itea

información técnica económica agraria

REVISTA DE LA ASOCIACIÓN INTERPROFESIONAL PARA EL DESARROLLO AGRARIO



Volumen 113

Número 1

Marzo 2017

AIDA

www.aida-itea.org

itea

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

2017- AÑO XLVIII Vol. 113 N.º 1 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
SUBDIRECTOR: Pilar Andreu, EEAD Zaragoza. España
EDITORES CIENTÍFICOS: Alfonso Abecia, Universidad de Zaragoza. 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: Mireia Blanco, CITA de Aragón. España

COMITÉ DE REDACCIÓN: Javier Álvarez, Universitat de Lleida. España
Jorge Álvaro, EEAD Zaragoza. España
Arancha Arbeloa, EEAD Zaragoza. España
Carlos Calvete, CITA de Aragón. España
Fernando Escriu, CITA de Aragon. 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 • Mª Teresa Muiño, Universidad de Zaragoza, España • Julio Olivera, Universidad de la República, Uruguay • 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



Autor de la fotografía: José María Dieste. Texto: Begoña Panea.

La polinización es fundamental para que las plantas en flor produzcan semillas o frutos. Muchas especies de insectos visitan las flores para buscar su néctar o polen y al hacerlo, contribuyen a la polinización. La abeja melífera (*Apis mellifera*) es con mucho la más eficaz de las especies polinizadoras, visitan miles de flores cada día, con una media de 15 ó 20 viajes diarios en un radio de aproximadamente 1500 m alrededor de la colmena. Las abejas tienen una gran capacidad de adaptación a la flora existente, pero cuando eligen una especie determinada trabajan con ella hasta agotar sus reservas de néctar y polen. Las prácticas de intensificación agrícola disminuyen el número de polinizadores naturales, ya que cuando la mayoría del cultivo no ha florecido aún, serán necesarias otras fuentes de alimento para los insectos.

Editorial

Como todos los socios de la Asociación Interprofesional para el Desarrollo Agrario (AIDA) seréis conocedores, el próximo mes de mayo de este año 2017, AIDA hace 50 años de su fundación. ¿Os acordáis de cuando celebramos los 25 años? Hicimos una fiesta en el Campus de Aula-Dei a la que acudió José Urbieta, el entonces Consejero de Agricultura del Gobierno de Aragón, que era socio de AIDA. Y guardo con cariño el número especial "negro" que publicó ITEA, recogiendo lo hecho hasta entonces por la asociación. La actual Junta Directiva AIDA está preparando una serie de actos para celebrar "las bodas de oro de la asociación", y el primero, es este editorial.

Desde la revista ITEA, la revista de AIDA, queremos agradecer a todos aquellos socios que han dedicado su tiempo, conocimiento y esfuerzos a la asociación en la Junta Directiva de AIDA. Hemos hecho un documento recopilatorio en donde se recogen la composición de las distintas juntas Directivas de AIDA que han existido y que se puede consultar en nuestra página web.

Setenta y tres socios de AIDA han pertenecido a su Junta Directiva (ver tabla al final de la editorial). El promedio de permanencia en la Junta Directiva de AIDA de estos socios es de 2.622 días (unos 7 años). El socio que más tiempo ha pertenecido a la Junta Directiva de AIDA ha sido Rafael Socias (10.964 días, más de 30 años), seguido por Joaquín Uriarte (9.500 días, unos 26 años) y Emilio Manrique (8.044 días, unos 22 años). Puede que la característica de compromiso de las personas sea un carácter hereditario, o se promueva en las familias, pues en las juntas de AIDA ha habido un padre, Rafael Cambra (4.334 días, unos 12 años en la junta) y un hijo, Miguel Cambra (2.925 días, unos 8 años en la junta).

Hemos tenido 7 Presidentes, 13 Secretarios y 4 Tesoreros distintos, que son los cargos de la junta de AIDA que más tiempo dedican a tareas administrativas para la asociación. Cabe destacar que dos de los Secretarios, Emilia Puig (5.393 días, más 14 años en la junta) y Leonardo Plana (7.666 días, unos 21 años en la junta), fueron posteriormente Presidentes de AIDA, en el 1987 y en 1991 respectivamente.

Al principio todos los miembros de la Junta Directiva de AIDA eran socios. La primera mujer que entro en la Junta directiva fue Emilia Puig. Desde entonces 15 socias de AIDA (sólo el 20% de los 73 socios que han formado parte de la Junta Directiva) hemos pertenecido a su Junta Directiva. Se alcanzó la paridad entre socios y socias en la Junta Directiva de AIDA en el año 2012, pero en la Junta Directiva actual de AIDA hay más socias (7) que socios (4), y se encuentran ejerciendo de Secretaria Begoña Panea y de Tesorera Margalida Joy.

Los tiempos van cambiando y las situaciones también. Pero siempre hay gente dispuesta a dar lo mejor de sí mismo por las buenas ideas como la de AIDA. ¡Gracias!

Clara Mª Marín
Directora de ITEA

Relación de asociados de la Asociación Interprofesional para el Desarrollo Agrario (AIDA) que han pertenecido a la Junta Directiva de AIDA

Nombre	Periodo de tiempo en la Junta Directiva de AIDA
José M. Bolívar	Del 26-06-1967 al 12-05-1983
Pedro L. Sada	Del 26-06-1967 al 11-04-1973
Rafael Cambra	Del 26-06-1967 al 08-05-1979
Antonio Felipe	Del 26-06-1967 al 03-04-1968
	Del 11-05-1993 al 08-05-2008
Jesús Fernández	Del 26-06-1967 al 11-04-1973
	Del 31-05-1973 al 17-05-1977
Isidro Benítez-Sidón	Del 26-06-1967 al 10-03-1971
Manuel Bermejo	Del 26-06-1967 al 10-03-1971
Alfonso Bonmatí	Del 26-06-1967 al 19-04-1969
Julio Fernández	Del 26-06-1967 al 11-04-1973
Agustín López	Del 26-06-1967 al 10-03-1971
Gregorio Matallana	Del 26-06-1967 al 11-04-1973
Luis Rallo	Del 03-04-1968 al 10-03-1971
Cirilo Navarro	Del 03-04-1968 al 10-03-1971
Pedro Elejabeitia	Del 19-04-1969 al 11-04-1973
Gerardo Llácer	Del 10-03-1971 al 24-06-1971
Pedro Cabezuelo	Del 10-03-1971 al 13-05-1987
Fernando de Arieta	Del 10-03-1971 al 12-05-1983
Ignacio Palazón	Del 10-03-1971 al 06-03-1975
José L. Alejandre	Del 11-04-1973 al 02-02-1989
Jesús Provedo	Del 11-04-1973 al 21-05-1981
Ramiro Gil	Del 11-04-1973 al 17-05-1977
	Del 21-05-1981 al 10-05-1989
Delfín Reinoso	Del 11-04-1973 al 25-05-1981
Emilia Puig	Del 11-06-1974 al 14-02-1977
	Del 08-05-1979 al 08-05-1991
Manuel Sampayo	Del 06-03-1975 al 13-05-1987
Javier Cavero	Del 17-05-1977 al 18-05-1979
Miguel Valls	Del 17-05-1977 al 21-05-1981
Antonio Royo	Del 08-05-1979 al 13-05-1987
Manuel Catalán	Del 08-05-1979 al 11-05-1983
José R. Esteban	Del 21-05-1981 al 08-05-1985
Juan Pérez-Lanzac	Del 21-05-1981 al 08-05-1985
Antonio del Valle	Del 12-05-1983 al 13-05-1987
Carlos Zaragoza	Del 12-05-1983 al 13-05-1987
Rafael Socias	Del 13-05-1985 al 20-05-2015
José Valderrábano	Del 08-05-1985 al 10-05-1989

Nombre	Periodo de tiempo en la Junta Directiva de AIDA
Leonardo Plana	Del 13-05-1987 al 08-05-2008
Joaquín Uriarte	Del 13-05-1987 al 16-05-2013
Manuel Espejo	Del 13-05-1987 al 04-06-1987
Mariano Lorente	Del 17-11-1987 al 19-05-1990
Dunixi Gabiña	Del 19-04-1989 al 08-05-1991
Antonio Purroy	Del 10-05-1989 al 11-05-1993
Xabier Alibés	Del 10-05-1989 al 14-03-1991
Fernando Orús	Del 19-03-1990 al 11-05-1993
Beatriz Amorena	Del 14-03-1991 al 22-05-1997
Joaquín Gómez	Del 08-05-1991 al 15-05-2003
Miguel Cambra	Del 08-05-1991 al 11-05-1999
Gerardo Plaza	Del 11-05-1993 al 22-05-1997
Ricardo Revilla	Del 11-05-1993 al 26-04-2001
	Del 08-05-2008 al 07-02-2012
Emilio Manrique	Del 11-05-1993 al 20-05-2015
José Folch	Del 11-05-1993 al 26-04-2001
José M. Álvarez	Del 27-05-1995 al 07-02-2012
Pere Albertí	Del 22-05-1997 al 09-03-2015
Ignacio Delgado	Del 12-05-1999 al 15-05-2003
Ángel Ruiz	Del 26-04-2001 al 07-02-2012
Clara M. Marín	Del 26-04-2001 al 21-09-2005
Rafael Gella	Del 26-04-2001 al 15-05-2003
Eduardo Notivol	Del 15-05-2003 al 07-02-2012
M. Teresa Paramio	Del 15-05-2003 al 08-05-2008
Rafael Delfa	Del 15-05-2003 al 08-05-2008
Albina Sanz	Del 21-09-2005 a la actualidad
Begoña Panea	Del 08-05-2007 a la actualidad
Margalida Joy	Del 08-05-2007 a la actualidad
Marisol Arnedo	Del 10-06-2009 al 26-09-2014
Jorge H. Calvo	Del 07-02-2012 a la actualidad
M. José Rubio	Del 07-02-2012 al 20-05-2015
Ana Olaizola	Del 07-02-2012 al 20-05-2015
M. Dolores Quílez	Del 26-09-2014 a la actualidad
Ana B. Garcés	Del 26-09-2014 a la actualidad
Alfonso Abecia	Del 26-09-2014 a la actualidad
Juan A. Marín	Del 20-05-2015 a la actualidad
Isabel Casasús	Del 20-05-2015 a la actualidad
Daniel Isidoro	Del 20-05-2015 a la actualidad
Mireia Blanco	Del 23-06-2015 a la actualidad
Ana Pina	Del 23-06-2015 a la actualidad

Sumario

Producción Vegetal

Caracterización física, contenido de fenoles y capacidad antioxidante de maíces nativos *(Zea mays* L.) del Estado de México.
*Physical characterization, phenol content and antioxidant capacity of native maize (*Zea mays *L.) of the State of Mexico.*
J. Corona-Terán, C.A. López-Orona, S.J. Romero-Gómez y A.R. Martínez-Campos 5

Efecto del número de goteros y la frecuencia de riego sobre la producción, calidad del fruto y productividad del agua en una plantación de alta densidad de manzanos.
Effect of the number of drippers and irrigation frequency on production, fruit quality and water productivity in a high-density apple orchard.
J.R. Gispert, F. Ramírez de Cartagena, J.M. Villar, J. Rufat y I. Batlle 20

Producción Animal

Efecto de la inclusión de castaña en la formulación de piensos sobre calidad de la canal y la carne de cerdo industrial.
Effect the inclusion of chestnut in feed formulation on carcass and meat quality of industrial pig.
M.C. de Jesús, R. Domínguez, J. Cantalapiedra, A. Iglesias y J.M. Lorenzo 36

Efecto del protocolo de refrigeración aplicado a canales de añojos de raza Tudanca sobre la longitud de los sarcómeros y la calidad higiénica y físico-química de la carne.
Effect of post-slaughter refrigeration method applied to yearling Tudanca male carcasses on sarcomere length and hygienic and physicochemical meat quality.
E. Serrano, M.J. Humada, S. Gutiérrez y B. Castrillo 52

Economía Agraria

Análisis de los factores de resiliencia en territorios rurales de Andalucía mediante técnicas de Proceso Analítico en Red (ANP).
Analyzing resilience factors in rural territories of Andalusia through techniques of Analytical Network Process (ANP).
P. Sánchez-Zamora, R. Gallardo-Cobos y F. Ceña-Delgado 68

Impacto de la tarifación del agua de riego en el Bajo Guadalquivir.
Impact of irrigation water pricing in the Bajo Guadalquivir.
N.M. Montilla-López, C. Gutiérrez-Martín y J.A. Gómez-Limón 90

Caracterización física, contenido de fenoles y capacidad antioxidante de maíces nativos *(Zea mays* L.) del Estado de México

J. Corona-Terán[1,+], C.A. López-Orona[2,+], S.J. Romero-Gómez[3] y A.R. Martínez-Campos[1,*]

[1] Universidad Autónoma del Estado de México, Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales, Km. 14.5, Autopista Toluca-Atlacomulco, San Cayetano de Morelos, Toluca, Estado de México, CP 50295, México
[2] Universidad Autónoma de Sinaloa, Facultad de Agronomía, Carretera Culiacán-Eldorado, Km. 17.5, Culiacán de Rosales, Sinaloa, CP 80398, México
[3] Universidad Autónoma de Querétaro, Facultad de Química, Av. Hidalgo S/N, Col. Niños Héroes, Querétaro, CP 76010, México

Resumen

El estudio de la diversidad genética y fenotípica de los maíces nativos (*Zea mays* L.) propicia la conservación y aprovechamiento de los mismos. Se evaluaron 32 variedades nativas de maíz, recolectadas en el municipio de San Felipe del Progreso, Estado de México (México); los granos de dichas variedades varían en color desde blanco, amarillo, blanco-amarillo, negro y morado. Se analizaron las características estructurales, el contenido de fenoles totales, el contenido de antocianinas y la actividad antioxidante para estimar la variabilidad fenotípica de estas variedades de maíz y contar con elementos que permitan darle valor añadido. Los resultados muestran que los maíces de color negro son de estructura suave, presentaron el mayor contenido de endospermo harinoso (80,34%) y menor porcentaje de endospermo corneo (4,8%); fueron diferentes ($P < 0,05$) al resto de las variedades de color. El potencial antioxidante de las variedades amarillas fue el más bajo (32,3% de remanente de DPPH) y fue diferente ($P < 0,05$) a los demás grupos. No se encontró una correlación entre el potencial antioxidante y el contenido de fenoles totales.

Palabras clave: *Zea mays,* potencial antioxidante, diversidad fenotípica.

Abstract

Physical characterization, phenol content and antioxidant capacity of native maize (*Zea mays* L.) of the State of Mexico

Genetic diversity and phenotypic knowledge of native maize (*Zea mays* L.) contribute to its use and conservation. Varieties of native maize (n = 32), collected in the municipality of San Felipe del Progreso, Mexico State (Mexico), were studied in the current study. Maize grains of several different colours including white, yellow, white-yellowish, black and purple were analysed for grain structure, total content of phenols and anti-oxidant activity with the aim of assigning an added value to this native maize as well as considering the knowledge of its structure and anti-oxidant activity as a strategy for its conservation. Re-

* Autor para correspondencia: amartimacar@yahoo.com.mx

+ Ambos autores contribuyeron por igual al presente trabajo.

http://doi.org/10.12706/itea.2017.001

sults showed that black coloured maize registered a fragile structure, the highest content of floury endosperm (80.34%), the lowest percentage of horny endosperm (4.8%), and were different to the rest of coloured varieties. The yellow maize varieties had the lowest anti-oxidant potential (32.3% of residual DPPH). No correlation between anti-oxidant potential and total content of phenols was found.

Key words: *Zea mays,* antioxidant activity, phenotypic diversity.

Introducción

México es considerado el principal centro de origen del maíz (*Zea mays* L.), donde la diversidad que existe sobre esta gramínea es muy amplia y así lo demuestran las más de 59 razas de maíz descritas (Sánchez *et al.*, 2000; Matsuoka, 2005). El maíz es el cultivo agrícola más importante en México, debido a que constituye el alimento básico de su población; las costumbres y la cultura van ligadas a este cultivo, sin embargo, los maíces nativos de México, se encuentran amenazados por diferentes factores: migración, bajos precios, altos costes de producción, sequías, nuevas variedades y sustitución por otros cultivos más rentables (Aragón Cuevas *et al.*, 2006; Larson, 2008; Suárez *et al.*, 2013).

En el cultivo de maíz existe una gran diversidad en cuanto a tamaño y forma de la semilla debido a factores genéticos, ambientales y a la ubicación de ésta en la mazorca (Boyer y Hannah, 2001; Pérez de la Cerda *et al.*, 2007). México tiene una gran cantidad de variedades de maíz, cuyos granos presentan diversos colores: morados, azules, rojos, guindas, blancos, negros y amarillos. A estos maíces se les ha otorgado un valor agregado debido a su alto contenido de compuestos fenólicos del grupo de los flavonoides, entre los que destacan las antocianinas, a las cuales se les atribuye actividad antioxidante (Miguel *et al.*, 2004; Leyva, 2009). Los compuestos fenólicos son metabolitos secundarios de las plantas, de los que se han identificado más de 8 000 que difieren en estructuras químicas y en actividad (Ruíz Torres *et al.*, 2008). En el maíz, estos compuestos se han encontrado principalmente en el pericarpio, la aleurona, el endospermo y el embrión (Ruíz Torres *et al.*, 2008; Cabrera Soto *et al.*, 2009). El maíz contiene mayor cantidad de fenoles y capacidad antioxidante que otros cereales como el trigo, el arroz y la avena. Un compuesto fenólico es una molécula que incluye en su estructura un anillo bencénico con uno o más grupos hidroxilo. Estos compuestos son derivados de las sales 2-fenil-benzopirilo que existen en plantas generalmente como glucósidos, con excepción de unos pocos compuestos amino, los compuestos fenólicos del maíz se incluyen dentro del grupo de moléculas bioactivas no nutritivas (Liu, 2004).

