas rurales y urbanas, a través de movimientos alimentarios alternativos, gestados en oposición a la dinámica globalizadora se perfila como un vehículo innovador para crear un paradigma alimentario sostenible, que satisface al mismo tiempo las demandas de (in)seguridad y sostenibilidad alimentaria (Marsden y Morley, 2014).

Desde sus inicios, estos nuevos movimientos fueron conceptualizados en el contexto de las Redes Alimentarias Alternativas (RAA) (Renting *et al*., 2003; Goodman *et al.,* 2012; Moragues-Faus, 2017;) para referirse a la configuración (o reconfiguración) de un tipo de vínculos entre productores y consumidores diferentes a los establecidos bajo el régimen alimentario globalizado (Renting *et al.,* 2012; Sonnino *et al*., 2016). El constructo de RAA ha sido abordado desde diferentes enfoques y aproximaciones teóricas, siendo los Canales Cortos de Comercialización (CCC) (Renting *et al.,* 2003; Schmutz *et al*., 2017) una de las acepciones más difundidas en la literatura científica. El concepto de CCC es polisémico y, desde su introducción en la literatura de los estudios rurales y agroalimentarios, ha estado en constante cambio y evolución.

Algunos académicos diferencian dos perspectivas teóricas para abordarlo: la primera enfocada en el rol de los productores y la contribución potencial de este tipo de redes al desarrollo rural sostenible (Goodman *et al.,* 2012; Renting *et al.,* 2012; Mundler y Laughrea, 2016), y la segunda con un enfoque en el papel activo del consumidor, que a través del consumo consciente y movimientos sociales intenta transformar las estructuras del sistema alimentario (Lamine *et al*., 2012; Renting *et al.,* 2012; Sonnino, 2016; Moragues-Faus, 2017). Si bien los enfoques propuestos aluden a un espacio-tiempo dinámico en el que tienen lugar dichas interacciones, los CCC no han sido analizados desde una perspectiva territorial, en el que sean considerados todos los elementos que componen y definen el territorio; esto es, los recursos territoriales, los actores y los acuerdos institucionales (Sánchez-Zamora, 2014).

En este contexto, el presente artículo tiene dos objetivos: primero, avanzar en la conceptualización y caracterización de los Canales Cortos de Comercialización Territoriales (CCCT), profundizando en sus orígenes, características e implicaciones con el territorio; y, segundo, analizar el caso concreto de los CCCT en la ciudad de Córdoba, España, en la que este tipo de canales alternativos han proliferado en las últimas décadas. Para ello se utilizan técnicas de análisis de redes sociales, analizándose a nivel práctico los conceptos previamente desarrollados a nivel teórico.

Se ha seleccionado la ciudad de Córdoba debido al auge experimentado en los últimos

años en producción ecológica (MAPAMA, 2016); y en el conjunto de Andalucía se ha producido un aumento en el número de establecimientos mayoristas y minoristas especializados en la venta de productos ecológicos (MAPAMA, 2015). En cuanto a la presencia de RAA, en 1994 se registra en Córdoba la primera cooperativa de consumidores de productos ecológicos, pero es a partir de la década del 2000 cuando toman mayor fuerza este tipo de iniciativas (Sanabria, 2012) asistiendo a una proliferación de diferentes formas de autoabastecimiento y CCCT. En 2016, Córdoba se adhiere al Pacto de Política Alimentaria Urbana de Milán y, en 2017, a la Red de Ciudades por la Agroecología. En ambas iniciativas se promueven sistemas agroalimentarios sostenibles, inclusivos y resilientes, donde los CCC se configuran como una línea prioritaria.

Material y métodos

Dada la naturaleza de este artículo, se ha establecido una metodología para cada uno de los objetivos propuestos. El proceso metodológico fue el siguiente:

Conceptualización y caracterización de los CCCT

Para conceptualizar y caracterizar los CCCT se ha procedido a revisar la literatura existente y a su posterior análisis crítico. Así el proceso metodológico se basó en tres etapas:

Análisis bibliométrico

Con el fin de explorar la evolución temporal de los CCC en los estudios agro-alimentarios, se realizó una búsqueda bibliográfica en la base de datos científica SCOPUS.

Selección de artículos

Se hizo uso de la herramienta web de código abierto y gratuito *Tree of science – ToS* (http://tos.manizales.unal.edu.co/) para identificar los artículos científicos más relevantes. ToS se basa en la teoría de grafos donde se evalúan los artículos de acuerdo a tres indicadores: grado de entrada, intermediación y grado de salida. Los artículos con grado de entrada alto y salida cero, se les denomina *raíces* (artículos clásicos en la temática); los artículos con un grado de intermediación alto *tronco* (artículos que han desarrollado y/o consolidado la temática); y por último, y por cuestiones de visualización, los artículos con un grado de salida alto y un grado de entrada cero, *hojas* (artículos con perspectivas específicas o con enfoques recientes) (Robledo *et al*., 2014).

Análisis crítico

A partir del análisis arrojado por ToS, se procede a la revisión y análisis crítico, a partir de los cuales se construye el concepto de CCCT.

Estudio de los CCCT en Córdoba

Se ha realizado una investigación exploratoria/descriptiva, en la que la mayor parte de la información utilizada es primaria, recopilada entre noviembre de 2015 y diciembre de 2016 en el marco geográfico de la ciudad de Córdoba. El proceso metodológico fue el siguiente:

Identificación de las iniciativas

Se inició la identificación de iniciativas relacionadas con CCCT a partir de las organizaciones vinculadas a una asociación de productores/as y tomando como base el inventario de CCC en Andalucía realizado por González *et al.* (2012). Así, se implementó un muestreo por bola de nieve a partir de la referencia-

ción de las iniciativas de la asociación de productores/as, y de otras organizaciones que acompañan los procesos de RAA y soberanía alimentaria en la ciudad. Se obtuvo una base de iniciativas que implementan como estrategia los CCCT y se seleccionaron las que comercializan los siguientes productos: frutas, verduras, pan artesanal ecológico, vino ecológico y cerveza artesanal.

Selección de los potenciales entrevistados

Se recabó información de 22 iniciativas que abarcan todos los eslabones de la cadena de suministro, así como organizaciones que brindan apoyo o realizan gestión del territorio, quedando el reparto del siguiente modo: Producción (5 organizaciones), transformación (2 organizaciones), Distribución (5 organizaciones), Consumo (2 organizaciones), Colectivos Sociales (3 organizaciones), ONG/Universidades (4 organizaciones), Administración Pública (1 dependencia del Ayuntamiento).

Recolección de la información primaria

Se hizo uso de las siguientes técnicas:

I. Entrevistas personales: Se realizaron 22 entrevistas personales a representantes legales o delegados de las iniciativas que participan en CCCT, entre julio y octubre de 2016. Se utilizó un cuestionario semi-estructurado compuesto por dos partes: en la primera se describe la iniciativa; y en la segunda se identifican las interacciones de las organizaciones. Se identificaron las interacciones en el ámbito comunitario, es decir con quienes comparten información, organizan eventos o participan en actividades relacionas con temas de los CCCT (no existe intercambio monetario); y en el ámbito comercial, quién vende y quién compra productos en los CCCT (intercambio monetario). En cada interacción se calificó la intensidad, entre 1 y 10 (1 = muy baja intensidad, 10 = muy alta intensidad de relación).

II. Observación participante: Se observó la operación de 14 iniciativas que implementan CCCT en actividades clave: por ejemplo, en la organización de un día del mercado de productores (logística, desarrollo de las ventas, fijación de precios, etc.), asistencia a reuniones de asamblea u otros espacios de deliberación, entre otros. La información se recogió en una libreta de campo, y fue útil para complementar la información recopilada en las entrevistas.