Las antocianinas pertenecen a los flavonoides, un subgrupo importante de los compuestos fenólicos, y son pigmentos ampliamente distribuidos en las plantas. Estos compuestos son los responsables de los colores azul, púrpura y rojo en plantas comestibles, principalmente cereales y frutas. En estudios recientes, se ha determinado que los antioxidantes son esencialmente importantes para el cuerpo humano por la capacidad que tienen de proteger a las macromoléculas biológicas contra el daño oxidativo, ya que previenen o demoran el daño molecular producido por los radicales libres; y son utilizados para tratar desórdenes cardiovasculares, neurológicos y prevenir algunos cánceres (Kuskoski *et al.*, 2004; Blasco León, 2010). Las antocianinas son el grupo más importante de pigmentos que se hallan en las células epidermales o subepidermales de la planta, principalmente en flores y frutos. Para la industria, las antocianinas tienen un potencial considerable en la rama

alimentaria como aditivo, por su carácter inocuo. Debido a la presencia de las antocianinas, se abre una posibilidad de emplear maíces pigmentados para uso en la industria de alimentos, cosmética y de salud (Cuevas Montilla *et al.,* 2008). El tipo de uso del maíz está determinado principalmente por la estructura y composición química del grano, las diferencias dependen de la variedad así como de las prácticas de manejo, el clima, el suelo y los métodos de cosecha y postcosecha.

A partir de lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue determinar las características estructurales, el contenido de fenoles totales y el potencial antioxidante de 32 variedades de maíz nativo del Estado de México. Dichas características, contribuirán a identificar la diversidad fenotípica del maíz nativo, siendo un paso importante para establecer una estrategia de conservación.

Material y métodos

Muestras

En 2008 se realizó la colecta de material genético de 32 variedades de maíz nativo, cultivadas en distintas localidades del municipio de San Felipe del Progreso, Estado de México (México), la selección de las muestras se realizó mediante muestreo dirigido, a partir de la selección de informantes clave, Lazos Chavero en 2008 tiene registrados 26 variedades de maíz nativas en San Pedro el Alto y 31 variedades en San Pablo Tlachichilpan Ejidos pertenecientes a San Felipe del Progreso. Las muestras y la coloración de las variedades utilizadas en este estudio se muestran en la Tabla 1. Se realizaron dos siembras, la primera siembra se realizó el 8 de mayo de 2009 y la segunda el 9 de mayo de 2010, se utilizó un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones, cada unidad experimental constó de tres surcos de 100 m por variedad (densidad de 8 plantas por metro lineal). Se mantuvieron como cultivos de temporal con un riego de auxilio. La textura del suelo donde se establecieron los ensayos fue arcillosa. La distancia entre surcos fue de 80 cm y se les aplicó una fertilización química en pre-siembra de 136 kg de nitrógeno (300 kg de urea) por ha. La cosecha se realizó de manera manual al llegar al estado de madurez fisiológica del cultivo (180 días después de la fecha de siembra). Se obtuvieron 750 granos de muestra por repetición, los cuáles fueron extraídos de 30 mazorcas, procurando que no presentaran ataque por hongos o plagas y que no fueran vanas.

Preparación de la muestra

Cada muestra se deshidrató en una estufa de convección a 51°C durante 24 horas. Las muestras se molieron en molino de trituración (The Straus Company), se tamizaron con malla de 0,5 mm y posteriormente se almacenaron en frascos color ámbar hasta el momento de su análisis.

Características estructurales

El análisis de las características estructurales se llevó a cabo con la aplicación de la técnica de textura por disección, siguiendo la metodología propuesta por el Laboratorio Central de Desarrollo Industrial y Tecnológico, S.A. de C.V. (Leyva Ovalle *et al.*, 2002), la cual permite determinar los porcentajes de pedicelo, pericarpio, embrión, endospermo harinoso y endospermo córneo en granos de maíz.

Determinación de fenoles totales

La extracción de fenoles totales se realizó mezclando 10 ml de solución acuosa de metanol (30:70 v/v; agua: metanol) con 200 mg de muestra, se aplicaron dos ciclos de extracción de 10 minutos en un sonicador (Branston). Las

Tabla 1. Origen y pigmentación del grano de las variedades de maíz utilizadas en el estudio
Table 1. Origin and grain pigmentation of maize varieties used in the study

Nº	Código	Comunidad de origen	Pigmentación
1	LCC-23	La Concepción el Chico	Blanco
2	GC-21	Guadalupe Cote	Blanco
3	FN-42	Fresno Nichi	Blanco
4	LCA-16	La Carrera	Blanco
5	RS-24	La Soledad	Blanco
6	SNM-40	San Nicolás Mavati	Blanco
7	SJC -33	San Juan Cote	Blanco
8	LP-28	Las Palomas	Blanco
9	TE-9	Tres Estrellas	Blanco
10	FN1-35	Fresno Nichi	Blanco
11	SNM-38	San Nicolás Mavati	Blanco
12	FN-41	Fresno Nichi	Blanco
13	LM-7	La Manzana	Blanco
14	SNG-14	San Nicolás Guadalupe	Blanco
15	SNM-32	San Nicolás Mavati	Blanco
16	FN-43	Fresno Nichi	Blanco
17	RB-17	Rioyos Buenavista	Blanco-amarillo
18	LV-10	La Virgen	Blanco-amarillo
19	FN3-37	Fresno Nichi	Amarillo
20	RS-25	La Soledad	Amarillo
21	SNM-26	San Nicolás Mavati	Negro
22	SNG-B	San Nicolás Guadalupe	Negro
23	T-3	Tlachichilpa	Negro
24	FN2-36	Fresno Nichi	Negro
25	CC-15	Calvario del Carmen	Negro
26	B-30	Boreje	Morado
27	SML-22	San Miguel La Labor	Morado
28	SNM-34	San Nicolás Mavati	Morado
29	SIM-18	San Jerónimo Mavati	Morado
30	D-29	Dotegiare	Morado
31	LC-12	La Cienega	Morado
32	SJM-39	San Jerónimo Mavati	Morado

muestras se centrifugaron a 3000 rpm durante 10 minutos para separar el sobrenadante (Makkar, 2000).

Los fenoles totales en los extractos se determinaron mediante el método de Folin-Ciocalteau modificado (Makkar, 2000) para lo cual 0,05 ml de los extractos fueron diluidos con 450 ml de agua destilada, posteriormente se agregaron 0,25 ml de una solución (1:1) de Folin-Ciocalteau y finalmente se agregaron 1,25 ml de una solución de Na_2CO_3 al 20%. Posteriormente se incubaron en baño a 38ºC durante 40 minutos, y se determinó la absorbancia a 725 nm en un espectrofotómetro (Genesys 10 UV). El análisis se realizó por triplicado. Los resultados fueron expresados como mg de ácido tánico por cada 100 g de harina de maíz.

Determinación de antocianinas

La extracción de antocianinas se realizó mezclando 1 g de la muestra con 20 ml de una solución etanólica al 20% y pH = 2. Posteriormente, se aplicó un ciclo de extracción de 10 minutos en un sonicador, y se incubaron en baño a 75ºC durante 60 minutos, finalmente se procedió a centrifugar por 10 minutos a 3000 rpm (Gorriti Gutiérrez *et al.,* 2009).

Se tomaron dos muestras de 0,2 ml del extracto, a una se le agregaron 1,8 ml del tampón de KCl a pH = 1 y a la otra 1,8 ml de tampón de acetato de sodio (pH = 4,5). Posteriormente se leyeron las absorbancias a 510 nm y 700 nm. Las antocianinas fueron estimadas mediante el método de pH diferencial y su contenido se expresó como cianidina-3-glucósido, de acuerdo a la siguiente ecuación:

Donde:

ΔA (cambio en la absorbancia) = $(A_{510}-A_{700})$ a pH1.0 – $(A_{510}-A_{700})$ a pH4,5;

MW = masa molecular = 449,2 g/mol para cianidina-3-gluósido;

FD = factor de dilución;

1 = longitud de paso de celda en cm;

= 26900 (coeficiente de extinción molar) para cianidina-3-gluósido;

1000 = factor de conversión de gramos a miligramos (mg).

Determinación de la actividad antioxidante

Para determinar la actividad antioxidante se extrajeron 0,5 g de la muestra con 40 ml de una solución etanólica al 20% y pH 2. El efecto antioxidante de las muestras sobre el radical estable 2,2-difenil-1-picrilhidracilo (DPPH) se evaluó siguiendo la técnica de Gorriti Gutiérrez *et al.* (2009), los resultados se presentan en % de DPPH remanente después de 90 minutos. Los análisis fueron realizados por triplicado.

Análisis estadístico

El diseño experimental empleado para el análisis de los resultados fue bloques completamente al azar, cada variedad representa un tratamiento. El análisis de comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$) del contenido de fenoles, antocianinas y composición estructural fue realizado con el paquete estadístico Statistica13 (StatSoft, 2014), donde la variable independiente fue el color y las variables dependientes fueron los componentes estructurales, fenoles, antocianinas y DPPH. Adicionalmente se realizó un análisis de correlación múltiple entre los componentes estructurales, y otro entre fenoles, antocianinas y DPPH. Así mismo, los datos de los componentes estructurales fueron normalizados por raíz cuadrada para la realización de dendogramas por el método de Ward.

Resultados y discusión

No se encontró interacción significativa entre genotipo y ambiente (R^2: 0.002) en ambos ciclos de cultivo, por lo cual la media que se presenta es de ambos ciclos cultivo.

Características estructurales

Los porcentajes de pedicelo en todas las variedades analizadas estuvieron comprendidos en un rango de 3,72 a 5,88%, siendo la variedad amarilla RS-25 la que presentó el mayor porcentaje de pedicelo. Estos valores son superiores al 2,0% que establece la industria de harina nixtamalizada, como el mínimo necesario para facilitar el moldeado de la masa y mejorar su textura (Vázquez Carrillo *et al.,* 2003). No se observó correlación entre el pedicelo y el color del grano (Tabla 2), y en el dendrograma (Figura 1) se observa que se formaron 2 grupos mayores (distancia euclediana de 13.5) y 4 subrupos, dentro de los cuales están distribuidos todos los colores de granos.

Los valores de contenido de pericarpio de las variedades analizadas (Tabla 3) coinciden con los valores obtenidos de las variedades blandas reportadas por Vázquez Carrillo *et al.* (2003). Así mismo, Vázquez Carrillo *et al.* (2010) establecen que en esta estructura se encuentran las gomas que contribuyen a la cohesión de las partículas que constituyen la masa. El % del pericarpio no está correlacionado con el color del grano (Tabla 2). En el dendrograma se formaron 2 grupos mayores (distancia euclediana de 11) y 4 subgrupos (Figura 2).

El porcentaje de embrión varió de 9,59 (FN-41, variedad blanca) a 6,4 (SJC-33, variedad blanca), el cual se relaciona con un mayor contenido de aceite en el grano lo que contribuye a una mejor textura de las tortillas y una mejor nutrición para los consumidores, debido a la cantidad de ácidos grasos insaturados y niveles elevados de antioxidantes naturales (Bressani, 2008). El % del embrión no está relacionado con el color del grano (Tabla 2) y se observó en el dendrograma que en ambos grupos formados se encuentran diferentes colores; sin embargo, se observa una mayor fluctuación entre los granos de color blanco (Figura 3).

En cuanto al endospermo harinoso, el rango de los valores observados fue de 26,62 a 81,91% (Tabla 3). Se encontró una correlación entre el color del grano y la textura del grano, entre más oscuro es el grano es más suave, y entre más cristalino es más duro (Tabla 2). En el dendrograma se formaron dos grupos muy marcados con relación al endospermo harinoso, observándose, en general, que los granos de color negro tienen mucho más endospermo harinoso que los granos de otro color (Figura 4**)** (distancia euclediana de 230), caso contrario con el endospermo corneo, donde los granos de color negro son los que menos endospermo corneo tienen (Figura 5).

De acuerdo con estos valores de endospermo córneo y harinoso, el maíz negro se ubica como variedad blanda debido al contenido de endospermo harinoso, por lo que puede ser utilizado en la industria del nixtamal, pero debido a que la norma NMX-FF-034/1-SCFI-2002 (SAGARPA, 2002), establece que los granos con coloraciones negras están asociados a daños por calor, mientras que la presencia de coloraciones azules, moradas, anaranjadas o amarillas corresponden a granos contaminados con hongos, las variedades de color dentro de estas especificaciones encuentran un limitado campo de uso.

Determinación de fenoles totales

El contenido de fenoles totales, expresados como equivalentes de ácido tánico (TAE)/100 g de harina, estuvieron comprendidos entre 2813,7 y 5638,8 mg de TAE/100 g de harina. El valor más bajo correspondió a FN-42 (blanca) y el más alto a SNG-14 (blanca) (Tabla 4). No

Tabla 2. Correlación múltiple entre los componentes estructurales de los granos de maíz nativo del Estado de México, México
Table 2. Multiple correlation between the structural components of the grains of native corn from the State of Mexico, Mexico

Variable	Media[a]	Color	Pedicelo	Pericarpio	Embrión	Endospermo harinoso	Endospermo corneo
Color	2,46 ± 1,64	1,00					
Pedicelo	4,17 ± 0,66	0,25	1,00				
Pericarpio	5,45 ± 0,64	-0,18	0,13	1,00			
Embrión	8,03 ± 0,85	-0,04	0,14	0,20	1,00	–	
Endospermo harinoso	44,83 ± 14,15	0,50	0,17	-0,30	-0,07	1,00	
Endospermo corneo	37,48 ± 14,08	-0,50	-0,23	0,24	-0,00	-0,99	1,00

Nivel de significación de 0,05.

[a] Porcentaje de los componentes estructurales. El valor indicado es el promedio de ambos ciclos de cultivo y desviación estándar de seis repeticiones.

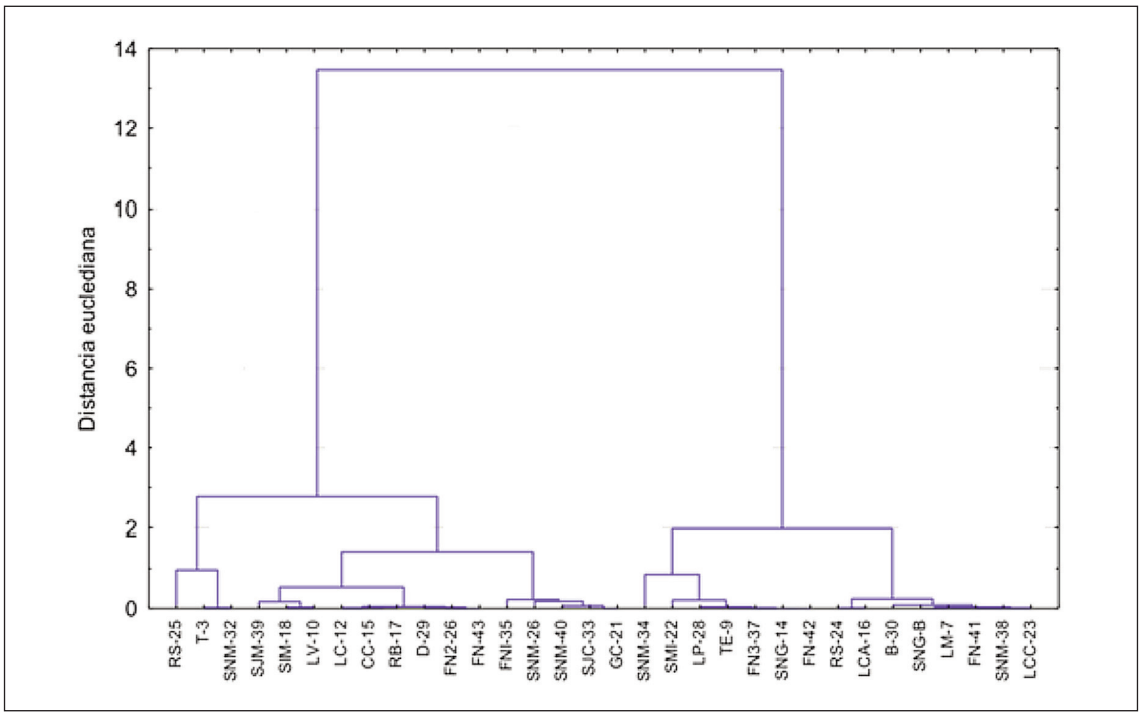


Figura 1. Dendrograma en base a los porcentajes de pedicelo de los maíces nativos del Estado de México.
Figure 1. Dendogram of native maize pedicel of the State of Mexico, Mexico.

Tabla 3. Porcentaje de los componentes estructurales del grano de los maíces nativos del Estado de México, México
Table 3. Structural components of native maize grain of the State of Mexico, Mexico

Código	Pedicelo	Pericarpio	Embrión	Endospermo harinoso	Endospermo corneo
LCC-23	3,72	4,7	6,64	26,62	58,33
GC-21	4,35	6,78	8,2	41,65	38,62
FN-42	3,47	6,05	7,43	39,3	43,75
LCA-16	3,8	5,52	8,19	37,62	44,88
RS-24	3,81	5,72	6,48	50,24	33,75
SNM-40	4,4	4,91	7,48	50,61	32,61
SJC -33	4,35	4,74	6,4	43,74	40,73
LP-28	3,44	4,78	8,22	37,92	45,65
TE-9	3,46	5,89	8,38	41,31	40,95
FN1-35	4,23	6,02	8,41	32,75	48,59
SNM-38	3,73	6,78	8,44	35,84	45,22
FN-41	3,73	4,79	9,59	37,78	44,11
LM-7	3,71	5,57	8,83	38,24	43,65
SNG-14	3,47	6,04	9,4	33,73	47,37
SNM-32	5,16	5,41	9,3	68,7	11,42
FN-43	4,63	5,74	8,61	33,68	47,34
RB-17	4,62	5,56	6,41	35,71	47,7
LV-10	4,74	4,7	7,65	47,5	35,41
FN3-37	3,47	4,57	8,8	35,71	47,22
RS-25	5,88	5,57	8,91	32,76	46,87
SNM-26	4,5	5,3	7,21	81,91	1,08
SNG-B	3,71	4,32	7,81	80,28	3,88
T-3	5,14	5,47	8,05	53,73	27,61
FN2-36	4,63	4,65	8,46	67,86	14,4
CC-15	4,61	5,62	8,61	69,64	11,53
B-30	3,66	4,74	7,51	43,9	40,15
SML-22	3,33	5,56	7,19	50,46	33,46
SNM-34	2,92	5,24	7,56	39,33	44,95
SIM-18	4,77	5,79	8,62	35,25	45,57
D-29	4,65	5,62	8,59	37,33	43,81
LC-12	4,6	5,69	7,46	34,45	47,79
SJM-39	4,89	6,78	8,42	39,28	41,25

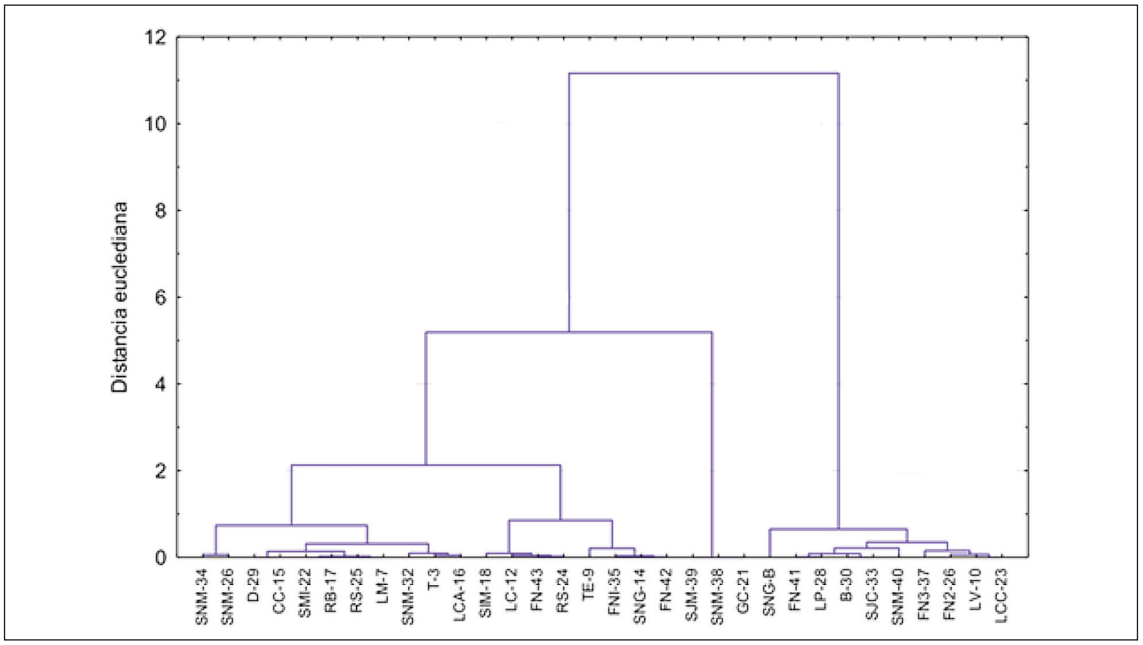


Figura 2. Dendrograma en base a los porcentajes de pericarpio de los maíces nativos del Estado de México.
Figure 2. Dendogram of native maize pericarp of the State of Mexico, Mexico.

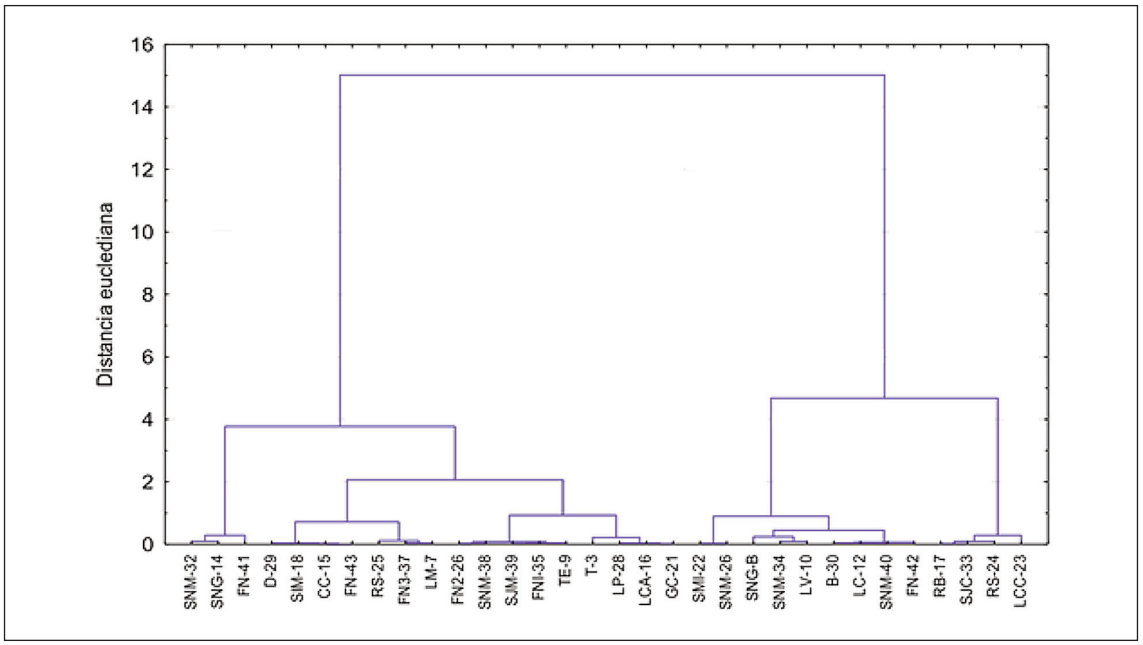


Figura 3. Dendrograma en base a los porcentajes de embrión de los maíces nativos del Estado de México.
Figure 3. Dendogram of native maize embryo of the State of Mexico, Mexico.

Tabla 4. Contenido de fenoles totales, antocianinas y % de DPPH remanente del grano de las variedades de maíz nativo del Estado de México, México
Table 4. Total grain phenols, anthocyanins and DPPH% remnant of native maize varieties from the State of Mexico, Mexico

Código	Fenoles, equivalentes de ácido tánico (mg de AT/100 de harina)	Antocianinas, mg de cianidina-3-glucósido	DPPH, % de DPPH remanente
LCC-23	4998,1 a	6,79 g,h	32,35 a,b
GC-21	4242,5 a,b,c,d,e,f,g	4,56 i,j,k,l	29,73 a,b,c,d,e
FN-42	2813,7 j,k,l	234 n	26,13 b,c,d,e,f
LCA-16	4979,8 m	7,57 f,g	13,29 g
RS-24	5091,2 a,b,c,d,e,f,g,h	2,45 m,n	32,30 a,b,c
SNM-40	4978,8 a,b,c,d,e,f	7,01 g,h	27,46 a,b,c,d,e,f
SJC -33	5591,1 a,b,c,d,e,f,g,h	4,34 j,k,l,m	32,39 a,b
LP-28	3630,4 a,b	3,68 j,k,l,m,n	22,96 f
TE-9	4510,6 l	2,67 l,m,n	26,04 b,c,d,e,f
FN1-35	4322,8 e,f,g,h,i,j,k	2,67 l,m,n	32,04 a,b,c
SNM-38	5057,2 h,i,j,k	4,79 i,j,k	33,08 a
FN-41	5093,2 a,b,c,d,e,f,g	3,12 k,l,m,n	23,15 f
LM-7	5183,8 a,b,c,d	4,01 j,k,l,m,n	22,68 f
SNG-14	5638,8 a	5,23 h,i,j	21,49 f
SNM-32	4206,2 j,k,l	5,23 h,i,j	32,27 a,b,c
FN-43	5171,8 a,b,c,d,e	2,67 l,m,n	25,20 d,e,f
RB-17	4249,8 j,k,l	7,01 g,h	29,65 a,b,c,d,e
LV-10	4354,2 g,h,i,j,k	6,46 g,h,i	25,46 d,e,f
FN3-37	4576 c,d,e,f,g,h,i,j,k	3,56 j,k,l,m,n	32,56 a
RS-25	4971,2 b,c,d,e,f,g,h,i	6,35 g,h,i	32,04 a,b,c
SNM-26	4460,8 f,g,h,i,j,k	21,71 b	30,90 a,b,c,d
SNG-B	3859,3 k,l	16,36 c	25,91 c,d,e,f
T-3	4637,3 c,d,e,f,g,h,i,j,	13,36 d	22,08 f
FN2-36	4307,1 i,j,k	20,37 b	33,08 a
CC-15	4581 c,d,e,f,g,h,i,j	9,35 e,f	21,36 f
B-30	4351 g,h,i,j,k	13,36 d	32,90 a
SML-22	4536,8 b,c,d,e,f,g,h,i,j	9,35 e	29,96 a,b,c,d,e
SNM-34	5236,5 a,b,c	21,26 b	32,28 a,b,c
SIM-18	5589,3 a,b	22,26 b	27,53 a,b,c,d,e,f
D-29	5234,2 a,b,c	13,92 d	31,16 a,b,c,d
LC-12	5362,6 a,b	21,71 b	25,47 d,e,f
SJM-39	5490,9 a,b	25,04 a	24,27 e,f

Las medias seguidas por la misma letra dentro de una misma columna son estadísticamente iguales (P < 0,05).

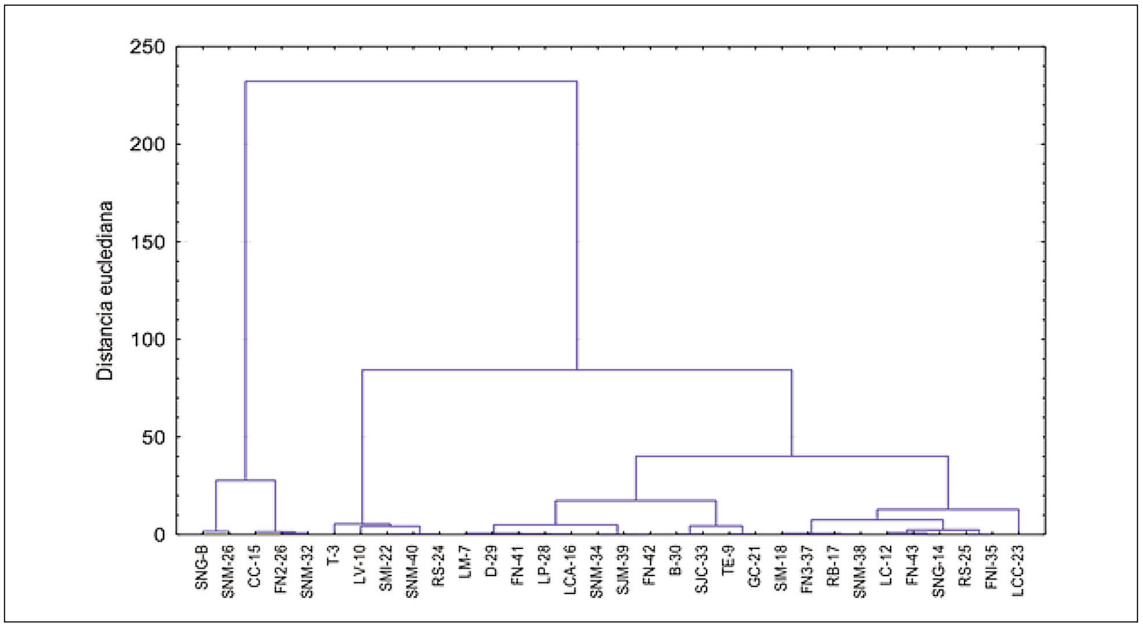


Figura 4. Dendrograma en base a los porcentajes de endospermo harinoso de los maíces nativos del Estado de México.
Figure 4. Dendogram of native maize floury endosperm of the State of Mexico, Mexico.

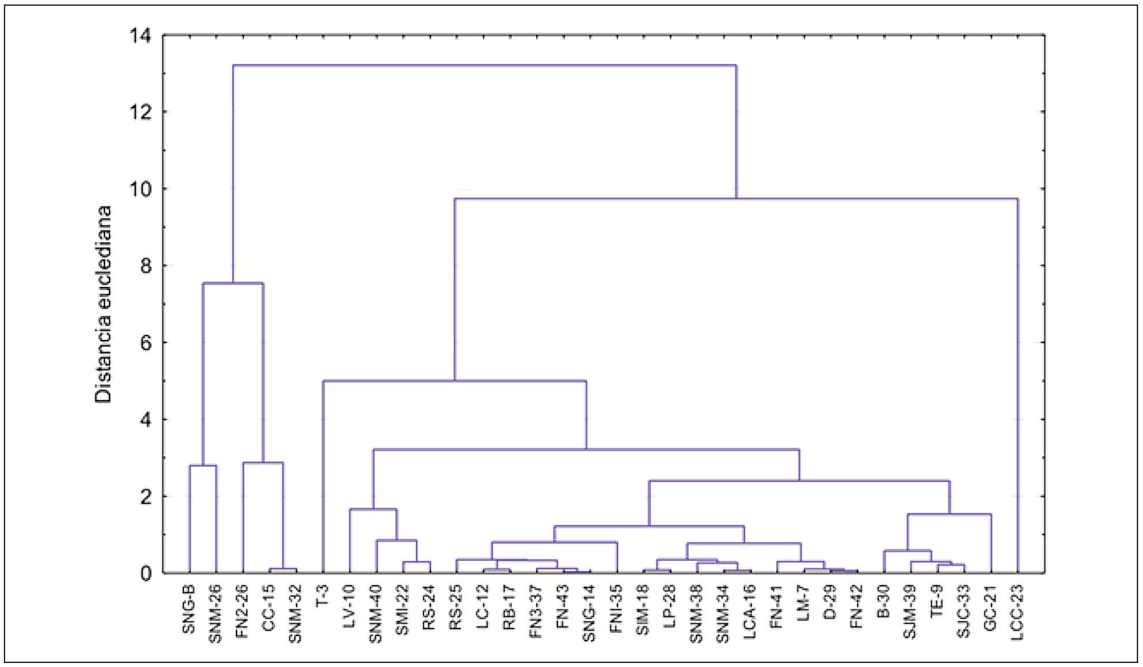


Figura 5. Dendrograma en base a los porcentajes de endospermo corneo de los maíces nativos del Estado de México, México.
Figure 5. Dendogram of native maize flint endosperm of the State of Mexico, Mexico.

se encontró una relación significativa entre el color del grano y el contenido de fenoles totales (Tabla 5).

Los valores de contenido de fenoles del presente estudio son superiores a los encontrados por Escribano Bailón *et al.* (2004) para maíz morado (1776 mg/100 g de harina base seca) y los valores de contenido de fenoles de las variedades moradas fueron 30% menores a los 7694 mg/100 g de harina presentados por Gorriti Gutiérrez *et al.* (2009), en extractos metanólicos de corontas de maíz morado. Asimismo, los valores son superiores a lo reportado por López Martínez *et al.* (2009) para 18 variedades de maíz mexicano, con un rango de entre 170 a 3,400 mg de harina/100 g de muestra. De acuerdo con Kim *et al*. (2003), los fenoles son útiles en los mecanismos de defensa bajo situación de estrés y contra el ataque de organismos patógenos (Bakan *et al*., 2003).

Tabla 5. Correlación múltiple entre color, fenoles, antocianinas y actividad antioxidante de los granos de maíz nativo del Estado de México, México
Table 5. Multiple correlation between phenols, anthocyanins and antioxidant activity of native grains corn from the State of Mexico, Mexico

Variable	Media[a]	Color	Fenoles[b]	Antocianinas[c]	DPPH[d]
Color	2,46 ± 1,64	1,00			
Fenoles[b]	4728,37 ± 623,32	0,00	1,00		
Antocianinas[c]	9,39 ± 7,15	0,81	0,23	1,00	
DPPH [d]	27,78 ± 4,78	0,09	-0,04	0,05	1,00

Nivel de significación de 0,05.

[a] El valor indicado es el promedio de ambos ciclos de cultivo y desviación estándar de seis repeticiones.

[b] El contenido de fenoles se presenta en equivalentes de ácido tánico (mg de AT/100 de harina).

[c] Las antocianinas se presentan en mg de cianidina-3-glucósido.

[d] El DPPH (actividad antioxidante) se presenta en % de DPPH remanente.

Determinación de antocianinas

El contenido de antocianinas muestra valores comprendidos en un rango entre 2,45 a 25,04 mg de cianidina-3-glucósido/100 g de muestra, correspondientes a las variedades RS-24 (blanca) y SJM-39 (morada), respectivamente (Tabla 4). Los resultados obtenidos se encuentran por debajo de lo encontrado por López Martínez *et al.* (2009), en 18 variedades de maíz mexicano con un rango de entre 1,54 a 850,9 mg de cianidina-3-glucósido/100 g de muestra, donde estas diferencias probablemente sean por la diversidad genética de las variedades utilizadas en este estudio. Del Valle Leguizamón *et al.* (2005), concluyen que la concentración y perfil de antocianinas varían entre especies, cultivares, estados de madurez, condiciones estacionales, y niveles de rendimiento. Además, la luminosidad y la temperatura son las principales variables ambientales que regulan la síntesis de estos compuestos; la primera la estimula y las altas temperaturas parecen inhibirla.

Actividad antioxidante

La actividad antioxidante de los fenoles totales presentes en los extractos de las diferentes variedades de maíz nativo, frente al radical estable 2,2-difenil-1-picrilhidracilo (DPPH), muestra valores de DPPH remanente entre 13,29 y 33,08%, para las variedades LCA-16 (blanca) y FN2-36 (morada) respectivamente (Tabla 4), valores consistentes con los encontrados por Gorriti Gutiérrez *et al.* (2009) para los extractos etanólicos de corontas de *Zea mays*.

El análisis estadístico muestra que no existe una relación directa entre el DPPH remanente (%) y el color del grano, contrario a lo que reportan varios autores (Tabla 5). Así mismo, tampoco se encontró una relación significativa entre la cantidad de fenoles totales y la actividad antioxidante de las semillas en contraste a lo encontrado por Gorriti Gutiérrez *et al.* (2009), Netzel *et al.* (2007) y Cai *et al.* (2004), quienes encontraron una correlación entre fenoles totales y el contenido de antioxidantes, en contraste nuestros resultados indican que los compuestos fenólicos no son las únicas moléculas que contribuyen a la capacidad antioxidante en estos granos.

Conclusiones

Los maíces negros son de textura suave, y con alto contenido de almidón, además presentan la mayor actividad antioxidante, por lo tanto tienen alto potencial de alimento biofuncional.

El contenido de fenoles totales de las muestras de maíz analizadas es alto, esto puede estar relacionado con la resistencia a sequias, heladas y plagas que se ha observado en estas variedades.

No se encontró correlación entre el potencial antioxidante y el contenido de fenoles totales, lo que sugiere que los compuestos fenólicos no son las únicas moléculas que contribuyen a la capacidad antioxidante.

Agradecimientos

Se agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca otorgada a Jarinzi Corona Terán, para la realización de sus estudios de Doctorado. A la SEP en su programa PIFI 2009-2010 por el financiamiento para el desarrollo del proyecto "Análisis de la diversidad genética de maíz" y a la Secretaría de Investigación de Estudios Avanzados de la Universidad Autónoma del Estado de México, por el apoyo complementario para la realización del trabajo de investigación, con su programa de fortalecimiento a cuerpos académicos de calidad.