Análisis de la información

Para el análisis de la información se siguieron técnicas de Análisis de Redes Sociales (ARS) y se utilizó el software de código abierto y gratuito Gephi 0.9.1 (https://gephi.org/). El ARS es un conjunto de técnicas de análisis para el estudio de las relaciones entre actores y las estructuras sociales que surgen de éstas. Las redes están conformadas por dos elementos básicos: los actores (nodos) representados por puntos en la red y las relaciones que se establecen (aristas) representados por líneas. Para su análisis se hace uso del lenguaje matemático de la teoría de grafos, de matrices y de álgebra relacional (Scott, 2017).

El ARS ha desarrollado una serie de indicadores y estadísticos que permiten caracterizar las estructuras de las redes y la posición de los nodos. La Tabla 1 muestra algunos indicadores importantes. Los indicadores de estructura (cohesión) son medidas de la red completa, frente a las medidas de los nodos que son indicadores individuales.

El ARS permite identificar el tipo de red que se conforma. Así se pueden identificar *redes cerradas* en la que todos los nodos están conectados o *redes con puente* en las que las relaciones no son tan fuertes, pero existen nodos conectores (Buciega y Esparcia, 2013).

Tabla 1. Principales indicadores en Análisis de Redes Sociales (ARS)
Table 1. Main indicators in Social Network Analysis

Estructura de la red		Posición de los nodos	
Grado medio	Es la media aritmética de las relaciones que tiene cada nodo	Grado	Nº de conexiones de un nodo; puede ser de entrada o salida
Diámetro de la red	Distancia más grande entre dos nodos	Cercanía	El nodo que está más cerca de todos los nodos
Densidad del grafo	Número de conexiones establecidas en la red sobre el total de conexiones posibles La densidad mide como de cerca está una red de ser completa. Una red completa tiene todas las aristas (relaciones) posibles y una densidad igual a 1	Intermediación	Las veces que un nodo está en la ruta que conecta a todos los otros nodos

Fuente: Elaboración propia a partir de Scott (2017).

Resultados

Conceptualización y caracterización de los Canales Cortos de Comercialización Territoriales

Concepto de CCCT

Para conceptualizar los Canales Cortos de Comercialización Territoriales (CCCT) se propone analizar tres elementos clave: i) origen; ii) perspectiva territorial, y iii) definición de los CCCT.

i) Origen

Las RAA, originadas como reacciones individuales y colectivas a la crisis de civilización, y como propuestas alternativas a las contradicciones de las cadenas alimentarias globalizadas (Goodman *et al.,* 2012) pueden adoptar fundamentalmente dos estructuras. La primera relacionada con estrategias de autoabastecimiento, como pueden ser los huertos colectivos, algunos tipos de agricultura urbana, como los jardines comunitarios o los jardines productivos de carácter individual. Y la segunda caracterizada por el intercambio comercial de los alimentos, en las que tienen lugar relaciones directas entre productores, consumidores y otros agentes del sistema alimentario. En esta última se enmarcan los CCCT con diversas formas de distribución, como los mercados de productores, los sistemas de pedidos por internet, y los esquemas de cesta, entre otros.

ii) Perspectiva territorial

Las nuevas relaciones entre productores y consumidores, gestadas en las RAA, se encuentran estrechamente ligadas al territorio donde se desarrollan, puesto que éste otorga un carácter singular a las mismas (González *et al.*, 2012). Aquí, la noción de territorio sobrepasa la idea reduccionista y estática de un mero espacio físico dado, proveedor de recursos naturales y materiales, para ser concebida como un proceso de construcción social determinado por los actores locales y sus interacciones para valorizar los recursos territoriales (Sánchez-Zamora *et al*., 2014), que genera potencialidades endógenas específicas.

La aproximación a la cuestión alimentaria desde diferentes geografías resalta la singularidad de las narrativas que emergen en cada lugar y que dan forma a las estrategias alimentarias (Sonnino, 2016), limitadas o potencializadas por los factores territoriales propios del lugar donde se desarrollan. Cobra aquí importancia el enfoque dinámico y evolutivo del territorio, tanto por el espacio físico (cambios en la disponibilidad de recursos naturales) como por los modos de apropiación que hacen del espacio los actores (Moranta Vidal y Pol Urrútia, 2005) que constantemente interactúan allí. Estas maneras de interacción social, convergentes y legitimadas, inciden en los procesos de organización territorial (D'Aquino, 2002), y en la configuración del capital social relacional.

iii) Hacia una definición de los CCCT

Así, al establecer el territorio como marco de desarrollo de las RAA, y en particular para las formas que conllevan un intercambio comercial, surgen los CCCT. Los mismos se definen aquí como formas de interacción rural-urbana de diferentes actores alimentarios, con sus conocimientos e intereses, que convergen para desarrollar visiones colectivas (Sonnino *et al.,* 2016) en torno a un territorio alimentario específico, con objetivos relacionados con valores sostenibles, y con una clara perspectiva de gobernanza agroalimentaria (Fabbrizzi *et al.,* 2014).

En términos comerciales, los CCCT se caracterizan por tener dos niveles de distribución: uno a través de la venta directa (sin intermediario), y otro, con un único intermediario entre productor y consumidor. En la conceptualización aquí propuesta no se contemplan las formas extendidas de CCC (Renting *et al.,* 2003), en las que se comercializan alimentos fuera de su región de producción (mercado nacional o internacional) bajo indicaciones geográficas de origen. Esto resalta la importancia de la proximidad territorial entre la producción y el consumo.

Los CCCT contribuyen a la construcción social de mercados, entendiéndose el mercado como un proceso constituido por la interacción de varios individuos que cooperan. Así, en su totalidad el proceso depende de la interacción humana (Von Mises, 1998), y se constituye, por tanto, en un espacio de relaciones sociales, en el que se enfatiza el carácter dinámico de la interacción y de la comunicación, así como la convergencia de intereses más allá del mero intercambio económico. Esta construcción social crea en cada territorio un mercado propio y particular, es decir, un mercado territorial o anidado (van der Ploeg *et al.,* 2012). Aquí, se resalta el *arraigo* propio de los CCCT *("*"Embedded/nested" en la literatura anglosajona), al subrayar su componente social como base para la acción económica y enfatizar la idea que las acciones económicas están enclavadas o embebidas en sistemas concretos de relaciones sociales (Granovetter, 1985).

Finalmente, y como consecuencia de todo lo expresado anteriormente, se ha elaborado la Figura 1, en la que se recogen sintética y visualmente los elementos de análisis que, en nuestra opinión deben considerarse para el caso de los CCCT.

La Figura 1, resalta la relación iterativa y bidireccional que tienen lugar entre las RAA y el territorio, al incidir los resultados de cada elemento en la configuración de las características del otro elemento. Justamente, en estas interacciones que tienen lugar entre las RAA y el territorio es donde surgen los CCCT.

Características de los CCCT

Una vez definido el concepto de CCCT, para caracterizar cada caso concreto se analizarán cuatro rasgos principales: i) la existencia de una base social robusta; ii) la participación de pequeños productores y minoristas; iii) la construcción confianza-calidad; iv) y la conexión con economías transformadoras. Estos elementos serán detallados en los siguientes apartados.

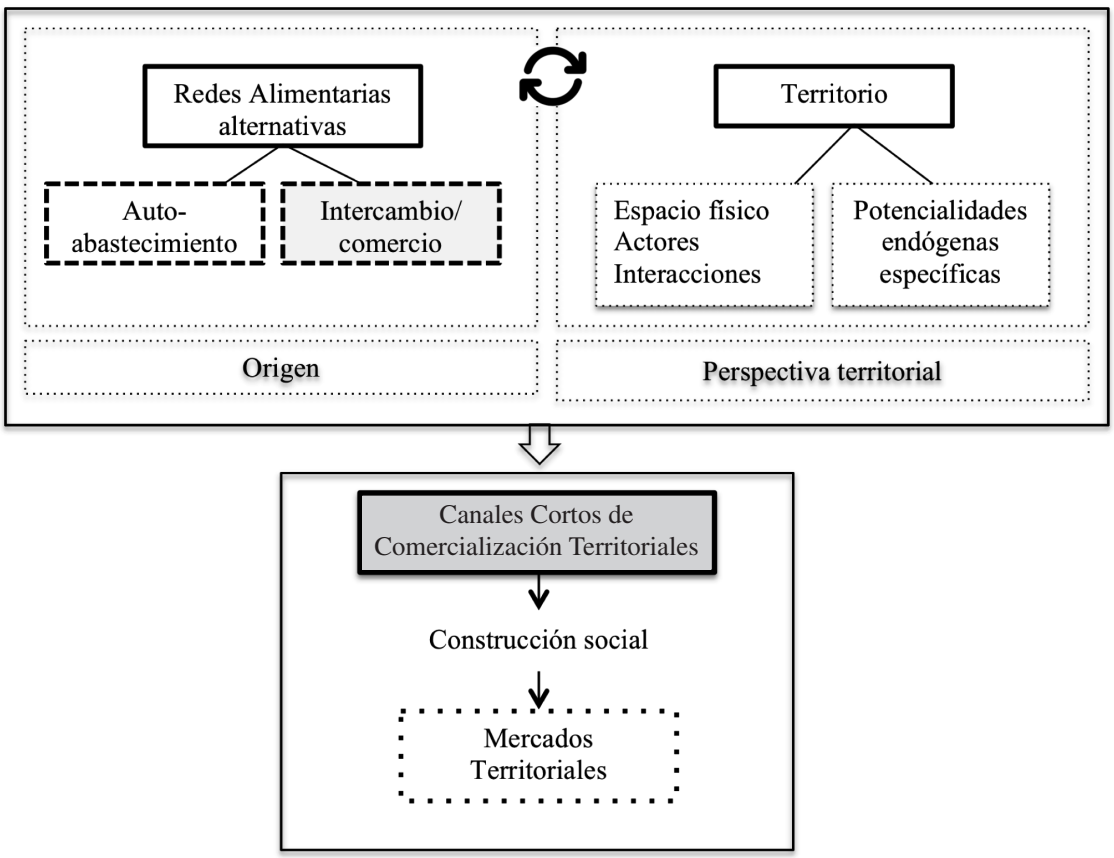


Figura 1. Elementos de análisis en los Canales Cortos de Comercialización Territoriales (CCCT).
Figure 1. Elements of analysis in Territorial Short Food Supply Chains (TSFSCs).

i) Base social

Los CCCT se gestan en el marco de acciones colectivas de actores presentes en un territorio específico, con el objetivo de solucionar un problema o enfrentar un desafío, siendo aquí el tema alimentario la clave que los reúne. Así, esta construcción de narrativas conjuntas, genera cambios en el rol y el peso de los diferentes mecanismos de gobernanza en los sistemas agroalimentarios, y principalmente sugiere la necesidad de una reevaluación del rol de la sociedad civil como conductor de los mecanismos de gobernanza (Candel, 2014). La gobernanza alimentaria desempeña un papel crucial en las cuestiones de seguridad alimentaria (Candel, 2014), así como en la sostenibilidad (Marsden y Morley, 2014), al recombinar democracia, conocimiento y acción colectiva (Sonnino *et al.,* 2016).

ii) Participación de pequeños productores y minoristas

Vistos desde la producción, los CCCT promueven la vinculación de pequeños productores, tipificados en algunos países, como agricultura familiar y/o campesina, en las que se resaltan las características de la multifun-

cionalidad de la agricultura (o el territorio rural) (Marsden y Sonnino, 2008), prevaleciendo la producción de policultivos y la pluriactividad (van der Ploeg *et al.,* 2012), así como la participación en diferentes formas de CCCT (se refiere al uso de múltiples canales de comercialización en forma paralela).

En cuanto a los sistemas de producción, en los CCCT se encuentran dos tendencias: 1) un movimiento agroecológico, en el que los alimentos llevan esta calificación, y 2) un movimiento campesino, en el que los alimentos son reconocidos como campesinos, artesanales o naturales. Estas dos tendencias no compiten entre sí y en algunos territorios resulta imposible hacer la distinción entre ambas. Sin embargo, sí se ha evidenciado una mayor presencia del movimiento agroecológico en países industrializados, como los europeos (van der Ploeg *et al.,* 2012), y del movimiento campesino en países en vías de desarrollo, como los latinoamericanos (Ranaboldo y Arosio, 2014). Van der Ploeg *et al.* (2012) señalan que los mercados anidados han crecido considerablemente desde el año 2000, siendo una de las principales caraterísticas la oferta de productos de alta calidad y de producción ecológica. Asimismo, indica que los consumidores involucrados pertenecen a una categoría específica en la cual el tema ético se pone de relieve, y que son los países del norte los que pueden permitirse adoptar una posición ética hacia la alimentación. Sin embargo, en otros contextos, como los países latinoamericanos, en los que también han proliferado los CCCT, se resalta la vinculación de economías familiares campesinas, y la artículación de consumidores preocupados tanto por su propia seguridad alimentaria como por la pervivencia de dichas formas de producción, lo que refleja también un grado de preferencia ética en las elecciones de consumo. Así por ejemplo, en la iniciativa del programa Mercados Campesinos en Bogotá (Colombia), una gran proporción de los consumidores manifestó su interés por apoyar a las familias campesinas y la satisfacción por recordar sus vínculos con la ruralidad (Parrado y Molina, 2014).

Vistos desde la distribución, las formas de CCCT que involucran un intermediario, vinculan a pequeños minoristas locales, con ventas especializadas y diferenciadas de productos ecológicos, campesinos, naturales o artesanales. Algunos de estos establecimientos son emprendimientos individuales, y otros de carácter colectivo como cooperativas de consumidores.

iii) Construcción confianza-calidad

La confianza que se teje entre los diferentes eslabones de la red agroalimentaria de un territorio lleva intrínsecamente una definición social de calidad, basada en el conocimiento acerca de cómo se organiza la producción (van der Ploeg *et al.,* 2012). Algunos de los productores vinculados a la agroecología promueven su producción como ecológica, respaldada en sellos de certificación de terceras partes, como mecanismo de entrada a ciertos canales de comercialización y como respaldo de credibilidad de sus productos. Sin embargo, en los CCCT no todos los productos cuentan con una certificación de terceros, ya que se promueven nuevas formas de coordinación social como respaldo a sus prácticas y alimentos, tales como los Sistemas Participativos de Garantía o sellos de confianza. En algunos territorios basta con la "palabra" del campesino para que el comprador pueda conocer a su proveedor, el lugar y el proceso de producción (Parrado y Molina, 2014).