Bibliografía

Aragón Cuevas F, Taba S, Hernández Casillas J M, Figueroa Cárdenas J D, Serrano Altamirano V (2006). Actualización de la información sobre los maíces criollos de Oaxaca. Informe final SNIB-CONABIO, proyecto Nº CS002. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. México. 119 p.

Bakan B, Bily A, Melcion D, Cahagnier B, Regnault-Roger C, Philogene B, Richard-Molard D (2003). Possible role of plant phenolics in the production of tricho-thecenes by *Fusarium graminearum* strains on different fractions of maize kernels. Journal of Agricultural and Food Chemistry 51: 2826-2831.

Blasco León (2010). Biofortificación con yodo en plantas de lechuga (*Lactuca sativa* L.): implicaciones fisiológicas y nutricionales. Tesis doctoral. Universidad de Granada. Facultad de Ciencias. Departamento de Fisiología Vegetal. España. 221 p.

Boyer CD, Hannah LC (2001). Kernel mutants of corn. In: Hallauer, A. R. (ed.). Specialty Corns. 2nd ed. CRC Press. Boca Raton, FL. EE.UU. p. 1-31.

Cabrera Soto ML, Salinas Moreno Y, Velázquez Cardelas GA, Espinosa Trujillo, E (2009). Contenido de fenoles solubles e insolubles en las estructuras del grano de maíz y su relación con propiedades físicas. Agrociencia 43: 827-839.

Cai Y, Luo Q, Sun M, Corke H (2004). Antioxidant activity and phenolic compounds of 112 tradicional Chinese medicinal plants associated with anticancer. Life Sciences 74: 2157-2184.

Cuevas Montilla E, Antezana A, Winterhalter P (2008). Análisis y caracterización de antocianinas en diferentes variedades de maíz (*Zea mays*) boliviano. Red Alfa Lagrotech. Memorias. Colombia. 79-95.

Del Valle Leguizamón G, González León A, Báez Sañudo R (2005). Antocianinas en uva (*Vitis vinífera* L.) y su relación con el color. Revista Fitotecnia Mexicana 28: 359-368.

Escribano Bailón MT, Santos Buelga C y Rivas Gonzalo JC. 2004. Anthocyanins in cereals. Journal of Chromatography A 1054: 129-141.

Gorriti Gutiérrez A, Arroyo Acevedo J, Negron Ballarte L, Jurado Teixeira B, Purizaca Llajaruna H, Santiago Aqise I, Taype Espinoza E, Quispe Jacobo F (2009). Antocianinas, fenoles totales y actividad antioxidante de las corontas del maíz morado (*Zea mays* L). Método de extracción. Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas, 8(6): 509-518.

Kim DO, Chun OK, Kim YJ, Moon HY, Lee CY (2003). Quantification of polyphenolics and their antioxidant capacity in fresh plums. Journal of Agricultural and Food Chemistry 51(22): 6509-6515.

Kuskoski E M, Asuero AG, García Parrilla MC, Troncoso AM, Fett R, (2004). Actividad antioxidante de pigmentos antociánicos. Ciência e Tecnología de Alimentos 24: 691-693.

Larson J (2008). Importancia de la conservación del maíz. En: Taller sobre agrodiversidad en México: el caso del maíz incentivos para la conservación, memorias. INE-SEMARNAT. 50 p.

Lazos Chavero E (2008). La Fragilidad de la biodiversidad. Semillas y suelos entre una conservación y un desarrollo empobrecido. En: Desde los colores del maíz. Una agenda para el campo mexicano (Coord. Luis Seefoó Luján), vol II, El Colegio de Michoacán, México, p. 457-488.

Leyva DE (2009). Determinación de antocianinas, fenoles totales, y actividad antioxidante en licores y fruto de mora. Tesis Licenciatura. Universidad Tecnológica de la Mixteca. México. 69 p.

Leyva Ovalle OR, Carballo Carballo A, Mejía Contreras JA, Vázquez Carrillo MG (2002). Procesamiento digital de imágenes para la estimulación de textura de endospermo en líneas de maíz. Revista Fitotecnia Mexicana 25: 355-365.

Liu RH 2004. Potential synergy of phytochemicals in cancer prevention: Mechanism of action. The American Journal of Clinical Nutrition 134: 3479S-3485S.

López Martínez LX, Oliart Ros RM, Valerio Alfaro G, Lee C H, Parkin KL, García HS (2009). Antioxidant activity, phenolic compounds and anthocyanins content of eighteen strains of Mexican maize. Food Science and Techonology 42: 1187-1192.

Makkar HPS (2000). Quantification of Tannins in Tree Foliage. A Laboratory Manual for the FAO/IAEA. FAO/IAEA. Viena, Austria, 40 p.

Matsuoka Y (2005). Origin matters: Lessons from the search for the wild ancestor of maize. Breeding Science *55*(4): 383-390.

Miguel MA, Arellano Vázquez JL, García de los Santos G, Miranda Colín S, Mejía Contreras JA, González Cossío FV (2004). Variedades criollas de maíz azul raza chalqueño. Características agronómicas y calidad de semilla. Revista Fitotecnia Mexicana 27(1): 9-15.

Netzel M, Netzel G, Tian Q, Schwartz S, Konczak I (2007). Native Autralian fruits – a novel source of antioxidants for food. Innovative Food Science and Emerging Technologies 8: 339-346.

Pérez de la Cerda FJ, Carballo Carballo A, Santacruz Varela A, Hernández A, Celestino J, Moreno M (2007). Calidad fisiológica en semillas de maíz con diferencias estructurales. Agricultura Técnica En México 33(1): 53-61.

Ruíz Torres NA, Rincón Sánchez F, Hernández López VM, Figueroa Cárdenas JD, Loarca Piña MG (2008). Determinación de compuestos fenólicos y su actividad antioxidante en granos de maíz. Revista Fitotecnia Mexicana 31(3): 29-34.

SAGARPA (2002). Productos alimenticios no industrializados para consumo humano. Cereales-maíz blanco para proceso alcalino para tortillas de maíz y productos de maíz nixtamalizado. Es-

pecificaciones y Métodos de prueba. Ed. SAGARPA, México, D.F. 18 p.

Sánchez GJJ, Goodman MM, Stuber CW (2000). Isozymatic and morphological diversity in the races of maize of Mexico. Economy Botany 54: 43-59.

Suárez RF, Morales LA, Gálvez A (2013). Importance of mexican maize landraces in the national diet. An essential review. Revista Fitotecnia Mexicana 36(3.A): 275-283.

StatSoft, Inc. 2014. STATISTICA (data analysis software system), Version 13.

Vázquez Carrillo MG, Guzmán Báez L, Andrés García J. L, Márquez Sánchez F, Castillo Merino J (2003). Calidad de grano y tortillas de maíces criollos y sus retrocruzas. Revista Fitotecnia Mexicana 26(4): 231-238.

Vázquez Carrillo MG, Pérez Camarillo JJ, Hernández Casillas JM, Marrufo Díaz ML, Martínez Ruíz E (2010). Calidad de grano y de tortillas de caíces criollos del Altiplano y Valle del Mezquital, México. Revista Fitotecnia Mexicana 33(4): 49-56.

(Aceptado para publicación el 8 de noviembre de 2016)

Efecto del número de goteros y la frecuencia de riego sobre la producción, calidad del fruto y productividad del agua en una plantación de alta densidad de manzanos

J.R. Gispert[1], F. Ramírez de Cartagena[2,*], J.M. Villar[3], J. Rufat[4] y I. Batlle[1]

[1] Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries (IRTA), Mas de Bover, Ctra Reus-El Morell, Km 3.8, 43120 Constantí (Tarragona), España
[2] Universitat de Girona, Departament d'Enginyeria Química, Agrària i Tecnologia Agroalimentària, Campus Montilivi, 17071 Gerona, España
[3] Universitat de Lleida, Departament de Medi Ambient i Ciències del Sòl. Av. Alcalde Rovira Roure, 191, 25198 Lérida, España
[4] Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries (IRTA), Programa Ús Eficient de l Aigua, Alcalde Rovira Roure, 191, 25198 Lérida, España

Resumen

Se realizó durante tres años consecutivos un ensayo para determinar el efecto del número de emisores por planta y el intervalo de riego sobre los parámetros de producción, calidad y productividad del agua en manzanos de diez años, cv 'Golden Delicious' sobre portainjerto EM9, cultivados en sistema intensivo en un suelo aluvial del noreste de España. El experimento consistió en aplicar la misma dosis de agua, determinada de acuerdo con las necesidades de riego, a través de tres diseños agronómicos distintos (1, 2 y 3 goteros autocompensantes de 8 Lh^{-1} por árbol, separados 1, 0,8 y 0,4 m, respectivamente), manteniendo el tiempo de riego constante y variando la frecuencia de riego en cada diseño (3, 6 y 9 días de media, respectivamente). No se observó ninguna diferencia entre los tres diseños para ninguna de las variables analizadas ($P<0,05$), excepto el índice de almidón. La falta de diferencias en los parámetros de producción entre tratamientos puede atribuirse en parte a la semejanza del patrón hídrico que finalmente se desarrolló en los distintos diseños, como consecuencia del idéntico volumen de agua aplicado y de la franja de humedad continua que se formó en la hilera del cultivo, debido a la proximidad entre goteros. En las condiciones del ensayo, el diseño agronómico con 1 emisor por árbol y frecuencia de riego 3 días permitió alcanzar producciones similares a las obtenidas con 2 o 3 emisores y frecuencias de riego menores, con ahorro en el coste económico de la instalación.

Palabras clave: Producción intensiva de manzano, riego por goteo, diseño agronómico, uso del agua de riego, volumen de suelo húmedo, coste instalación goteo.

Abstract

Effect of the number of drippers and irrigation frequency on production, fruit quality and water productivity in a high-density apple orchard

Field experiments were conducted during three consecutive years to determine the effect of the number of drippers per plant and irrigation frequency on the production, quality and water productivity parameters in ten year old apple trees, cv 'Golden Delicious' on rootstock EM9, grown in an intensive system

* Autor para correspondencia: francisco.ramirez@udg.edu

http://doi.org/10.12706/itea.2017.002

with high-density planting in an alluvial soil of north-eastern Spain. The experiment consisted in applying the same dose of water, determined according the irrigation water needs, through three different agronomic designs (1, 2 and 3 8 Lh-1 pressure-compensating drippers per tree), maintaining a constant irrigation time and varying the irrigation frequency (3, 6 and 9 days on average). No differences were observed among the three treatments for any of the variables analyzed (P<0.05), except for starch index. The lack of differences in production parameters between treatments, can probably be attributed in part to the standardization of the hydric pattern eventually developed in the three designs, due to the same water amount of water applied and also because the formation of a strip of continuous moisture along the crop row caused by the proximity between drippers. In the test conditions, the agronomic design with 1 dripper per tree and 3 days frequency achieved similar yields to those obtained with 2 or 3 drippers and lower irrigation frequencies, thus reducing installation costs.

Key words: Intensive apple production, drip irrigation, agronomical design, irrigation water use, wet soil volume, drip installation cost.

Introducción

En la mayoría de países productores de manzana, la producción se ha incrementado a causa del establecimiento de modelos intensivos más que al aumento de la superficie de cultivo. Lograr aumentos en el rendimiento a través del incremento de la densidad de plantación provoca grandes cambios en el diseño y manejo de las plantaciones frutales (Raffo e Iglesias, 2004). Los sistemas con alta densidad de plantación permiten acelerar la entrada en producción, reducen la altura y volumen de las plantas facilitando las labores de cosecha y poda, permiten disminuir la cantidad de agroquímicos aplicada, aumentan la homogeneidad en las plantas y posibilitan la reducción de costes. Oster y Wichelns (2003) apuntaron que los modelos tecnológicos futuros deberían considerar un riguroso equilibrio entre producción agrícola, sustentabilidad de los recursos naturales agua y suelo, y el uso energético. En efecto, actualmente la intensificación del cultivo del manzano está creando la necesidad de desarrollar y aplicar técnicas que sean más efectivas para obtener la mayor productividad por unidad de superficie, con un mejor uso de los recursos, especialmente agua y energía tanto desde un punto de vista de interés medioambiental como económico.

Las necesidades de agua, la frecuencia y el tiempo de riego son importantes criterios de diseño a considerar en la elección entre métodos de riego en manzano (Kadayifçi *et al.*, 2010). Neilsen *et al.* (1995) indicaron que la alta frecuencia de riego mejoraba el crecimiento vegetativo, pero el efecto sobre las concentraciones de nutrientes foliares o los intercambios químicos del suelo era menor que al aplicar una frecuencia más baja. Earl y Jury (1977), analizando el movimiento del agua en un suelo cultivado regado con un emisor aislado, observaron que el riego semanal en relación al riego diario mojaba más superficie de suelo (horizontal y vertical) y por tanto de volumen radicular, por lo que las raíces en el caso semanal estaban más extendidas y en el caso diario ocupaban un volumen más reducido, resultando producciones más altas en el riego semanal. En manzanos, Levin *et al.* (1979) también encontraron que el riego diario con emisores de 4 Lh^{-1} en un suelo basáltico de 60 cm de profundidad generó una distribución de la humedad del suelo más reducida que cuando se regó semanalmente, siguiendo la distribución de raíces un patrón paralelo a la distribución de humedad, con aumento de la densidad radicular en la zona mojada.

El volumen de suelo mojado es la variable más importante tanto en el diseño como en el

posterior manejo del riego localizado, puesto que es el principal factor que determina la distribución de raíces. Levin *et al.* (1973) indican que la relación entre el contenido de agua del suelo y la aireación fue determinante en el desarrollo radicular de manzanos sometidos a diferentes regímenes de riego. La distribución del agua en el suelo y la forma y tamaño del volumen de suelo húmedo (VSH) en riego localizado varía notablemente dependiendo del tipo de suelo, del caudal del emisor y del tiempo de riego, así como del número de emisores por árbol. La determinación en campo del frente de humedad y sus dimensiones características como profundidad o radio mojado es compleja y supone una inversión importante en tiempo y coste económico, de manera que la estimación de estas variables a partir de ecuaciones empíricas obtenidas a través de modelizaciones de procesos físicos (Simunek *et al.*, 2006; Arbat *et al.*, 2008, 2013) constituye una alternativa interesante. Rumayor y Bravo (1991) estudiaron el efecto sobre el vigor, la producción y los parámetros de calidad del fruto en manzano 'Golden Delicious' y 'Top Red Delicious' de 3 niveles de VSH (inundación, goteo y microaspersión), corregidos cada uno de ellos mediante 3 coeficientes (0,2, 0,3 y 0,5) respecto a los valores de lectura de un tanque evaporimétrico clase A. La producción por árbol fue significativamente más elevada usando microaspersores, pero los parámetros de calidad no mostraron ninguna diferencia significativa entre los diferentes sistemas de riego o porcentajes de VSH. Rufat (2003) comparó diferentes estrategias de riego sobre las variedades de manzano 'Top Red','Early Red One' y 'Smoothe', así como dos sistemas de riego (goteo y microaspersión) con similar suministro de agua (570 mm) y diferente porcentaje de VSH. El experimento mostró una mayor producción total acumulada de manzana con el sistema de goteo, aunque sin diferencia significativa respecto al sistema con microaspersión y los valores de producción estuvieron más relacionados con el número de frutos por árbol que con el peso individual del fruto. La firmeza del fruto fue más baja en árboles regados usando riego por goteo que con microaspersión. Sin embargo, este comportamiento estuvo inversamente relacionado con el índice de almidón en fruto, cuyos mayores valores se obtuvieron con goteo.

Zur (1996), para fines de diseño de riego localizado, indica la necesidad de establecer un valor mínimo del volumen de suelo a humedecer. Keller y Bliesner (1990) proponen como un objetivo razonable en el diseño para cultivos plantados a un marco amplio, como árboles, humedecer entre un tercio y dos tercios de la sección horizontal del sistema radicular, es decir, conseguir un porcentaje de suelo mojado entre el 33% y 66%. Zhao *et al.* (2012) utilizan el porcentaje de suelo húmedo en superficie propuesto por Amin y Ekhmaj (2006) para recomendar, en condiciones de clima extremadamente árido, el porcentaje de superficie húmeda del 32% como el óptimo durante los primeros años en las transformaciones de riego por superfície a goteo en cultivo de peral. Gispert *et al.* (2012) introducen el concepto de volumen potencial de exploración radicular (VPER) como valor de referencia de los volúmenes de suelo húmedo en riego localizado, con la finalidad de conseguir una mejor aproximación a la realidad de la plantación. Para ello ensayaron 2 estrategias de riego (total y deficitario controlado) y 5 porcentajes de volumen de suelo húmedo dentro de cada estrategia en olivo cv. 'Arbequina', observando que el porcentaje del 59% en riego deficitario controlado fue el que generó una mayor producción de aceite, sin embargo en riego total no se encontraron diferencias significativas entre los distintos porcentajes de volumen de suelo mojado. Bajo el mismo concepto de volumen potencial de exploración radicular Gispert *et al.*, (2015) recomendaron el 33% de VSH para el avellano, cv. 'Negret'.

En plantaciones intensivas, con marcos de plantación que suponen separaciones entre plantas alrededor de 1 m o incluso menores, suelen producirse solapamientos entre los bulbos de humedad formados por los goteros, que acaban definiendo una franja contínua a lo largo de la hilera de plantas, lo que debe tenerse en consideración en la determinación del VSH.

López *et al.* (1992) consideran que es importante determinar el número de emisores por planta tomando como base el área humedecida, la seguridad de riego y el costo. Girona *et al.* (2008) observan una reducción drástica de la evaporación del agua del suelo al disminuir la superficie mojada como consecuencia de pasar de 2 a 1 gotero por planta en riego deficitario controlado de manzanos cv 'Golden Smoothe', recomendando la eliminación de un gotero por planta como mejor opción para reducir las pérdidas por evaporación frente a la disminución de la frecuencia de riego.

El área y el volumen de suelo húmedo final alcanzado están en relación con el número de goteros instalados y éste con el coste de la instalación, puesto que un porcentaje importante de la inversión inicial corresponde a las tuberías laterales y emisores, que constituyen un costo fijo. Por consiguiente, la determinación del número de goteros por planta y su ubicación es una de las decisiones más importantes en el diseño del riego por goteo ya que condiciona la frecuencia de riego y el porcentaje de suelo mojado, variables determinantes en el establecimiento de las condiciones de humedad y oxígeno adecuadas en la zona radicular. Por otra parte la frecuencia de riego practicada, que es un coste variable vinculado con la operación del sistema, también está relacionada con el número de emisores y tendrá consecuencias sobre el volumen de suelo húmedo definido. Consecuentemente, la configuración de la instalación en relación al número de goteros y la frecuencia de riego practicada en el manejo de la plantación, son dos de las variables más significativas asociadas a la producción del cultivo y los costes derivados.