A través de estos mecanismos coordinados de calidad, se busca rescatar y conservar la gastronomía propia de cada territorio, que abarca tanto el conjunto de alimentos o platos típicos de una localidad, como las costumbres alimentarias, las tradiciones, los procesos, las personas y los estilos de vida que se definen alrededor de la misma (Di Clemente *et al.,* 2014). Así, la cocina tradicional de un territorio se convierte en un patrimonio de

éste, en el que se diferencia las materias primas de elaboración (semillas, variedades de cultivo o de razas de animales, estacionalidad, etc.), procesos de elaboración (recetas y procedimientos), utensilios de preparación y rituales sociales de consumo (algunas recetas únicamente se preparan en determinadas fechas, etc.). En los CCCT se promueve la conservación de estas tradiciones, al recuperar y conservar semillas nativas, promover productos de elaboración artesanal y propiciar encuentros entre productores y consumidores, en los que comparten recomendaciones de conservación y preparación de los alimentos.

iv) Conexión con economías transformadoras

Muchas de las iniciativas de CCCT surgen vinculadas a un ecosistema de economías transformadoras, entre las que se encuentran: la social y solidaria, las colaborativas, las comunitarias, las feministas, la circular, y el emprendimiento social, entre otras. Pero también vinculadas a economías no tan novedosas, aunque con claro alejamiento de la lógica capitalista como la economía campesina familiar (en especial en los países latinoamericanos), en las cuales las relaciones no tienen un mero valor económico (van der Ploeg *et al.,* 2012). Todas estas economías, en diferente medida, buscan desplazar del centro del sistema económico el capital, y colocar en su lugar el sostenimiento de la vida (algunas con enfoque antropológico), lo que permite transiciones como la economía basada en valores y la incorporación de raciocinios diferentes a los económicos en las elecciones de consumo. Así, se aboga por un consumo responsable, el comercio justo y la sostenibilidad. Estos son conceptos relevantes que involucran en muchos casos equilibrar las desigualdades sociales.

Canales Cortos de Comercialización Territoriales en Córdoba

La ciudad de Córdoba es un territorio en el cual se vienen desarrollando variadas formas de CCCT, adaptadas a las características del territorio, y en constante proceso de evolución. En los siguientes apartados se describen cada una de las características propias de los CCCT identificados en esta ciudad.

Base social

Para identificar la base social que soporta el movimiento de CCCT en Córdoba, se analiza el capital relacional (CR) que se genera entre las diferentes organizaciones vinculadas. Para ello i) se identifican los actores, ii) y sus interacciones en dos ámbitos: comunitario y comercial (ARS); y iii) se describe el tipo de CR que se origina.

i) Actores del movimiento CCCT en Córdoba

La Tabla 2 indica que en la red comunitaria convergen instituciones de diferente tipo, publicas orientadas tanto a la gestión de políticas como de conocimiento, así como una amplia participación de instituciones de la sociedad civil (p.ej. ONGs, medios de comunicación y diferentes formas de organización social). En la red comercial, la presencia de las instituciones públicas orientada a la gestión de políticas desaparece, y la de organismos de gestión del conocimiento disminuye notoriamente, prevaleciendo las organizaciones de la sociedad civil. Esto confirma lo enunciado por Candel (2014), en cuanto a la influencia de la sociedad civil para generar cambios en la gobernanza alimentaria territorial, ya que son justamente estas organizaciones las que están gestionando e impulsado los CCCT en Córdoba.

ii) Interacciones de los actores CCCT

Una vez identificados los actores presentes en Córdoba, se analiza cómo se relacionan entre ellos (a través de ARS), tomando como referencia el ámbito comunitario y el comercial. La Tabla 3 recoge algunos indicadores importantes de la red que se configura en cada ámbito y en la Figura 2 y la Figura 3 se representan gráficamente.

Tabla 2. Tipo de actores que participan en los Canales Cortos de Comercialización Territoriales (CCCT) en Córdoba
Table 2. Type of actors involved in the Territorial Short Food Supply Chains (TSFSCs) in Córdoba

	Red comunitaria	Red comercial
	Quiénes comparten información, organizan eventos o participan en actividades relacionadas con temas de los CCCT	Quién vende y quién compra productos en los CCCT
Instituciones públicas orientadas a la gestión de las políticas	• Ayuntamientos • Diputación Provincial • Junta de Andalucía	
Organismos públicos orientados a la gestión del conocimiento	• Centros de Investigación • Universidad de Córdoba • Universidad Internacional de Andalucía • IES Felipe Solís (Cabra)	• Universidad de Córdoba • IES Felipe Solís (Cabra)
Instituciones de la sociedad civil	• Cooperativa de consumidores • Huertos de autoconsumo • Productores individuales • Colectivos sociales • Asociaciones de producción • Empresas de Economía Social y Solidaria (ESS) • Mercado social • ONG • Tiendas especializadas • Establecimiento de comercio alimentario con línea de productos ecológicos • Medios de comunicación	• Cooperativa de consumidores • Productores individuales • Asociaciones de producción y/ocomercio • Empresas de Economía Social y Solidaria (ESS) • Mercado social • ONGD • Tiendas especializadas • Establecimiento de comercio alimentario con línea de productos ecológicos

Fuente: Elaboración propia a partir de las entrevistas realizadas.

Tabla 3. Indicadores de la configuración de la red comunitaria y comercial
Table 3. Community and commercial network configuration indicators

	Nodos	Aristas	Grado medio	Diámetro de la red	Densidad de grafo
Red comunitaria	130	290	4,462	8	0,017
Red comercial	91	164	3,604	5	0,020

Fuente: Elaboración propia a partir de la aplicación del software Gephi 0.9.1.
Ver definiciones en Tabla 1.

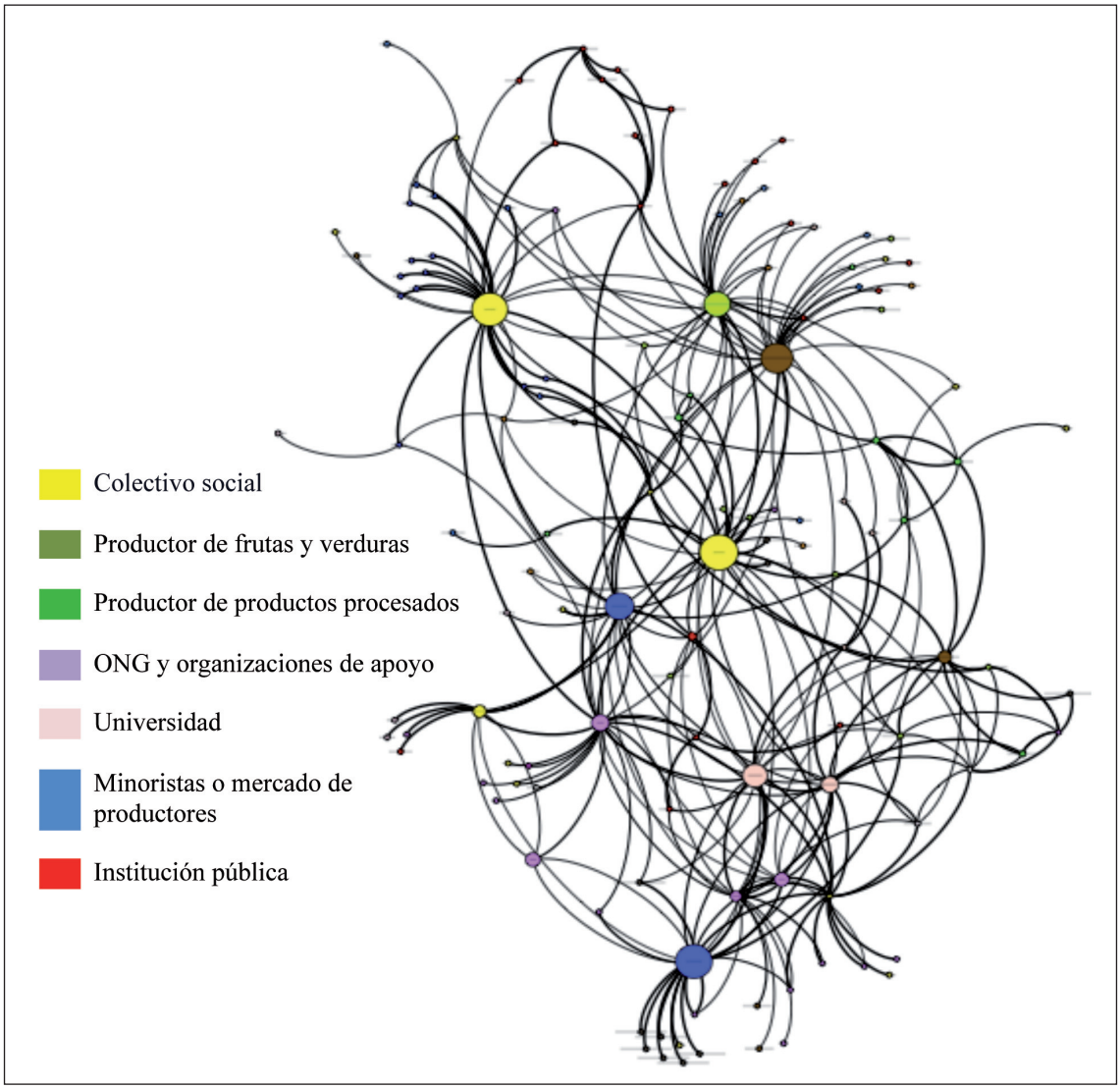


Figura 2. Red comunitaria de los Canales Cortos de Comercialización Territoriales (CCCT) en Córdoba.
Figure 2. Community network of Territorial Short Food Supply Chains (TSFSCs) in Córdoba.

Los datos de la Tabla 3 indican la participación de un mayor número de actores en la red comunitaria y por tanto de mayores interacciones con relación a la red comercial. La estructura general de las dos redes señala una baja densidad, lo que indica que no todos los actores están conectados entre ellos. Sin embargo, se puede decir que se encuentran bases sólidas para la existencia de un importante CR (Buciega y Esparcia, 2013) si se tiene en cuenta 1) que las redes son completas, es decir que no existe ningún actor desconectado, y 2) que al analizar el grado de centralidad o la posición de cada actor en la red, se ob-

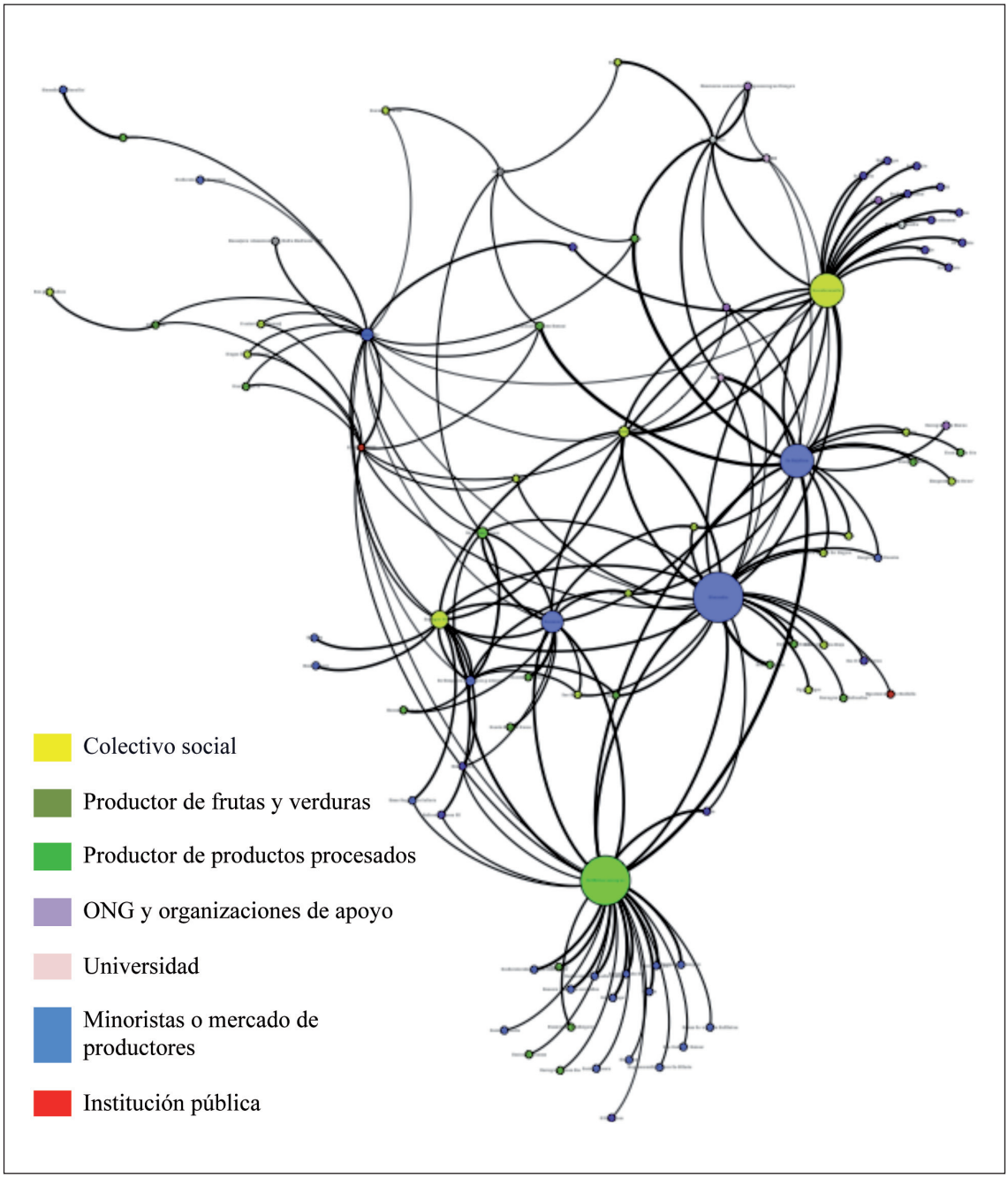


Figura 3. Red Comercial de los Canales Cortos de Comercialización Territoriales (CCCT) en Córdoba.
Figure 3. Commercial Network of Territorial Short Food Supply Chains (TSFSCs) in Córdoba.

serva que no hay un único actor central (red centralizada[1]) sino un conjunto de actores en el centro de la red, que estructuran una red descentralizada, que indica que el poder (medido por la centralidad de los nodos) está substancialmente distribuido a través de la estructura en lugar de estar concentrado en un actor en particular, como puede comprobarse visualmente en la Figura 2 y Figura 3.

Para conocer los actores que tienen un rol importante en la red, porque actúan como conectores entre actores que no tienen una conexión directa, se aplica el análisis de centralidad por intermediación, que se representan en la Figura 2 y Figura 3 por los nodos con un mayor tamaño. La centralidad por intermediación calcula el número de veces que un actor está en el camino de dos actores no vinculados, es decir la frecuencia con que un actor actúa como un puente entre dos actores no conectados entre sí. Esto indica que hay actores que juegan un papel crítico en la estructura de la red, pues ejercen una función de cohesión. En el caso de la red comunitaria (Figura 2) los actores-puente son los productores de alimentos frescos y procesados, los minoristas o mercado de productores y una organización de apoyo; mientras en la red comercial (Figura 3) lo son los puntos de comercio y los productores de alimentos frescos y procesados. Estos actores al estar mejor integrados en la red, pueden tener mayor influencia en el proceso de planificación y gestión, así como intervenir en las interacciones y acceder a mayores recursos dentro de la red (Lienert *et al.,* 2013). La identificación de los actores-puente es importante ya que, si se desea realizar una intervención externa (por ejemplo, desde la administración pública), el mejor camino de entrada a la red es a través de estos actores.

iii) Tipo de capital relacional

El ARS de los CCCT en Córdoba evidencia la interacción de diferentes tipos de actores, entre instituciones de carácter público, de gestión de políticas o del conocimiento; y de carácter privado, con diversidad de organizaciones de la sociedad civil. Así mismo, se destaca la existencia de actores-puente que facilitan la comunicación entre los actores no conectados. Estás dos características, existencia de relaciones entre actores con características diferentes y existencia de intermediación, indican la configuración de un CR de *tipo puente* (bridging social capital) (Putman, 2001).