El objetivo de este trabajo es analizar y evaluar como afecta el número de goteros por planta y la frecuencia de riego aplicada al comportamiento productivo, vegetativo y de calidad del fruto en manzano, con la finalidad de establecer una recomendación basada en criterios de rendimiento del cultivo y de ahorro económico en la instalación de riego por el número de goteros utilizado.

Material y métodos

Parcela experimental

El experimento tuvo una duración de 3 años consecutivos (1998-2000) y se realizó en una parcela de 650 m^2 situada en la Fundación Mas Badia (IRTA) en 'La Tallada d'Empordà' (Gerona, noreste de España), plantada de manzano (*Malus domestica* Borkh), cultivar 'Golden Delicious' de 10 años de edad sobre portainjerto EM9 con una densidad de 2.857 árboles ha^{-1} (3,5m x 1 m). Los árboles, formados en eje central, fueron podados de la misma forma y tenían un volumen medio de copa de 8,5 m^3. Las copas de los árboles contiguos se solapaban, siendo el radio sombreado por árbol de 1,26 m y el porcentaje de área sombreada del 72%.

La parcela estaba localizada en un suelo aluvial clasificado como Typic Xerorthents (Soil Survey Staff, 2010), con características muy similares en todo el perfil respecto a pH (7,6-7,7), $CE_{1:5}$ (0,52-0,57 dS/m), materia orgánica (1,31-0,75%), textura (franco-arenosa de 0 a 30 cm y arenosa-franca de 30 a 60 cm), carbonato cálcico equivalente (1,52-3,43%), caliza activa (imperceptible) y contenido volumétrico medio de agua (17,28% a -20kPa; 4,75% a -1.500 kPa).

La información climática necesaria para el desarrollo del ensayo, precipitación y evapotraspiración, se obtuvo de la Estación Meteorológica ubicada en la Fundación Mas Badía, situada a 50 m de la parcela experimental y perteneciente a la XEMA (Red de Estaciones Meteorológicas Automáticas), gestionada por el Servicio Meteorológico de Cataluña. Durante el periodo experimental (1998-2000) la temperatura media anual fue de 15,5ºC.

Necesidades de riego

Les necesidades de agua de riego fueron calculadas semanalmente mediante la ecuación:

$$Nt = \frac{ETc - Pe}{Ef} \quad [1]$$

siendo N_t, las necesidades totales de riego (mm); ET_c, la evapotranspiración del cultivo (mm); P_e, la lluvia efectiva (mm) y E_f, la eficiencia de riego.

La evapotranspiración del cultivo (ET_C) (Allen *et al.*, 1998) se determinó a partir de la evapotranspiración de referencia (ET_0), calculada con el método de Penman-Monteith, corregido por el coeficiente de cultivo (K_C) y el coeficiente de reducción (K_e). Los coeficientes de cultivo (K_C) utilizados fueron los del manzano, de acuerdo a Doorenbos y Pruitt (1988), [Abril (0,45), Mayo (0,55), Junio (0,80), Julio (0,90), Agosto (0,9), Septiembre (0,85) y Octubre (0,65)]. El K_e fue considerado igual a 1 ya que el cultivo cubría una superficie mayor del 70% del marco de plantación (Fereres *et al.*, 1981). La precipitación efectiva se estimó en el 70% de la precipitación total y no se consideraron las precipitaciones inferiores a 10 mm (Smith, 1988). Finalmente, las necesidades totales de riego se determinaron considerando una eficiencia de riego del 90%, de acuerdo con la prueba de uniformidad realizada en la misma parcela (coeficiente de uniformidad 95%) y la eficiencia de percolación estimada a partir de Keller y Bliesner (1990). Los ensayos de uniformidad se realizaron al inicio de cada campaña de riego mostrando un valor alto y muy parecido entre años debido al buen mantenimiento de la instalación, la calidad del agua utilizada, la topografia llana y la utilización de goteros autocompensantes.

La temporada de riego comprendió los meses de abril hasta septiembre, ambos incluidos.

Tratamientos de riego

Se establecieron tres tratamientos de riego, correspondientes a la instalación de 1, 2 y 3 emisores por árbol. En cada fila de árboles se instaló 1 ramal de riego a 0,5 m del tronco, con emisores autocompensantes de 8 Lh^{-1} insertados. Los emisores se colocaron linealmente, de manera que para el caso de 1 emisor, éste se situó a 40 cm del tronco, con una separación entre emisores de 1 m; en el caso de 2 emisores por planta, se situaron uno a cada lado del tronco y separados 80 cm; y en el diseño con 3 emisores, uno se colocó próximo al tronco y los dos restantes a 40 cm del tronco cada uno de ellos, siendo 40 cm la separación entre emisores.

El tiempo de riego se estableció en 3 horas, para todos los tratamientos y durante todo el periodo experimental, con una intención doble. Por una parte, para cada gotero individual, este planteamiento contribuyó a la definición de volúmenes de suelo húmedos similares en los distintos tratamientos puesto que en todos ellos el caudal del gotero fue el mismo. Por otra parte, puesto que la programación del riego se efectuó de acuerdo a los requerimientos hídricos de la semana anterior, la pauta para satisfacer las necesidades de agua de riego obligaba a variar la frecuencia de riego, variable objetivo del estudio.

De esta forma la frecuencia de riego varió de acuerdo con el número de emisores instalados y la demanda evapotranspirativa sema-

nal, correspondiendo la frecuencia más elevada al tratamiento con menor número de goteros y la frecuencia menor al mayor número de goteros.

El número de riegos semanales se determinó como el cociente entre las necesidades de agua de riego de la semana anterior y el volumen de agua aportada durante el tiempo de riego, es decir 24, 48 y 72 L para los tratamientos con 1, 2 y 3 goteros, respectivamente. En el caso en que el número de riegos fuera un número decimal, se redondeaba al número entero más próximo. Cada tratamiento de riego tenía instalado en cabecera un contador volumétrico (Arad Multijet 1", Israel; unidad legible más pequeña 0,05 L; exactitud ± 2% a ± 5% según caudal circulante) que permitía conocer los pequeños déficits o excesos de agua que podían producirse debido al redondeo de la frecuencia de riego u otras causas y que se corregían al final de la semana uniformizando los distintos tratamientos.

Diseño experimental

El diseño experimental fue en bloques al azar y 3 repeticiones para cada tratamiento (1, 2 y 3 emisores). Cada una de las 9 parcelas elementales constó de 5 árboles control y un árbol guarda entre parcelas. El ensayo involucró un total de 60 árboles, 45 de los cuales controlados y 15 considerados árboles guarda.

Determinación y formación del VSH en las pruebas previas de campo con emisores aislados

Para determinar la forma y tamaño del VSH generado por cada emisor aislado se empleó el equipo medidor del volumen de suelo húmedo (EMVSH) (Gispert *et al.*, 2012, 2015). Las lecturas de resistividad eléctrica se consideraron para una temperatura del suelo alrededor de los 22° C. La prueba de campo para determinar la forma media del VSH se realizó en la propia parcela con un emisor autocompensante de 8 Lh^{-1} y tres repeticiones. El contorno del frente de humedad se definió por los puntos donde la diferencia de resistividad eléctrica fue de 3.000 Ω m o el 3% de diferencia de humedad. Utilizando este método se definió el radio de la superficie húmeda a 30 cm de profundidad y el volumen de suelo húmedo (m^3). Se efectuaron mediciones del contenido de agua del suelo a 1, 2 y 3 horas del inicio del riego. A las 3 horas del riego, valor correspondiente al tiempo de riego fijado en los ensayos, la forma del VSH en las tres repeticiones fue muy similar con un radio húmedo de 62 cm a 30 cm de profundidad y una profundidad mojada de 110 cm (Figura 1). Por otra parte se efectuó otra medida del contenido de agua en el suelo en los bulbos de humedad del ensayo a las 24 h después de finalizar el riego de 3 h de duración. Los resultados mostraron que la redistribución fue poco acusada, puesto que la profundidad mojada aumentó aproximadamente un 15% y el radio mojado alrededor del 10%, comportamiento esperable en una textura marcadamente arenosa como la del ensayo.

El cilindro de suelo situado bajo la copa del árbol, que tiene por base la propia proyección de la copa y por altura la profundidad estimada de las raíces, se usó para calcular el VPER. Un total de 10 mediciones aleatorias permitieron determinar el radio medio de la proyección de la copa (1,26 m). La profundidad radicular considerada fue de 1 m, que se evaluó mediante tres muestreos aleatorios bajo la copa de tres manzanos, realizando sendas calicatas de 1,5 m de profundidad y 1 m de ancho. Si bien la mayor densidad de raíces se encontró entre 50 y 60 cm de profundidad, la observación de raíces importantes hasta 1 m aconsejó adoptar este valor en los cálculos del VPER. El área sombreada media de los manzanos (4,98 m^2) se obtuvo asumiendo un volumen esférico de la copa y considerando el radio de proyección de la

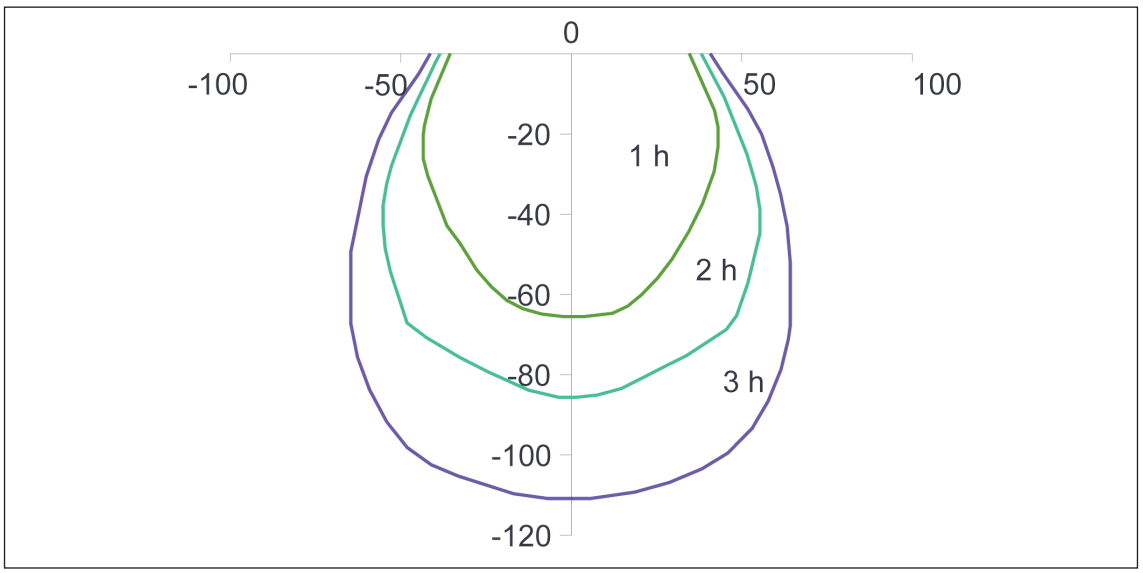


Figura 1. Forma y dimensiones (cm) de la sección correspondiente al volumen de suelo húmedo generado por un emisor de caudal 8 Lh^{-1} para los tiempos de riego de 1, 2 y 3 horas en la parcela experimental.
Figure 1. Shape and dimensions (cm) of the section corresponding to wet soil volume generated with a dripper of 8 Lh^{-1} *with run times of 1, 2 and 3 hours in the experimental plot*

copa. El VPER (4,98 m^3) se obtuvo a partir del producto del área sombreada por la profundidad radicular (1 m). La realización previa de las pruebas de campo con emisores aislados, sin solape entre los bulbos de humedad desarrollados, permitió conocer la correspondencia entre el número de emisores utilizados y los porcentajes de VSH conseguidos, que fueron de 22, 44 y 66% VPER, respectivamente para 1, 2 y 3 emisores. En estas condiciones de trabajo la profundidad de raíces fue un 10% inferior a la profundidad de suelo mojado, estando por tanto dentro del rango admitido en el diseño agronómico del riego localizado (López *et al.*, 1992).

Parámetros productivos evaluados

En la época de recolección y durante los años 1998, 1999 y 2000, se evaluó la producción total y comercial (calibre > 70 mm) controlando la carga individual de cada uno de los 5 árboles de cada parcela elemental. Para el control de calidad, se utilizó una máquina industrial para clasificar el fruto recolectado en los diferentes árboles de cada parcela elemental. Asimismo, el peso medio del fruto (g) se calculó al dividir la producción total obtenida en cada parcela elemental respecto al número de frutos. El número medio de frutos por árbol (N) se obtuvo del conteo realizado en cada árbol y parcela elemental.

Parámetros vegetativos evaluados

Para asegurar que el tamaño inicial de los árboles era similar en todos los tratamientos, se calculó el volumen de copa al inicio del experimento. Nueve árboles fueron evaluados, uno de cada parcela elemental. La forma de la copa se consideró similar a un elipsoide con diferentes radios (altura vertical de la copa, dis-

tancia horizontal en la dirección de la fila de los árboles, distancia horizontal perpendicular a la fila). Las mediciones fueron realizadas durante tres años consecutivos usando una cinta plegable de 5 m (Lufkin Ultralok) y para las mediciones verticales se utilizó una mira telescópica de 8 m (Telefix). Para calcular el crecimiento anual, se seleccionaron y marcaron dos brotes en la dirección Norte-Sur, sobre cada uno de los 5 árboles correspondientes a cada parcela elemental.

Parámetros de calidad evaluados

Los parámetros de calidad se evaluaron a partir de muestras de fruto recogidas en septiembre y durante los años 1999 y 2000. La firmeza del fruto se evaluó con un penetrómetro (Fruit Pressure Tester, FT 327), eligiendo 10 frutos de cada parcela elemental. Se determinó el índice de almidón mediante colorimetría por tinción de yodo (prueba de Lugol) sobre 10 manzanas partidas y recolectadas en cada parcela elemental.

Productividad del agua de riego

La productividad del agua ($P_{a,}$ kg m^{-3}) se definió por la relación entre la producción total de manzana comercializable (P, kg ha^{-1}) respecto al volumen de agua de riego aplicado (U, m^3 ha^{-1}):

$$Pa = \frac{P}{U} \qquad [2]$$

Análisis estadístico

Los resultados fueron estadísticamente analizados utilizando el SAS System Program (SAS, User's Guide 1996). El modelo planteado permitió analizar el efecto de cada tratamiento (1, 2, 3 emisores) sobre cada uno de los parámetros considerados (producción, crecimiento vegetativo, calidad del fruto, productividad del agua), así como comparar los distintos tratamientos para cada parámetro.

El modelo estadístico usado fue:

$$Y_{ijk} = \mu + A_j + EN_k + e_{ijk} \qquad [3]$$

Y_{ij}, observación del i^{th} árbol del año j^{th} sometido al número de goteros k^{th} (EN_j); μ, valor medio de la variable observada; A_j, efecto año (1998, 1999, 2000); EN_k, efecto del número de goteros por planta (1, 2 y 3); i, 1, 2, 3 y e, error.

Se realizó un análisis de la varianza y un test de separación de medias (test de Duncan), para un nivel de significación $\alpha = 0,05$.

Resultados y discusión

Evapotranspiración, pluviometría y volumen de agua de riego aplicado

La evapotranspiración media anual del período experimental fue muy similar para todos los años con un valor medio de 869,7 mm, mientras que la lluvia efectiva fue de 491,2 mm, siendo el primer año el más seco con aproximadamente el 18% menos de lluvia que el año medio (Tabla 1). Durante el periodo de riego hubo poca variabilidad entre los diferentes años para los valores de evapotranspiración de referencia y de precipitación efectiva, que además en este periodo supusieron aproximadamente el 70% y el 34% de los valores anuales, respectivamente. Para cada año del ensayo la dosis de riego aplicada en cada tratamiento fue muy parecida, presentando coeficientes de variación de 1,3%, 2,1% y 1,3% para los años 1998, 1999 y 2000 respectivamente, que garantizan la homogeneidad en el volumen de agua aportado en cada uno de los tratamientos. Para la temporada de riegos, la dosis de riego aplicada más la lluvia efectiva estimada fue de 584,9 mm como valor medio del conjunto de años del ensayo, cantidad muy similar a la indicada por Drake y Evans, (1997) y Rufat (2003) con un valor medio de 570 mm para 'Golden Smoothe' en riego localizado en Lérida (España).

Tabla 1. Evapotranspiración de referencia (ET_0) y lluvia efectiva (P_e) para cada año en el periodo experimental y en el periodo de riego (abril a septiembre) y dosis de riego anual para cada año y tratamiento en el periodo de riego (1998-2000)
Table 1. Reference evapotranspiration (ET_0) and effective rainfall (P_e) for each year during the experimental period and during the irrigation period (April to September) and irrigation dose for each year and treatment during the irrigation period (1998-2000)

	1998	1999	2000	Media
Periodo experimental				
ET_0 (mm)	845,9	884,8	878,4	869,7 (20,8)
P_t (mm)	405,1	551,9	516,6	491,2 (76,6)
Periodo de riego				
ET_0 (mm)	627,2	609,2	604,1	613,7 (12,5)
P_e (mm)	156,0	184,0	166,7	168,9 (14,1)
Dosis de riego				
1 gotero	452,6	399,4	414,3	422,1 (27,4)
2 goteros	440,6	397,7	406,3	414,9 (22,6)
3 goteros	445,7	384,0	403,4	411,0 (31,5)
Media	446,3 (6,0)	393,7 (8,4)	408,0 (5,6)	416,0 (24,3)

Desviaciones típicas se indican entre paréntesis.

Frecuencia de riego

El valor medio del número de riegos por temporada fue de 61, 30 y 20 para el diseño con 1, 2 y 3 goteros respectivamente.

En la Tabla 2 se muestra la frecuencia de riego para los distintos tratamientos y cada uno de los años y meses del periodo de riego. Los valores medios y desviaciones típicas de la frecuencia de riego durante el periodo experimental fueron de 2,8 (2,0), 5,7 (4,2) y 8,6 (6,6) días para los tratamientos con 1, 2 y 3 goteros respectivamente.