El CR de *tipo puente* se refiere a relaciones menos estrechas e intensas y más diversas, que son importantes para que las redes avancen y evolucionen hacia formas más cohesionadas (Putman, 2001). Las relaciones tipo puente son estratégicas y favorecen el acceso a otro tipo de recursos, conocimiento (Buciega y Esparcia, 2013) e innovaciones, que en caso de actuación individual de los actores no se obtendrían.

Este CR creado a partir de los CCCT puede ser entendido como un "recurso", que proporciona a los individuos y organizaciones vinculadas acceso a otros tipos de capitales, y allí se podría suscribir la idea de que detrás de la creación o mantenimiento de estas redes pueda haber una intencionalidad por parte de los actores. No obstante, también puede ser interpretado como un "instrumento", y no tanto como un fin en sí mismo. Así, se resalta el potencial del capital social para generar acción colectiva e impulsar procesos como los CCCT, sin perder de vista la influencia del marco institucional, que puede reforzarlo o debilitarlo (Buciega y Esparcia, 2013). De esta forma, el CR que se ha descrito no

1. En una red centralizada todos los nodos, menos uno, son periféricos y sólo pueden comunicarse a través del nodo central. La caída del nodo central priva del flujo de información a todos los demás nodos.

puede ser entendido como un elemento estable y permanente en Córdoba, sino como un atributo dinámico y cambiante en el tiempo, y dependiente de la interacción de los diferentes actores que se involucren.

Participación de pequeños productores y minoristas

Los productores que se encuentran vinculados a los diferentes CCCT en Córdoba se pueden catalogar como pequeños productores, propietarios de la tierra, pudiendo la tierra ser de propiedad familiar. La Tabla 4 señala que el área de producción está vinculada al tipo de producto, así los productos frescos ocupan un área de menos de tres ha. Mientas los productos procesados ocupan un área mayor y algunos de ellos no intervienen en la obtención de las materias primas. En cuanto a los sistemas de producción se evidencia una marcada tendencia de la producción ecológica. Sin embargo, algunos productores hacen mención específica de prácticas como la agroecología y la permacultura.

La conservación y recuperación de semillas nativas son algunas de las actividades que vienen desarrollando los productores que participan en los CCCT en Córdoba. Así se han rescatado la zanahoria arcoíris (morada y blanca), y algunas variedades de ajetes y nabos (Tabla 4). Por otro lado, la red comunitaria (Figura 2) ha permitido el contacto entre diferentes productores, que comparten e intercambian semillas, así como técnicas de producción.

Los CCCT en Córdoba adoptan diferentes formas para llegar al consumidor final, algunas de venta directa y otras a través de un intermediario. Los productores se vinculan a los CCCT a título individual o a través de cooperativas de productores y consumidores, y, generalmente, participan en diferentes formas de CCCT paralelamente. La Tabla 5 ilustra las principales formas encontradas en la ciudad.

Tabla 4. Características de los productores en los Canales Cortos de Comercialización Territoriales (CCCT) en Córdoba
Table 4. Farmers' features of Territorial Short Food Supply Chains (TSFSCs) in Córdoba

Tipo de producto		Área de producción	Tipo de producción	Tipo de certificación	Patrimonio gastronómico
Frescos	Frutas y hortalizas	<3 ha	Ecológica	Ecológica	Zanahoria arcoíris (morada y blanca)
			Agroecológica y de permacultura	Sin certificación	Ajetes
					Nabos
Procesados	Aceite de oliva	> 3 ha	Ecológica	Ecológica	
	Vino	38 ha	Ecológica	Ecológica	
	Cerveza	No interviene en la obtención de materias primas	Ecológica y artesanal	Ecológica Artesanal	
	Pan	No interviene en la obtención de materias primas	Ecológica y artesanal	Ecológica	

Fuente: Elaboración propia a partir de las entrevistas realizadas.

Tabla 5. Formas de los Canales Cortos de Comercialización Territoriales (CCCT) en Córdoba
Table 5. Schemes of Territorial Short Food Supply Chains (TSFSCs) in Córdoba

Tipo de CCCT	Características principales	Tipo de productos	Nº de iniciativas identificadas
Mercado de productores ecológicos	Encuentro de productores, y consumidores, en la que tienen lugar actividades de sensibilización y comercio	Productos ecológicos, y agroecológicos,	3
Sistema de cesta	La organización de pedidos y entregas son gestionadas por los mismos productores, quien entrega al consumidor una cesta con productos de temporada	Productos ecológicos y agroecológicos	6
Sistema de pedidos por internet	Funciona a través de sitios web en el que el consumidor elige los productos que desea adquirir y le son entregados en su domicilio	Productos agroecológicos y de permacultura	2
Tiendas especializadas	Son establecimientos de comercio minorista en los que se ofertan productos ecológicos, frescos y procesados	Productos ecológicos y agroecológicos	15
Cooperativa de productores y consumidores	Son establecimientos de comercio minorista en los que se ofertan productos ecológicos, frescos y procesados; los socios de la cooperativa tienen un descuento para la compra de los productos	Productos ecológicos y agroecológicos	1
Mercado social	Es un tipo de mercado que se da entre diferentes empresas asociativas y personas que cooperan entre ellas, y comparten principios de ESS, democracia y la ecología en su producción y consumo	Productos ecológicos, agroecológicos, locales y artesanales	1
Compras institucionales	En estos canales se encuentran tanto organizaciones privadas como públicas, prevaleciendo las primeras, con especial enfoque en restaurantes y hostelería	Productos ecológicos	22

Fuente: Elaboración propia a partir de las entrevistas realizadas.

Como evidencia la Tabla 5, en Córdoba los CCCT que incluyen un intermediario en su red comercial, vinculan pequeños minoristas locales, orientados a la oferta de productos especializados, ya sean ecológicos o de carácter local y artesanal. En este grupo se ubican, emprendimientos individuales como las tiendas especializadas, y emprendimientos colectivos como la cooperativa de productores y consumidores y el mercado social.

Construcción confianza-calidad

Como indican la Tabla 4 y Tabla 5, la gran mayoría de los CCCT comercializan productos respaldados por una certificación de producción ecológica, que en la mayoría de los casos es otorgada por la Asociación Valor Ecológico (entidad de certificación especializada en Producción Ecológica), ya que ésta se constituye en un requisito de entrada para algunos CCCT, y para obtener ciertos beneficios otorgados por las entidades públicas, como pueden ser líneas de financiación o la participación en eventos de promoción de la agricultura ecológica como BioCórdoba (feria anual de productores ecológicos promovida por entidades de la administración pública).

Por otro lado, se han venido gestando Sistemas Participativos de Garantía (SPG), en especial en aquelllos CCCT en los que participan productores certificados y no certificados; esto puede aludir al carácter colectivo de este tipo de CCCT y que de cara a los consumidores se muestra como un solo colectivo social; este es el caso de uno de los mercados de productores ecológicos de Córdoba. Sin embargo, algunas organizaciones no han desarrollado un proceso completo de SPG, pero en sus estatutos de constitución y operación han establecido lineamientos acerca de las características de los productos que compran y venden; este es el caso del mercado social.

Conexión con economías transformadoras

Los CCCT en Córdoba se han gestado en el marco de economías alternativas, y bajo dichos principios realizan actividades de sensibilización y comercio. La Tabla 6 resume la relación entre diferentes tipos de iniciativas de CCCT con diferentes economías transformadoras, siendo tres las más mencionadas: la economía social y solidaria, el comercio justo y la economía del bien común.

Algunos de los CCCT forman parte de organizaciones supra-territoriales como federaciones y redes de carácter nacional, siendo las más representativas: Federación Andaluza de Consumidores y Productores Ecológicos (FACPE), Red de Redes de Economía Alternativa y Solidaria (que también existe a nivel provincial y de comunidad autónoma), Campo de Energía de Córdoba (promotor de la Economía del Bien Común) y Coordinadora Estatal de Comercio Justo (CECJ).

Discusión

Las iniciativas de CCCT responden a las características propias del territorio y al bagaje histórico que lo ha forjado. Así, aunque se identifiquen formatos de CCCT en otros territorios, cada uno guardará su singularidad, relacionados con cada uno de los componentes del territorio: recursos territoriales, tipo de actores y acuerdos institucionales. Estos componentes, inciden en la forma de gestión, los productos que se comercializan y los mecanismos de gobernanza que impulsan los CCCT. En este apartado, se exponen algunas comparaciones de los CCCT en Córdoba y otros territorios, que refuerzan este planteamiento.

Tabla 6. Tipos de Canales Cortos de Comercialización Territoriales (CCCT) en Córdoba, en relación con economías transformadoras
Table 6. Types of Territorial Short Food Supply Chains (TSFSCs) in Córdoba related to alternative economies

Tipo de CCCT	Economía transformadora
Mercado de productores	Economía social y solidaria
	Comercio justo
	Economía del bien común
Sistemas de cestas	Economía social y solidaria
	Economía del bien común
Tiendas especializadas	Economía del bien común
	Comercio justo
	Economía basada en valores
Cooperativa de productores y consumidores	Economía del bien común
	Economía social y solidaria
	Comercio justo
Mercado social	Economía social y solidaria
	Comercio justo

Fuente: Elaboración propia a partir de las entrevistas realizadas.

El Mercado de Productores Ecológicos de Córdoba es una iniciativa auto-gestionada por los productores, transformadores y una cooperativa de comercio justo, que en el momento de recolección de información de esta investigación, dudaba de la posibilidad de mantener esta iniciativa, dada la restricción de permisos para la ocupación del espacio público. En contraste, los mercados de productores que han surgido en países como República Checa (Zagata, 2012), han sido promovidos por grupos de consumidores que promovieron la vinculación de productores no sólo de producción ecológica.

En el caso del sistema de cestas en Córdoba, es una actividad auto-gestionada por los mismos productores, y se viene desarrollando de manera similar en países como Reino Unido (Kirwan, 2004), Italia (Fabbrizzi *et al.,* 2014) y República Checa (Zagata, 2012). En este último país el ministerio de agricultura ha publicado una guía para implementar el sistema de cestas de productos ecológicos. En contraste, en Bogotá, el sistema de cestas cuenta con un intermediario encargado de acopiar la oferta de diferentes productores, armar las cestas y coordinar la entrega a los consumidores finales; allí los productos son de producción agroecológica y campesina, y no cuentan con una certificación de tercera parte (Reina-Usuga *et al.,* 2017).

Los anteriores ejemplos, afirman la importancia que han tenido las organizaciones de la sociedad civil en la promoción y el desarrollo de los CCCT, aunque el tipo de organización que los ha impulsado es de diferente naturaleza y está vinculada a las características propias de cada territorio. Se resalta la im-

portancia de este rol, ya que ello ha permitido identificar problemas y respuestas locales a cuestiones relacionadas con la seguridad alimentaria, así como desarrollar la capacidad entre diferentes agencias gubernamentales, sectores políticos y escalas de gobernanza (Candel, 2014).

Conclusiones

Aunque diferentes autores han sugerido que el lugar geográfico y el arraigo territorial tiene una dimensión relacional entre las unidades agrícolas y los CCC, no había sido abordada hasta ahora en la literatura académica una aproximación desde el territorio, entendido en una acepción dinámica, compuesta por un espacio topográfico dotado de unos recursos específicos, unos actores (agentes territoriales) que interactúan y crean acuerdos, e instituciones que transforman y desarrollan el mismo. Esto representa un carácter novedoso para esta investigación.

En la aproximación que se ha realizado a los CCCT en Córdoba (España), se evidencia un CR en el que participan organizaciones de diversa índole, conectadas, pero con una baja densidad de relaciones, lo cual favorece que no haya centralidad del poder. No obstante, existen actores-puente que conectan grupos de nodos aislados y destaca su papel como cohesionadores de la red. Se detecta una mayor participación de organizaciones en la red comunitaria que en la comercial, y en ambas redes predominan las organizaciones de la sociedad civil.

Los actores de los CCCT son pequeños productores orientados a la producción ecológica o agroecológica, denominación bajo la cual comercializan sus productos, y participan en varios CCCT simultáneamente (participación multicanal). La construcción de mecanismos de confianza se basa principalmente en la certificación de producción ecológica (por tercera parte), y en algunos colectivos se observan procesos participativos de garantía. Por otra parte, se señala la vinculación de los CCCT a economías transformadoras, como la economía social y solidaria, economía del bien común y el comercio justo.

Respecto a la metodología, el Análisis de Redes Sociales (ARS), resulta ser adecuado a pesar de su poco uso en el análisis de las RAA. Esta metodología presenta utilidad práctica y posibilidad de aplicación en otros estudios, lo que representa una aportación a nivel metodológico. Sin embargo, esta investigación no profundiza en el análisis de otros indicadores del ARS que podrían dar mayor entendimiento a la configuración del CR, así como identificar la posible relación del CR con el tipo de actores involucrados y establecer criterios para analizar el CR en los CCCT (por ejemplo, cuándo un CR es fuerte o débil). Así mismo, sería interesante complementar el ARS con otros tipos de análisis, que permitan identificar la concentración de poder en las redes o la influencia de ciertos tipos actores en el direccionamiento de la red (influencia coercitiva o flujos monetarios).

Finalmente, indicar que este trabajo abre un abanico de líneas de futuras investigaciones en lo referido al análisis de la sostenibilidad de los CCCT, de los cambios en los mecanismos de gobernanza del sistema alimentario territorial, y de las políticas públicas.

Agradecimientos

Este estudio ha sido posible gracias a la beca doctoral del programa Eulalinks Sense, así como a la acogida y dedicación de los informantes claves quienes desinteresadamente atendieron nuestra solicitud de colaboración, y que fueron pieza clave para culminar el trabajo.

Bibliografía

Buciega A, Esparcia J (2013). Desarrollo, Territorio y Capital Social. Un análisis a partir de dinámicas relacionales en el desarrollo rural. Redes. Revista Hispana Para El Análisis de Redes Sociales, 24(1): 81-113.

Candel J (2014). Food security governance: A systematic literature review. Food Security, 6(4): 585-601.

D'Aquino P (2002). Le territoire entre espace et pouvoir: Pour une planification territoriale ascendante. L'Espace Geographique, 31(1): 3-22.

Di Clemente E, Hernández Mogollón JM, López-Guzmán T (2014). La gastronomía como patrimonio cultural y motor del desarrollo turístico. Un análisis DAFO para Extremadura. Tejuelo: Didáctica de la Lengua y la Literatura. Educación. Monografico, 9: 817-833.