Producción de manzana

Durante el período experimental, la producción media total y comercial no fue significativamente diferente entre los tratamientos comparados. El riego con 2 goteros por planta mostró valores más altos en cada año del ensayo, aunque sin diferencias significativas respecto a los restantes tratamientos (Tabla 3). Los resultados de producción total y comercial fueron muy similares a los obtenidos por Rufat (2003) que tampoco mostraron diferencias significativas al aumentar el porcentaje de volumen de suelo mojado.

El peso medio del fruto y el número de frutos por árbol no mostraron diferencias estadísticas significativas entre los diversos tratamientos (Tabla 4), aunque también los valores más altos se alcanzaron para el riego con 2 goteros por planta. La distribución de la calidad del fruto no está influida únicamente por el volumen de agua aplicada, sino por otros factores como: carga de frutos por árbol, vigor del portainjerto, nivel nutricional y factores ambientales (Thalheimer *et al.*, 2000).

Tabla 2. Frecuencia de riego media (días) para cada mes y año del periodo experimental
Table 2. Average irrigation frequency (days) for each month and year of the experimental period

Año	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Media
1998							
Tratamiento 1	–	3,1	1,9	1,6	2,1	6,0	2,3 (1,2)
Tratamiento 2	–	6,2	3,8	3,1	3,9	15,0	4,6 (2,8)
Tratamiento 3	–	10,3	6,0	4,4	6,2	15,0	7,0 (3,4)
1999							
Tratamiento 1	7,5	7,8	2,3	1,8	1,9	7,5	3,1 (2,3)
Tratamiento 2	15,0	15,5	5,0	3,9	3,9	15,0	6,5 (4,6)
Tratamiento 3	30,0	31,0	7,5	5,2	6,2	30,0	10,2 (9,3)
2000							
Tratamiento 1	15,0	3,9	2,7	2,2	1,6	5,0	3,0 (1,1)
Tratamiento 2	30,0	7,8	5,0	4,4	3,4	10,0	6,1 (2,1)
Tratamiento 3	30,0	15,5	7,5	6,2	5,2	15,0	9,2 (3,9)

Desviaciones típicas se indican entre paréntesis.

Tabla 3. Producción total y comercial de cosecha de manzana y producción total acumulada en los diferentes tratamientos (número de goteros) durante el período experimental
Table 3. Total and commercial production of apple yield and total accumulated production in the different treatments (number of drippers) during the experimental period

	Total (kg ha^{-1})				Comercial[1] (%)			
Nº goteros	1998	1999	2000	Media	1998	1999	2000	Media
1	14.828	26.542	21.970	21.113	96,7	97,8	95,0	96,5
2	19.513	27.770	24.056	23.780	98,2	97,9	94,0	96,7
3	17.371	26.256	22.256	21.961	97,8	97,3	92,3	95,8
Media	17.237 b	26.856 a	22.761 a	22.285	97,7	97,7	93,8	96,3

[1] Calibre > 70 mm.

Dentro de cada fila y parámetro valores seguidos por diferentes letras indican diferencias entre años de acuerdo al test de Duncan ($P < 0,05$).

Tabla 4. Peso medio del fruto y número de frutos por árbol para los diferentes tratamientos (número de goteros) durante el período experimental
Table 4. Average fruit weight and number of fruits per tree according to the different treatments (number of drippers) throughout the experimental period

	Peso (g)				Cantidad (frut. árbol^{-1})			
Nº goteros	1998	1999	2000	Media	1998	1999	2000	Media
1	136,4	183,6	195,2 a	171,8	38	51	39	43
2	139,0	212,6	191,7 ab	181,1	49	46	44	46
3	139,7	206,1	189,1 b	178,3	44	45	41	43
Media	138,4 b	200,8 a	192,0 a	177,1	44	47	41	44

Dentro de cada columna, valores seguidos por diferentes letras indican diferencias de acuerdo al test de Duncan ($P < 0,05$). Dentro de cada fila y parámetro valores seguidos por diferentes letras indican diferencias entre años de acuerdo al test de Duncan ($P < 0,05$).

La escasa diferencia obtenida en las producciones entre los tratamientos puede atribuirse en parte a que un bajo porcentaje de raíces mojadas puede generar altos valores de evapotranspiración en manzano (Black y West, 1974) y afectar a su producción. Así pues, el tratamiento con 1 emisor/árbol y un 22% de volumen de raíces mojadas, pero con la mayor frecuencia de riego, pudo haber sido suficiente para alcanzar un alto coeficiente de transpiración y de producción que no fueron incrementados significativamente por los otros porcentajes. Además, como un bajo número de goteros por planta supone reducir la superficie mojada del suelo y como consecuencia reducir drásticamente la evaporación (Girona *et al.*, 2008), en el tratamiento con 1 gotero por árbol podría haber permanecido más cantidad de agua a disposición de la planta y resultar más productiva esta situación. En el caso de los tratamientos con un mayor número de emisores por árbol se produciría un mayor solapamiento entre los bulbos de humedad, con lo que la extensión de la zona mojada sería mayor, si bien esta humedad estaría más alejada de la zona de mayor densidad radicular y por tanto no sería aprovechada con la misma eficiencia por la planta, además de producirse una mayor evaporación. La variación en las condiciones de humedad en el suelo que se generan al aplicar diferentes frecuencias de riego entre distintos porcentajes de volumen de suelo húmedo ha sido constatada por Levin *et al.* (1980) y su influencia en el nivel de evaporación superficial del área mojada por Meshkat *et al.* (2000).

Ucar *et al.* (2016) encontraron diferencias en la producción y calidad en manzanos cv 'Gala' en el primer y segundo año de cultivo al aplicar el agua de riego consumida desde capacidad de campo a los 3, 5, 7 y 10 días, pero a diferencia del presente trabajo el suelo era franco-arcilloso y la cantidad de agua aplicada fue distinta en cada tratamiento. La aplicación del mismo volumen de agua a todos los tratamientos durante la temporada de riego es un factor que necesariamente actúa homogeneizando los distintos tratamientos.

Finalmente, debe considerarse también que el portainjerto EM9 es enanizante, propio de las plantaciones intensivas, con un sistema radicular muy poco desarrollado y bastante superficial, que demanda una elevada frecuencia de riego (Rodríguez, 2004).

Crecimiento vegetativo

Los árboles evaluados mostraron un desarrollo vegetativo similar durante el periodo experimental con una media de 8,5 m^3 árbol^{-1} y desviación típica de 0,7 m^3 árbol^{-1}, lo cual indica que las diferencias en el volumen de copa fueron menores al 10%. No hubo diferencias significativas al comparar el crecimiento medio anual de los brotes controlados entre los diferentes tratamientos en cada uno de los tres años, tampoco entre los valores medios finales del período analizado (Tabla 5). Cuando el contenido de agua en el suelo aumenta debido al riego y hay condiciones de alta carga de frutos, no hay respuesta de crecimiento vegetativo positivo por la mayor dominancia del fruto sobre los órganos vegetativos (Grossman y Dejong, 1994). Durante la cosecha de 1999, este comportamiento habitual no se observó, porque el mayor crecimiento vegetativo coincidió con la mayor producción por árbol. Esta respuesta, probablemente, sea debida a un proceso de alternancia productiva ya que 1998 fue un año con baja producción, que facilitó la acumulación de reservas para la cosecha del año siguiente.

Parámetros de calidad del fruto

No se encontraron diferencias significativas en la firmeza del fruto en relación con la cantidad de goteros instalados por árbol (Tabla 6). El resultado medio obtenido de firmeza del fruto, 62 Ncm^{-2}, es muy similar al obtenido por Rufat (2003), 63 Ncm^{-2}, comparando los sistemas de riego por goteo y micro-aspersión, que generaron diferentes volúmenes de suelo húmedo.

Los resultados relacionados con el contenido de almidón coinciden también, con las observaciones de Rufat (2003). El mayor contenido de almidón se obtuvo con el menor número de goteros y viceversa (Tabla 6). Las diferencias entre los tratamientos con 1 gotero por planta y 3 goteros por planta fueron significativas. Sin embargo no se encontró ninguna relación entre firmeza del fruto e índice de almidón para el conjunto de los tratamientos. Bouzo y Gariglio (2013) en un ensayo sobre índices de madurez con distintas variedades de manzana encontraron una relación negativa entre firmeza e índice de almidón aunque el ajuste mediante correlación lineal entre estas dos variables fue muy

Tabla 5. Crecimiento vegetativo anual del brote y productividad del agua de riego (P_a) para los diferentes tratamientos (número de goteros), durante el período experimental
Table 5. Vegetative shoot growth (cm) and overall agronomic water-use efficiency (P_a) for the different treatments (number of drippers) throughout the experimental period

	Crecimiento anual brote (cm)				P_a (kg m^{-3})			
Nº goteros	1998	1999	2000	Media	1998	1999	2000	Media
1	28,93	34,08	25,13	29,38	3,16	6,50	5,04	4,90
2	28,12	32,33	24,07	28,17	4,35	6,83	5,56	5,80
3	27,25	35,73	21,67	28,22	3,81	6,65	5,09	5,18
Media	28,10 b	34,05 a	23,62 c	28,59	3,77	6,66	5,23	5,22

Dentro de cada columna, valores seguidos por diferentes letras indican diferencias de acuerdo al test de Duncan ($P < 0,05$). Dentro de cada fila y parámetro valores seguidos por diferentes letras indican diferencias entre años de acuerdo al test de Duncan ($P < 0,05$).

Tabla 6. Firmeza del fruto e índice de almidón de acuerdo a los diferentes porcentajes de volumen de suelo húmedo durante el período experimental
Table 6. Fruit firmness and starch index according to the different percentages of wet soil volume throughout the experimental period

	Firmeza (N cm^{-2})			Almidón[1] (Nivel)		
Nº goteros	1999	2000	Media	1999	2000	Media
1	57,39	65,43	61,41	9,1	6,2 a	7,7 a
2	60,13	64,54	62,39	8,9	5,7 ab	7,3 ab
3	57,58	67,19	62,39	8,9	4,9 b	6,9 b
Media	58,36 b	65,72 a	62,06	9,0 a	5,6 b	7,3

[1] Colorimetría de Iodo.

Dentro de cada columna, valores seguidos por diferentes letras indican diferencias de acuerdo al test de Duncan (P < 0,05). Dentro de cada fila y parámetro valores seguidos por diferentes letras indican diferencias entre años de acuerdo al test de Duncan (P < 0,05).

bajo (coeficientes de determinación entre 0,04-0,20). Ajustes igualmente pobres también los encontraron Knee *et al.* (1989) y Blankenship *et al.* (1997) con manzana 'Fuji' (0,26-0,34), si bien estos autores compararon la evolución de ambos parámetros con el desarrollo del fruto y en el presente ensayo se compararon los valores finales obtenidos en los distintos tratamientos. La diferencia entre el índice de almidón (IA) entre temporadas fue significativa y podría explicarse porque el IA es cualitativo, indicando presencia de almidón, pero no su concentración, por lo que para distintos IA, la cantidad de almidón presente en dos frutos puede ser la misma, además de que la hidrólisis del almidón está afectada por la temperatura (Moggia y Pereira, 2006). Finalmente la falta de tendencias claras en los valores entre firmeza e índice de almidón del ensayo también se deben al bajo número de valores comparados, que además, como casi todos los índices de maduración se caracterizan por una importante dispersión (Bouzo y Gariglio, 2013).

Productividad del agua de riego

La mayor productividad del agua de riego se produjo, cada año, en el riego con 2 goteros (media de 5,58 kg fruto m^{-3} agua de riego aplicada), pero no hubo diferencias significativas respecto a los otros tratamientos (Tabla 5). El valor medio de productividad del agua para el conjunto de los 3 años de ensayo (1998-2000) y los 3 tratamientos aplicados fue de 5,22 kg de fruta comercial por m^3 de agua de riego aplicada, valor prácticamente equivalente al de 5,25 kg m^{-3} indicado por Clop *et al.* (2009) en manzano 'Golden Delicious' para el área de Lérida.

Conclusiones

El riego localizado en manzano cv 'Golden Delicious' cultivado en condiciones intensivas, con distinto número de emisores (1, 2 y 3 goteros por árbol) que se correspondieron a tres frecuencias de riego medias de 3, 6 y 9 días y

a unos volúmenes de suelo húmedo aproximados de 22, 44 y 66% del volumen potencial de exploración radicular, no mostró diferencias significativas en ningún parámetro productivo (producción, peso y número de frutos, crecimiento vegetativo) ni de calidad del fruto (firmeza, excepto contenido de almidón) analizados durante los tres años de duración del experimento. La productividad del agua tampoco presentó diferencias entre tratamientos. Probablemente la falta de diferencias significativas entre las variables analizadas pueda atribuirse principalmente a la aplicación del mismo volumen de agua entre tratamientos y al solapamiento entre bulbos de humedad que se produce en cultivos con reducido marco de plantación por la proximidad entre emisores y que define una franja contínua de humedad, factores que tienden a uniformizar los distintos tratamientos mediante un patrón de comportamiento hídrico parecido y de naturaleza compleja.

Por consiguiente, en plantaciones de alta densidad de manzanos (2.857 árboles ha^{-1}), con condiciones de clima, suelo, riego y de calidad del agua similares a las del experimento, el establecimiento de 1 emisor por árbol tiene una ventaja competitiva importante respecto a otras configuraciones de riego basadas en un mayor número de goteros por árbol al producirse un costo económico de la instalación menor que en el diseño con 2 o 3 emisores, con producciones de rendimiento y calidad muy parecidas, al proporcionar la mayor frecuencia de riego en el caso de 1 gotero por planta un contenido de agua suficiente al volumen radicular desarrollado. Los resultados del trabajo sugieren recomendar la conveniencia de realizar un análisis detallado del proyecto mediante un número de goteros reducido con alta frecuencia de riego en la fase de diseño agronómico de las instalaciones de riego localizado en plantaciones de manzano intensivas, debido a las ventajas económicas que pueden derivarse de este diseño sin merma en la cantidad y calidad de la producción.

Finalmente, el ensayo permitió constatar la complejidad en la interacción entre las variables del riego tratadas (número de emisores, frecuencia y volumen de suelo mojado), los procesos de la dinámica del agua en el suelo y la respuesta productiva de las plantas cultivadas en condiciones de marcos de plantación intensivos, que probablemente obligan a definir criterios para el volúmen mojado óptimo distintos a los existentes para las plantaciones con marcos amplios.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Ministerio de Economía y Competitividad la financiación de este trabajo mediante el proyecto HID1996-1342-C04-02 y al Instituto de Investigación y Tecnologías Agroalimentarias (IRTA), a través de la Estación Experimental Fundación Mas Badia (La Tallada d'Empordà, Gerona), el personal técnico y de soporte en campo aportado.

Bibliografía

Allen RG, Pereira LS, Raes D, Smith M (1998). Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56. Roma, Italia. 299 p.

Amin MSM, Ekhmaj AIM (2006). DIPAC-drip irrigation water distribution pattern calculator. En: 7th Micro-irrigation Congress, 16-15 de septiembre. PWTC, Kuala Lumpur, Malasia, p. 505-513.

Arbat G, Puig-Bargués J, Barragán J, Bonany J, Ramírez de Cartagena F (2008). Monitoring soil water status for microirrigation management versus modelling approach. Biosystems Engineering 100(2): 286-296.

Arbat G, Puig-Bargués J, Duran-Ros M, Barragán J, Ramírez de Cartagena F (2013). Drip-Irriwater: Computer software to simulate soil wetting patterns under surface drip irrigation. Computers and Electronics in Agriculture 98, 183-192.

Black JDF, West DW (1974). Water uptake by an apple tree with various proportions of the root system supply with water. Proceedings of the Second International Drip Irrigation Congress, 7-14 de julio. San Diego, California, EE.UU. p. 432-433.

Blankenship SM, Parker M, Unrath CR (1997). Use of maturity indices for predicting poststorage firmness of 'Fuji' apples. Journal of Agricultural and Food Chemistry 45(1): 909-910.

Bouzo CA, Gariglio NF (2013). Validación de índices de cosecha para manzanas de bajos requerimientos de frío. Agrociencia Uruguay Vol. 17 (1): 74-80.

Clop M, Cots Ll, Esteban M, Barragán JD (2009). Rentabilidad económica del regadío de los canales de Urgell (Lleida, España). ITEA-Información Técnica Económica Agraria 105(1): 36-48.

Doorenbos J, Pruitt WO (1988). Las necesidades de agua de los cultivos. FAO Serie Riego y Drenaje No. 24. Roma, Italia. 194 p.

Drake SR, Evans RG (1997). Irrigation management influence on fruit quality and storage life of 'Redspur' and 'Golden Delicious' apples. Fruit Varieties Journal 51(1): 7-12.

Earl KD, Jury WA (1977). Water movement in bare and cropped soil under insolate trickle emitters: II. Analysis of cropped soil experiments. Soil Science Society of America Journal 41: 856-861.

Fereres E (1981). Drip irrigation management. University of California. Leaflet No. 21259: 39 p.

Girona J, Mata M, Del Campo J, Marsal J (2008). Manejo del riego del manzano en condiciones de sequía extrema. Rural Cat, Dossier Tècnic Nº 30: 5-8.

Gispert JR, Ramírez de Cartagena F, Villar JM, Girona J (2012). Wet soil volume and strategy effects on drip-irrigated olive trees (cv. 'Arbequina'). Irrigation Science 31(3): 479-489.

Gispert JR, Ramírez de Cartagena F, Villar JM, Rovira M (2015). Efecto del volumen de suelo húmedo en riego localizado para el cultivo del avellano (*Corylus avellana* L.). ITEA-Información Técnica Económica Agraria 111(2): 109-126.

Grossman YL, Dejong TM (1994). Peach: A simulation model of reproductive and vegetative growth in peach trees. Tree Physiology 14: 329-345.

Kadayifçi A, Senyigit U, Dagdelen N, Öz H, Atilgan A (2010). The effects of different irrigation methods on root distribution, intensity and effective root depth of Young dwarf apple trees. African Journal of Biotechnology 9(27): 4217-4224.

Keller J, Bliesner RD (1990). Sprinkle and trickle irrigation. Van Nostrand Reinhold, Nueva York, EE.UU. 652 p.

Knee M, Hatfield SGS, Smith SM (1989). Evaluation of various indicators of maturity for harvest of apple fruit (Cox's Orange Pippin) intended for long-term storage. Journal of Horticultural Science 64(4): 403-411.

Levin I, Bravdo B., Assaf R (1973). Relation between apple root distribution and soil water extraction in different irrigation regimes. En: Physical aspects of soil water and salts in ecosystems (Ed. Hadas A *et al.*), p. 351-359, Vol 4, Series Ecological Studies. Springler-Verlag Berlín-Heildelberg, Alemania.

Levin I, Assaf R, Bravdo B (1979). Soil moisture and root distribution in an apple orchard irrigated by tricklers. Plant and Soil 52 (1): 31-40.

Levin I, Assaf R, Bravdo B (1980). Irrigation, water status and nutrient uptake in an apple orchard. En: Mineral Nutrition of Fruit Trees (Ed. Atkinson D *et al.*), p. 255-264. Butterworths, Londrés, Reino Unido.

López JR, Hernández Abreu LM, Pérez Regalado A, González Hernández JF (1992). Riego localizado. Ed. Mundi Prensa, Madrid, España. 405 p.

Meshkat M, Wamer RC, Workman SR (2000). Evaporation reduction potential in an undisturbed soil irrigated with surface drip and sand tube irrigation. Transactions of ASAE 43(1): 79-86.

Moggia C, Pereira M (2006). Almidón y maduración en manzanas. Pomáceas. Boletín Técnico Vol. 6 (3). Universidad de Talca, Talca, Chile.

Neilsen GH, Parchomchuk P, Neilsen D, Berard R, Hague EJ (1995). Leaf nutrition and soil nutrients are affected by irrigation frequency and method for NP-fertigated 'Gala' apple. Journal of the American Society for Horticultural Science 120(6): 971-976.

Oster JD, Wichelns D (2003). Economic and agronomic strategies to achieve sustainable irrigation. Irrigation Science 22(3): 107-120.

Raffo MD, Iglesias N (2004). Efecto de la intercepción y distribución de la radiación fotosintéticamente activa en manzanos cv Fuji bajo cuatro sistemas de conducción en alta densidad. RIA 33 (2): 29-42 INTA, Argentina.

Rodríguez RO (2004). Evaluación de portainjertos clonales de manzano. INTA Argentina, Presentaciones, 16 p. Disponible en: http://inta.gob.ar/documentos/evaluacion-de-portainjertos-clonales-en-manzanos (10 de noviembre de 2016).

Rufat J (2003). Influencia del riego y del abonado nitrogenado sobre el comportamiento vegetativo y productivo y su efecto en la calidad del fruto en manzano. Tesis Doctoral. Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Agrària, Universitat de Lleida, Lérida, España.

Rumayor A, Bravo A (1991). Effects of three systems and levels of irrigating apple trees. Scientia Horticulturae 47: 67-75.

SAS Institute (1996). SAS User's Guide 1996 Edition. Raleigh.

Simunek J, Van Genuchten MT, Sejna M (2006). HYDRUS, software package for simulating the two and three dimensional movement of water, heat and solute transport in variably-saturated media. Technical Manual 1. PC Progress, Praga, República Checa.

Smith M (1988). Manual for CROPWAT version 5.2. FAO, Roma, Italia. 45 p.

Soil Survey Staff (2010). Keys to Soil Taxonomy, 11th Ed. USDA-Natural Resources Conservation Service, Washington, DC., EE.UU.

Thalheimer M, Paoli N, Steinkeller M (2000). Experienze con ridotti regimi di irrigazione su melo 'Golden Delicious'. Rivista di frutticoltura e di ortofloricoltura 62(6): 76-82.

Ucar Y, Kadayifci A, Askin MA, Kankaya A, Senyigit U, Yildirim F (2016). Effects of irrigation frequency on yield and quality parameters in apple c.v. 'Gala, Galaxy'. Erwerbs-Obstbau 58 (3): 169-175.

Zhao Z, Wang W, Wu Y, Huang X (2012). Yield and water use efficiency of pear trees under drip irrigation with different surface wetted percentages. International Journal of Agriculture & Biology 14: 887-893.

Zur B (1996). Wetted soil volume as design objective in trickle irrigation. Irrigation Science 16: 101-105.

(Aceptado para publicación el 10 de noviembre de 2016)

Efecto de la inclusión de castaña en la formulación de piensos sobre calidad de la canal y la carne de cerdo industrial

M.C. de Jesús[1], R. Domínguez[2], J. Cantalapiedra[3], A. Iglesias[1] y J.M. Lorenzo[2,*]

[1] Departamento de Anatomía y Producción Animal. Universidad de Santiago de Compostela, 27002, Lugo, España
[2] Centro Tecnológico de la Carne de Galicia, Rúa Galicia Nº 4, Parque Tecnológico de Galicia, San Cibrán das Viñas, 32900 Ourense, España
[3] Farm Counselling Services. Consellería do Medio Rural, Xunta de Galicia, 27004, Lugo, España

Resumen

En este trabajo se analizó la influencia que la inclusión de castaña en la formulación de piensos ejerce sobre la calidad de la canal y la carne de 24 cerdos industriales. La inclusión de castaña tanto a un 15% (C15) como a un 25% (C25) incrementaron el peso vivo (140 kg *vs.* 128 kg) y el peso canal (en torno a 114 kg *vs.* 103 kg) en comparación con el control. En cuanto a las medidas de la canal solo la longitud de la canal mostró diferencias entre los grupos. En el grupo C25 fueron superiores el rendimiento canal (82 *vs.* 80% en los otros) y los pesos y porcentajes de lomo y jamón, mientras que en el resto de piezas no se observaron diferencias significativas. En cuanto a las características físico-químicas del lomo solo el pH mostró diferencias significativas, donde los cerdos con inclusión de castaña mostraron valores superiores. Los parámetros de color, capacidad de retención de agua y textura no se vieron afectados por la dieta. Finalmente, el perfil de ácidos grasos así como los índices nutricionales se vieron mejorados con la inclusión de castaña a un 15%. Así, el lomo de estos cerdos presentó menores contenidos de ácidos grasos saturados y mayores de monoinsaturados y poliinsaturados. Como conclusión general se puede afirmar que la inclusión de castaña en la formulación de piensos porcinos permitiría disminuir los costes de producción y poner en el mercado un producto diferenciado sin que esto afecte o incluso mejorando las calidades de canal y de la carne.

Palabras clave: Calidad de la canal, calidad de la carne, castañas, dieta, ácidos grasos, características físico-químicas.

Abstract
Effect the inclusion of chestnut in feed formulation on carcass and meat quality of industrial pig

The effect of including chestnuts in the formulation of the feed on carcass characteristics and meat quality from 24 pigs was studied. The inclusion of both 15% (C15) and 25% (C25) of chestnut improves live (140 *vs.* 128 kg) and carcass weights (about 114 *vs.* 103 kg) compared with the control diet. Regarding morphometric parameters, no statistical differences were found except for carcass length. C25 group showed the highest dressing percentages and the highest proportions of loin and ham. The pH values

* Autor para correspondencia: jmlorenzo@ceteca.net
http://doi.org/10.12706/itea.2017.003

of chestnut-fed pigs were higher than the control group pigs. Diet did not affect the physico-chemical properties (colour parameters, water holding capacity and shear force) of the *longissimus dorsi* muscle. The inclusion of 15% of chestnut in the diet improves the fatty acid profile and nutritional indices. The pigs fed this diet presented the lowest values of saturated fatty acids and the highest of monounsaturated and polyunsaturated fatty acids. In conclusion, including chestnuts in the diet allowed a reduction of the production costs, putting in the market a differentiated product without affecting or even improving carcass and meat quality.

Key words: Carcass quality, meat quality, chestnuts, diet, fatty acids, physico-chemical characteristics.

Introducción

El aprovechamiento de recursos naturales en la alimentación de ganado porcino toma en estos momentos más interés que nunca, debido a los elevados precios actuales de los piensos compuestos comerciales para la alimentación animal. En el noroeste peninsular, la castaña ha gozado tradicionalmente de una buena fama como alimento para el ganado. Se trata de un alimento con alto contenido en humedad (sobre un 50%), altos niveles de almidón (57 g/100 g de materia seca (MS)) y baja concentración de proteínas (5,8 g/100 g de MS) y grasa (3 g/100 g de MS) (Pereira-Lorenzo *et al.,* 2006). Su composición hace de ella una ración idónea para el mantenimiento y engorde de animales adultos. Así, la castaña podría constituir un ingrediente importante a la hora de diseñar la formulación de las raciones porcinas. Este aprovechamiento permitirá la plena utilización de una producción vegetal que en la actualidad se halla infrautilizada y mal valorizada, reducir los costes de producción de la carne porcina y poner en el mercado productos de calidad diferenciados, con un elevado valor añadido y con una grasa más saludable (Bermúdez *et al.,* 2012; Domínguez *et al.,* 2015).

Por otro lado, tanto la calidad de la canal como de la carne de cerdo se ve afectada por una serie de factores como la raza, el sexo o el sistema de cría, pero la alimentación se presenta como el principal factor de variación sobre estas características. De hecho se han realizado diversos estudios sobre la inclusión de castaña, bien como substituto total o parcial del pienso compuesto sobre la calidad de la carne fresca (Coutron-Gambotti, *et al.,* 1998; Domínguez *et al.,* 2015) y sobre productos cárnicos crudo-curados (Bermúdez *et al.,* 2012; Lorenzo *et al.,* 2013; Lorenzo *et al.,* 2014). Por tanto, dado el efecto que la alimentación ejerce sobre la confomación de la canal y la composición y características tanto de la carne como de los productos elaborados es necesario acometer un estudio riguroso que permita conocer el efecto real de la inclusión de castaña en la formulación de piensos comerciales sobre la calidad de la canal y de la carne, con la finalidad de ofertar al consumidor un producto de calidad constante y de ofrecer a los industriales elaboradores una materia prima de comportamiento previsible y conocido en los procesos de elaboración de los derivados crudo-curados.

Teniendo en mente todo lo mencionado anteriormente, el principal objetivo del presente trabajo es evaluar el efecto que la inclusión de castaña en la formulación de piensos para la alimentación porcina ejerce sobre las características de la canal así como sobre la calidad de la carne de cerdos industriales.

Material y métodos

Diseño experimental y manejo de los animales

Para la realización de este trabajo se partió de 24 cerdos machos, castrados de razas industriales. Los cerdos se criaron, al mismo tiempo en régimen extensivo, en dos granjas experimentales localizadas en Lugo (España), con un bosque de 960 m^2 (40 m^2 por animal) integrado por eucaliptos (*Eucalyptus* spp.) y castaños (*Castanea sativa*). La zona estuvo provista de casetas para el descanso y piscinas para permitir el baño de los animales. Los animales fueron alimentados con una dieta estándar para lechones durante los tres primeros meses y luego se dividieron aleatoriamente en tres grupos (4 animales por grupo y granja x 3 grupos de animales x 2 granjas). Los animales fueron alimentados *ad libitum* en todos los grupos. El primer grupo fue alimentado con pienso compuesto comercial (dieta control), compuesta básicamente por cereales (cebada, soja y trigo), el segundo grupo fue alimentado con pienso compuesto al que se le añadió un 15% de castañas deshidratadas (C15) y el último grupo fue alimentado con pienso compuesto al que se le añadió un 25% de castañas deshidratadas (C25). La composición química de las castañas utilizadas fue: 51,9% de materia seca; 4,2% de proteína; 3,3% de grasa; 2% de fibra cruda; 32% de almidón; 1,3% de cenizas. La composición química y el perfil de ácidos grasos de las dietas usadas en este trabajo se muestran en la Tabla 1. Todas las dietas proporcionaron entre 270 y 296 kcal/100 g de pienso. La composición de las dietas fue determinada siguiendo los procedimientos descritos por AOAC (2000). Los animales fueron sacrificados a los 12 meses de edad. El día previo al sacrificio, todos los animales (de las dos granjas experimentales) fueron pesados y transportados al matadero con la finalidad de minimizar el estrés. Los cerdos fueron sacrificados mediante aturdido eléctrico y desangrado en un matadero autorizado (Castro Riberas de Lea, Lugo, España).

Medidas de la canal

Una vez sacrificados los animales, se procedió a la toma de datos y análisis de la calidad de la canal y la carne, a 45 minutos *post-mortem* y después de 24 h a 4ºC. El peso canal se tomó tras las 24 h en el propio matadero. El rendimiento de la canal fue calculado como porcentaje del peso de la canal fría en comparación con el peso vivo. Usando una cinta métrica flexible se tomaron, tras 24 h *post-mortem* y en la media canal derecha las medidas de longitud de la canal (desde el centro del borde craneal de la primera costilla a la sínfisis púbica), longitud del jamón (desde el final del olecranon hasta el punto distal del trotón) y el perímetro máximo del jamón (medido en el área de máxima amplitud, cerca de la base de la cola). El espesor de la grasa dorsal se midió en la línea dorsal media a nivel del punto medio del músculo *Gluteus medius*.

Cortes principales

El despiece se llevó a cabo también 24 h después del sacrificio. La cabeza fue separada (mediante un corte entre el hueso occipital y el atlas), así como las papadas (derecha e izquierda) y se pesaron. Posteriormente se obtuvieron los siguientes cortes de cada media canal, y se pesaron: jamón, lomo, solomillo, paleta, tocino y panceta. Los datos tomados de cada canal fueron el valor medio entre los cortes de la media canal izquierda y derecha. Los datos de los cortes principales se expresaron como peso total de cada pieza (en kg) y como porcentaje respeto al peso de la canal. Una porción del lomo (*Longissimus dorsi*) entre la cuarta y la décima costilla fue retirada para las determinaciones de la calidad de la carne. El lomo se cortó en cuatro filetes

Tabla 1. Composición química y perfil de ácidos grasos de los piensos usados en la alimentación de los cerdos
Table 1. Chemical composition and fatty acids profile of the compound feed used in the pig diet

	Dieta		
	C	C15	C25
Composición química (%)			
Humedad	10,50	11,20	11,00
Proteína	15,90	14,20	13,30
Grasa	4,40	4,20	4,00
Fibra bruta	4,20	4,20	4,10
Cenizas	4,40	4,10	3,90
Almidón	48,30	44,80	45,30
Energía (Kcal/100 g)	296,5	273,8	270,4
Perfil de ácidos grasos (%)			
C12:0	0,03	0,03	0,04
C14:0	0,89	0,82	0,75
C14:1	0,07	0,07	0,06
C15:0	0,12	0,11	0,11
C16:0	19,38	18,65	18,13
C16:1n7	1,44	1,35	1,25
C17:0	0,35	0,32	0,29
C17:1	0,19	0,18	0,17
C18:0	8,42	7,28	6,41
C18:1n9	29,85	30,48	30,72
C18:2n6	32,27	33,53	34,67
C20:0	0,26	0,27	0,27
C18:3n3	2,14	2,59	2,97
C20:3n3	0,03	0,03	0,03
C20:4n6	0,10	0,08	0,09
C20:5n3	0,13	0,13	0,13
C24:1n3	0,03	0,03	0,03
C22:5n3	0,03	0,02	0,02
C22:6n3	0,02	0,02	0,02

C: pienso compuesto comercial (control); C15: pienso compuesto conteniendo un 15% de castañas deshidratadas; C25: pienso compuesto conteniendo un 25% de castañas deshidratadas.

de 2,5 cm de espesor. El primer filete se usó para la determinación del color. El segundo y el tercero se emplearon para la determinación de la capacidad de retención de agua y textura, mientras que el último fue usado para la determinación del perfil de ácidos grasos. El color, la capacidad de retención de agua y los parámetros de textura fueron analizados el día de la toma de muestra, mientras que el último filete fue picado, envasado al vacío y congelado a -30ºC hasta el momento del análisis de los ácidos grasos, no siendo en ningún caso este período superior a las cuatro semanas.

pH y color

El pH de las muestras se midió usando un pH-metro digital (Crison 507, Barcelona, España) equipado con una sonda de penetración. Los parámetros de color fueron obtenidos mediante un colorímetro portátil (Konica Minolta CR-300 Osaka, Japón), con los siguientes ajustes: pulsos de lámpara de xenón, ángulo de 0º y apertura de 8mm. Las medidas de color fueron expresadas como luminosidad (L*), índice de rojo (a*) e índice de amarillo (b*) (CIE, 1978).

Capacidad de retención de agua

La capacidad de retención de agua (CRA) fue determinada, 24 h *post-mortem*, usando el método descrito por Grau y Hamm (1953) y modificado por Sierra (1973). Esta fue medida de tres modos diferentes: pérdidas por presión, pérdidas por goteo y pérdidas por cocción.

Para determinar las pérdidas por presión, 5 g de carne picada fueron situados entre dos discos de papel de filtro Whatman No. 1 (Filter Lab, España). Después de pesar la carne, se aplicó un peso de 2,5 kg durante 5 minutos. El porcentaje de pérdida de agua fue calculado del siguiente modo:

$$Pérdidas\ presión \frac{(Peso\ inicial\ de\ la\ carne - Peso\ de\ la\ carne\ después\ del\ prensado)}{(Peso\ inicial\ de\ la\ carne)} x100$$

Para determinar las pérdidas por goteo, un filete de lomo (80-100 g y 1,5 cm de espesor) fue pesado y puesto en la parte superior de una red, dentro de un contenedor cerrado, con la finalidad de evitar pérdidas por evaporación. El contenedor se situó en una cámara a 4ºC durante 48 h. Transcurrido este tiempo se pesó nuevamente la carne y el porcentaje de pérdidas por goteo se calculó del siguiente modo:

$$Pérdidas\ goteo \frac{(Peso\ inicial\ de\ la\ carne - Peso\ de\ la\ carne\ después\ del\ goteo)}{(Peso\ inicial\ de\ la\ carne)} x100$$

Para evaluar las pérdidas por cocción, dos filetes de 2,5 cm de espesor fueron envasados individualmente al vacío (97%) (TECNOTRIP modelo EV-15-1-D) y cocidos en un baño de agua a 75ºC durante 45 minutos (Selecta Tectron Bio, Barcelona, España). Posteriormente se dejaron enfriar a temperatura ambiente y las pérdidas por cocción se calcularon del siguiente modo:

$$Pérdidas\ cocción \frac{(Peso\ de\ la\ carne\ fresca - Peso\ de\ la\ carne\ cocida)}{(Peso\ de\ la\ carne\ fresca)} x100$$

Análisis de textura (test Warner Bratzler)

Para el análisis de textura, tras 24 h *post-mortem*, dos filetes fueron cocinados como se indica para el cálculo de las pérdidas por cocción. Dichos filetes fueron cortados en piezas (1 x 1 x 2,5 cm; alto x ancho x largo) de forma paralela a la dirección de las fibras musculares. Estas piezas fueron cortadas completamente empleando una cuchilla para medir la fuerza de corte (3 mm de espesor) con un borde cortante de forma triangular. Para la recolección de los datos se usó un texturómetro (Stable Micro Systems TA-XT2, Reino Unido), y todas las muestras fueron cortadas perpendicularmente a la dirección de las fibras musculares con una velocidad de corte de 2,5 mm/s. El valor de la fuerza de corte de cada muestra corresponde a la media de entre seis y ocho medidas.