Fabbrizzi S, Menghini S, Marinelli N (2014). The short food supply chain: A concrete example of sustainability. A literature review. Rivista Di Studi Sulla Sostenibilita, 2(2): 189-206.

González I, De Haro T, Ramos E, Renting H (2012). Circuitos cortos de comercialización en Andalucía: un análisis exploratorio. Revista Española de Estudios Agrosociales Y Pesqueros, 232(c): 193-227.

Goodman D, DuPuis EM, Goodman MK (2012). Alternative Food Networks: Knowledge, Practice, and Politics. Ed. Routledge, Reino Unido. 320 pp. http://doi.org/10.4324/9780203804520

Granovetter M (1985). Economic Action and the Problem of Embeddedness. American Journal of Sociology, 91: 481-510.

IPES-Food (2017). Too big to feed: Exploring the impacts of mega-mergers, concentration, concentration of power in the agri-food sector. IPES-Food, 108 pp.

Kirwan J (2004). Alternative Strategies in the UK Agro-Food System: Interrogating the Alterity of Farmers' Markets. Sociologia Ruralis, 44(4): 395-415.

Lamine C, Darolt M, Brandenburg A (2012). The Civic and Social Dimensions of Food Production and Distribution in Alternative Food Networks in France and Southern Brazil. International Journal of Sociology of Agriculture and Food, 19(3): 383-401.

Lienert J, Schnetzer F, Ingold K (2013). Stakeholder analysis combined with social network analysis provides fine-grained insights into water infrastructure planning processes. Journal of Environmental Management, 125: 134-148.

MAPAMA (2015). Caracterización de la comercialización y distribución de productos ecológicos a través de los canales de venta especializados. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. 57 pp.

MAPAMA (2016). Agricultura Ecológica. Estadísticas 2015. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. 57 pp.

Marsden T, Sonnino R (2008). Rural development and the regional state: Denying multifunctional agriculture in the UK. Journal of Rural Studies, 24(4): 422-431.

Marsden T, Morley A (2014). Sustainable Food Systems. Sustainable Food Systems: Building a New Paradigm. Ed. Roudlegde. Reino Unido. 230 pp.

Marsden T (2017). Agri-Food and Rural Development; Sustainable place making. Ed. Bloomsbury. Reino Unido. 208 pp.

Moragues-Faus A (2017). Emancipatory or Neoliberal Food Politics? Exploring the "Politics of Collectivity" of Buying Groups in the Search for Egalitarian Food Democracies. Antipode, 49(2): 455-476. http://doi.org/10.1111/anti.12274

Moragues-Faus A, Sonnino R y Marsden T (2017). Exploring European food system vulnerabilities: Towards integrated food security governance. Environmental Science and Policy, 75(Sep): 184-215. http://doi.org/10.1016/j.envsci.2017.05.015

Moranta Vidal T, Pol Urrútia E (2005). La apropiación del espacio: una propuesta teórica para comprender la vinculación entre las personas y los lugares. Anuario De Psicología, 36: 281-297.

Morgan K, Sonnino R (2010). The urban foodscape: World cities and the new food equation.

Cambridge Journal of Regions, Economy and Society, 3(2): 209-224.

Mundler P, Laughrea S (2016). The contributions of short food supply chains to territorial development: A study of three Quebec territories. Journal of Rural Studies, 45: 218-229.

Parrado A, Molina JP (2014). Mercados campesinos: modelo de acceso a mercados y seguridad alimentaria en la región central de Colombia. Ed. Universidad Nacional de Colombia. Colombia. 184 pp.

Putman R (2001). Social Capital Measurement. Canadian Journal of Policy Research, 2(1): 41-51.

Ranaboldo C, Arosio M (2014). Rural-Urban Linkages: Short food chains and local food systems, working paper series N° 129, Working group: Development with Territorial Cohesion, Territorial Cohesion for Development Program. 12 pp.

Reina-Usuga L, De Haro T, Parra-López C (2017). Reshaping local food systems : The case of Territorial Short Food Supply Chains. In The Procedings of the 27th European Society for Rural Sociology Congress, 24 al 27 de julio, Cracovia, Polonia, pp. 319.

Renting H, Marsden TK, Banks J (2003). Understanding alternative food networks: Exploring the role of short food supply chains in rural development. Environment and Planning A: Economy and Space, 35(3): 393-411. http://doi.org/10.1068/a3510

Renting H, Schermer M, Rossi A (2012). Building Food Democracy : Exploring Civic Food Networks and Newly Emerging Forms of Food Citizenship. International Journal of Sociology of Agriculture and Food, 19(3): 289-307.

Robledo S, Osorio GA, López C (2014). Networking en pequeña empresa: una revisión bibliográfica utilizando la teoría de grafos. Revista Vínculos, 11(2): 6-16.

Sanabria V (2012). La Acequia: Una experiencia de producción y consumo agroecológico en Córdoba. Tesis de master. Universidad de Córdoba. 70 pp.

Sánchez-Zamora P (2014). Crisis y ruralidad. Un análisis de los factores de resilencia en los territorios rurales de Andalucía. Tesis doctoral. Universidad de Córdoba. 229 pp.

Sánchez-Zamora P, Gallardo-Cobos R, Ceña-Delgado F (2014). Rural areas face the economic crisis: Analyzing the determinants of successful territorial dynamics. Journal of Rural Studies, 35: 11-25. http://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2014.03.007

Schmutz U, Kneafsey M, Sarrouy Kay C, Doernberg A, Zasada I (2017). Sustainability impact assessments of different urban short food supply chains: examples from London, UK. Renewable Agriculture and Food Systems: 1-11.

Scott J (2017). Social network analysis, 4th. SAGE publication Ltd. Reino Unido. 233 pp.

Sonnino R (2016). The new geography of food security: Exploring the potential of urban food strategies. Geographical Journal, 182(2): 190-200.

Sonnino R, Marsden T, Moragues-Faus A (2016). Relationalities and convergences in food security narratives: towards a place-based approach. Transactions of the Institute of British Geographers, 41(4): 477-489. http://doi.org/10.1111/tran.12137

van der Ploeg JD, Jingzhong Y, Schneider S (2012). Rural development through the construction of new, nested, markets: comparative perspectives from China, Brazil and the European Union. Journal of Peasant Studies, 39(1): 133-173.

Von Mises L (1998). Human Action: A Treatise on Economics. Ed. Ludwig von Mies Institute. EEUU. 952 pp

Zagata L (2012). 'We want farmers' markets!' case study of emerging civic food networks in the Czech Republic. International Journal of Sociology of Agriculture and Food, 19(3): 347–364.

(Aceptado para publicación el 12 de febrero 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.

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:

Acepto recibir información relacionada con la actualidad de la Asociación Interprofesional para el Desarrollo Agrario: ❑ Sí ❑ No

Asociación Interprofesional Para el Desarrollo Agrario – NIF: G50202530. Dir. Postal: Avda. Montañana 930 (CITA Aragón)
Teléfono: 976 716 305. Correo electrónico: administracion@aida-itea.org

"En nombre de la empresa tratamos la información que nos facilita con el fin de prestarles el servicio solicitado, realizar la facturación del mismo. Los datos proporcionados se conservarán mientras se mantenga la relación comercial o durante los años necesarios para cumplir con las obligaciones legales. Los datos no se cederán a terceros salvo en los casos en que exista una obligación legal. Usted tiene derecho a obtener confirmación sobre si en Asociación Interprofesional Para el Desarrollo Agrario estamos tratando sus datos personales por tanto tiene derecho a acceder a sus datos personales, rectificar los datos inexactos o solicitar su supresión cuando los datos ya no sean necesarios".

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 2
Junio 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