Análisis de los ácidos grasos

La grasa se extrajo del lomo siguiendo el procedimiento descrito por Bligh y Dyer (1959), mientras que la metilación (de 50 miligramos de grasa) se realizó segundo el método de Morrison y Smith (1964). Los ésteres metílicos de los ácidos grasos fueron guardados a -80ºC hasta el momento del análisis cromatográfico.

La separación y cuantificación de los ésteres metílicos se llevó a cabo usando un cromatógrafo de gases Carlo Erba Instruments MFC 500 auto/HRGC/MS (Milan, Italia), equipado con un detector por ionización de llama y usando una columna capilar de sílice fundido (Supelco DB-23; Supelco Inc., California, EE.UU.) de 30 metros de longitud, 32 mm de diámetro interno y 0,25 μm de recubrimiento. Las condiciones cromatográficas fueron las siguientes: 170ºC de temperatura inicial del horno, que se mantiene 2 minutos; una primera rampa a 3,5ºC/minuto hasta 210ºC y una segunda rampa a 2,5ºC/minuto hasta los 250ºC, que se mantienen 5 minutos. Tanto el inyector como el detector se mantuvieron a 250ºC. El gas portador utilizado fue helio, a un flujo de 2 mL/minuto. Se inyectó 1 μL de muestra, en modo "split" a un ratio 1:50. Como patrón interno se utilizó el éster metílico del ácido nonadecanoico (C19:0) a una concentración de 300 ppm, el cual fue añadido a las muestras antes de la extracción de la grasa y la metilación. Los ésteres metílicos de cada ácido graso fueron identificados por comparación con los tiempos de retención de un patrón. Se calcularon los sumatorios de los ácidos grasos saturados (AGS), monoinsaturados (AGMI), poliinsaturados (AGPI), ácidos grasos omega 3 (n3) y 6 (n6), así como las relaciones entre ácidos grasos n6 y n3 (n6/n3) y ácidos grasos hipo e hipercolesterolémicos (h/H).

Análisis estadístico

Todos los análisis estadísticos fueron realizados con el programa IBM SPSS Statistics 19 software (IBM, Chicago, IL, EE.UU.). Después de la verificación de la distribución normal de los datos, el efecto de las diferentes dietas sobre los parámetros de la canal, los parámetros de color, CRA, textura y ácidos grasos fue examinado usando un modelo mixto ANOVA, donde estos parámetros fueron fijados como variables dependientes, las dietas como efecto fijo y las réplicas (diferentes granjas) como efecto aleatorio. Se realizó una prueba Duncan para comparar los valores medios para las diferentes dietas a un nivel de significación de $P<0,05$.

Resultados y discusión

Medidas de la canal y cortes principales

El efecto de la cantidad de castaña en la dieta sobre el peso vivo, peso canal, medidas morfológicas y cortes principales se muestran en

la Tabla 2. Tanto el peso vivo como el peso canal fue superior en los cerdos a los que se le incluyó castaña en la dieta en comparación con los de pienso convencional, no mostrando diferencia entre los grupos C15 y C25. Esta tendencia está en desacuerdo con la descrita por otros autores quienes observaron que el uso de castañas en la dieta no modificó estos valores (Coutron-Gambotti *et al.,* 1998; Pugliese *et al.,* 2013; Temperan *et al.,* 2014). En cuanto al rendimiento de la canal los cerdos alimentados con C25 presentaron valores significativamente mayores (P<0,05) a los de los otros 2 grupos, sin embargo no se observaron diferencias en el espesor de la grasa dorsal (con valores comprendidos entre 3,20 y 3,76 cm). Este hecho sugiere que el uso de castaña en la formulación de las dietas no afecta o incrementa la calidad de la canal (mayores pesos y rendimientos) sin incrementar la cantidad de grasa, un hecho que se busca para incrementar la proporción magro/grasa. Resultados similares fueron descritos por Temperan *et al.* (2014), quienes no encontraron diferencias significativas en el espesor de la grasa dorsal entre cerdos alimentados con castaña y pienso compuesto comercial.

Con respecto a las medidas morfológicas, solo la longitud de la canal mostró diferencias significativas. En este caso los cerdos alimentados con C15 presentaron las canales más largas, seguidos de los cerdos de C25 y los más cortos los de la dieta control. La longitud del jamón, el perímetro del jamón y el índice de compacidad de la canal no mostraron diferencias significativas entre los tres grupos estudiados.

En cuanto a los cortes principales, la dieta afectó al lomo, al solomillo y al jamón. Los cerdos alimentados con C15 presentaron los menores valores (P < 0,05) de estas piezas mientras que los valores más altos (P < 0,05) de lomo y jamón fueron los descritos para el grupo C25 y el grupo control presentó los solomillos más grandes. Como era de esperar, estas mismas piezas también mostraron diferencias cuando se expresaron como porcentaje de la canal. Así, la proporción de lomo y jamón es superior en el grupo C25; el grupo control y C25 también mostraron la mayor proporción de solomillo. Con estos resultados en mente se puede afirmar que los cerdos alimentados con C25 presentaron una mayor proporción de los cortes más importantes (lomo, jamón y paleta), siendo el peso de estas piezas de 23,66 kg (47,57% de la canal) en el grupo C25 en comparación con 21,65 kg (43,54% de la canal) en el lote control y 21,55 kg (43,34% de la canal) en el lote C15. En contraste con nuestros resultados, Temperan *et al.* (2014) no observaron diferencias en el peso de los cortes principales de cerdos alimentados únicamente con castañas en la etapa final de cebo, en comparación con los cerdos control.

En este caso, los pesos y porcentajes de paleta, tocino, panceta y cabeza tampoco mostraron diferencias entre las diferentes alimentaciones. Es destacable, como se ha resaltado anteriormente, que a pesar del mayor peso (tanto peso vivo como canal) de los cerdos alimentados con las dietas C15 y C25 no se observe un mayor contenido en grasa (tocino y panceta), lo que parece demostrar que la relación entre magro/grasa será superior en estos cerdos.

Características físico-químicas del lomo

Los resultados de las propiedades físico-químicas del lomo de los cerdos alimentados con diferentes dietas se muestran en la Tabla 3. Los valores de pH mostraron diferencias entre los lotes. Así, los cerdos a los que se le incluyó castaña en la dieta mostraron valores superiores de pH, tanto medido a 45 minutos *post-morten* (P<0,001) como medida 24 h después del sacrificio (P<0,05). Estos resultados concuerdan con los descritos Pugliese *et al.* (2013) quienes describieron que la ali-

Tabla 2. Efecto de la dieta sobres las características de la canal del cerdo industrial
Table 2. Effect of the diet on carcass characteristics of industrial pig

	Dieta[1]			EEM[2]	Nivel de significación
	C	C15	C25		
Peso vivo (kg)	128,66[a]	140,78[b]	140,16[b]	1,90	**
Peso canal (kg)	103,71[a]	113,06[b]	115,06[b]	1,71	**
Rendimiento canal (%)	80,64[a]	80,29[a]	82,02[b]	0,31	*
Medidas de la canal (cm)					
Longitud de la canal	104,25[a]	108,73[b]	107,00[ab]	0,67	*
Longitud del jamón	63,33	67,48	66,33	0,79	n.s.
Perímetro del jamón	75,25	75,50	75,25	0,81	n.s.
Índice de compacidad de la canal	0,99	1,04	1,07	0,01	n.s.
Espesor de la grasa dorsal	3,53	3,76	3,20	0,11	n.s.
Cortes principales (kg)					
Lomo	3,29[ab]	3,01[a]	3,60[b]	0,09	*
Solomillo	0,34[b]	0,26[a]	0,32[ab]	0,01	*
Jamón	13,01[a]	13,16[a]	14,54[b]	0,25	*
Paleta	5,35	5,38	5,52	0,03	n.s.
Tocino	0,73	1,22	0,77	0,10	n.s.
Panceta	3,42	3,58	3,79	0,09	n.s.
Cabeza	6,58	6,14	6,38	0,11	n.s.
Cortes principales (% de la canal)					
Lomo	6,61[ab]	6,06[a]	7,25[b]	0,05	*
Solomillo	0,68[b]	0,53[a]	0,65[b]	0,01	*
Jamón	26,16[a]	26,46[a]	29,22[b]	0,15	*
Paleta	10,77	10,82	11,10	0,05	n.s.
Tocino	1,47	1,79	1,55	0,03	n.s.
Panceta	6,88	7,20	7,62	0,08	n.s.
Cabeza	13,23	12,35	12,83	0,05	n.s.[1]

[1] C: pienso compuesto comercial (control); C15: pienso compuesto conteniendo un 15% de castañas deshidratadas; C25: pienso compuesto conteniendo un 25% de castañas deshidratadas; [2] Error estándar de la media.

Tabla 3. Efecto de la dieta sobres las características físico-químicas de la carne del lomo de cerdo industrial
Table 3. Effect of the diet on physicochemical parameters of loin meat from industrial pig

	Dieta[1]			EEM[2]	Nivel de significación
	C	C15	C25		
pH_{45m}	5,85[a]	6,06[b]	6,13[b]	0,03	***
pH_{24h}	5,40[a]	5,50[b]	5,50[b]	0,02	*
Color					
Luminosidad (L*)	62,67	58,85	61,21	0,02	n.s.
Índice de rojo (a*)	9,93	10,02	9,90	0,37	n.s.
Índice de amarillo (b*)	2,14	2,54	2,45	0,15	n.s.
Capacidad de retención de agua					
Pérdidas por presión (%)	23,13	21,32	21,56	0,63	n.s.
Pérdidas por cocción (%)	17,30	13,16	15,72	0,69	n.s.
Pérdidas por goteo (%)	1,80	1,29	1,02	0,14	n.s.
Textura (Warner Bratzler)					
Fuerza de corte (kg/cm^2)	5,75	6,50	6,31	0,19	n.s.

[1] C: pienso compuesto comercial (control); C15: pienso compuesto conteniendo un 15% de castañas deshidratadas; C25: pienso compuesto conteniendo un 25% de castañas deshidratadas; [2] Error estándar de la media.

mentación afecta a los valores de pH, aunque en este caso no se observó ninguna tendencia clara al incluir la castaña en la dieta. Sin embargo, Temperan *et al.* (2014) no observaron diferencias en los valores de pH en los cerdos alimentados con castaña. Los mayores valores de pH encontrados en los cerdos de los grupos C15 y C25 podrían estar relacionados con el hecho de que las castañas poseen un contenido alto de carbohidratos. Así, la ingesta de carbohidratos incrementa el glucógeno del músculo, y es bien conocido que este glucógeno afecta a la bajada de pH *post-morten* (Henckel *et al.,* 2000).

Los parámetros de color no mostraron diferencias entre las distintas dietas (P<0,05). Los valores de color fueron diferentes a los descritos por Pugliese *et al.* (2007) en cerdos de raza Cinta Senese y Temperan *et al.* (2014) en cerdo de raza Celta, quienes observaron menores valores de L* y mayores de a* y b*. Según Temperan *et al.* (2014), estas diferencias se deben a que las razas rústicas presentan una carne más oscura (menores valores de L*) y más rojiza y amarillenta (mayores de a* y b*) que las razas industriales y sus cruces.

En cuanto a la influencia de la alimentación, los resultados del presente trabajo concuerdan con los con los descritos previamente por Pugliese *et al.* (2007) y Temperan *et al.* (2014), quienes tampoco observaron diferencias significativas en los parámetros de color entre cerdos alimentados con castañas y con pienso. En contra, Pugliese *et al.* (2013) sí encontraron

un incremento de los valores de L*, a* y b* en el músculo *Longissimus lumborum* de cerdos alimentados con castañas durante 1 y 3 meses en comparación con los cerdos control. Estos autores atribuyen dicho efecto al contenido en taninos de las castañas. A su vez, Liu *et al.* (2009) en un estudio con conejos relacionaron el efecto que los taninos de la castaña ejercen sobre el color de la carne con el contenido en hierro del músculo. En este caso, la cantidad de hierro aumentó cuando incrementaron los niveles de taninos.

Por otro lado, al igual que sucede en los parámetros de color, la dieta no ejerció ningún efecto sobre la capacidad de retención de agua (CRA) ($P > 0,05$). De modo similar, Temperan *et al.* (2014) no observaron efecto alguno sobre la CRA al incluir la castaña en la alimentación de los cerdos. Sin embargo, Pugliese *et al.* (2013) si observaron que la inclusión de castaña en la dieta aumentó las pérdidas por goteo y por cocción. Estas diferencias podrían estar relacionadas con el mayor contenido de grasa de los cerdos alimentados con castañas, lo que contribuye a mayores pérdidas por cocción. Esto se debe, según Lawrie (1998), a que parte del jugo eliminado durante el cocinado representa un fluido acuoso y también parte de grasa, ya que a altas temperaturas se funde y se destruyen las estructuras celulares que retienen esta grasa.

Finalmente, con respecto a la textura, la fuerza de corte tampoco mostró diferencias entre los grupos de dietas estudiados ($P > 0,05$), al igual que sucedió en otros estudios (Pugliese *et al.*, 2013; Temperan *et al.,* 2014). A pesar de esto, los cerdos alimentados con C15 y C25 presentaron una fuerza de corte ligeramente superior en comparación con los cerdos control . Estos valores fueron inferiores a los descritos por Temperan *et al.* (2014) (valores entre 10 y 11 kg/cm^2). Los mayores valores de la fuerza de corte en este estudio podrían estar relacionadas con el hecho de que estos animales eran más viejos (sacrificados con 16 meses de edad), y también con una mayor actividad física durante la cría de los cerdos. Sin embargo, Franco *et al.* (2014) observaron valores de la fuerza de corte muy inferiores (entre 2 y 4 kg/cm^2), lo que en este caso podría deberse a que estas muestras estuvieran congeladas a -18ºC durante una semana.

Perfil de ácidos grasos

El perfil de ácidos grasos del lomo se muestra en la Tabla 4. El análisis estadístico no mostró diferencias en el contenido de ácidos grasos saturados (AGS) entre los lotes ($P > 0,05$), aunque parece que la inclusión de castaña en la dieta disminuye el porcentaje de AGS en el lomo. Temperan *et al.* (2014) tampoco observaron diferencias en el contenido de AGS con la inclusión de castaña. De modo similar a los resultados del presente estudio, Domínguez *et al.* (2015) observaron una disminución del porcentaje de AGS en los músculos *Longissimus dorsi* y *Psoas major* en cerdos Celtas alimentados únicamente con castañas durante 3 meses en la etapa final del cebo. Pugliese *et al.* (2013) también observaron un descenso del contenido en AGS en el músculo *Longissimus lumborum* de cerdos alimentados con castaña durante 1 y 3 meses, en comparación con los cerdos control. El hecho de que en estos trabajos si se observaran un descenso significativo mientras que en este estudio, a pesar de observar la misma tendencia, no fueran significativas estas diferencias podría estar relacionado con que la cantidad de castañas administradas en los otros estudios fue superior, por lo que la influencia en los ácidos grasos sería también mayor.

Dentro de los AGS, el ácido graso mayoritario fue el palmítico (C16:0), seguido del esteárico (C18:0) y el mirístico (C14:0). Estos resultados concuerdan con los descritos por otros autores en el músculo *longissimus dorsi* (Temperan *et al.*, 2014; Domínguez *et al.,* 2015). Los me-

Tabla 4. Efecto de la dieta sobre el perfil de ácidos grasos (expresados como g/100 g de ácidos grasos) de la carne del lomo de cerdo industrial
Table 4. Effect of the diet on fatty acids profile (expressed as g/100 g of FAME) of loin meat from industrial pig

	Dieta[1]				
	C	C15	C25	EEM[2]	Nivel de significación
C12:0	0,38	0,20	0,21	0,05	n.s.
C14:0	2,57^{ab}	2,20^{a}	2,79^{b}	0,10	*
C15:0	0,14	0,06	0,07	0,02	n.s.
C16:0	28,04^{b}	24,35^{a}	27,56^{b}	0,66	*
C16:1n7	5,46^{b}	3,84^{a}	5,52^{b}	0,25	**
C17:0	0,14	0,20	0,15	0,01	n.s.
C17:1	0,25	0,21	0,21	0,02	n.s.
C18:0	7,88	8,59	9,41	0,37	n.s.
C18:1n9	44,10^{a}	48,11^{b}	46,10^{ab}	0,76	*
C18:2n6	6,94^{a}	9,30^{b}	6,42^{a}	0,42	**
C18:3n3	0,45^{a}	0,58^{b}	0,34^{a}	0,03	**
C20:0	0,67	0,65	0,58	0,03	n.s.
C20:4n6	0,37	0,41	0,24	0,04	n.s.
C20:3n3	0,09	0,09	0,07	0,01	n.s.
C20:5n3	0,30	0,30	0,35	0,01	n.s.
C22:0	0,10	0,08	0,06	0,01	n.s.
C22:4n3	0,11	0,09	0,14	0,01	n.s.
C22:6n3	0,15	0,11	0,09	0,01	n.s.
AGS[3]	38,70	35,85	37,21	0,59	n.s.
AGMI[4]	50,80^{a}	53,71^{b}	54,72^{b}	0,51	**
AGPI[5]	7,97^{a}	10,40^{b}	7,90^{a}	0,42	**
n3	0,77^{b}	0,84^{b}	0,64^{a}	0,03	*
n6	7,31^{a}	9,32^{b}	6,91^{a}	0,39	*
AGPI/AGS	0,20^{a}	0,28^{b}	0,21^{a}	0,01	**
n6/n3	9,49	11,09	11,10	0,39	n.s.
h/H[6]	1,81^{a}	2,20^{b}	1,98^{a}	0,06	**

[1] C: pienso compuesto comercial (control); C15: pienso compuesto conteniendo un 15% de castañas deshidratadas; C25: pienso compuesto conteniendo un 25% de castañas deshidratadas; [2] Error estándar de la media; [3] sumatorio de ácidos grasos saturados; [4] sumatorio de ácidos grasos monoinsaturados; [5] sumatorio de ácidos grasos poliinsaturados; [6] relación entre ácidos grasos hipo e hipercolesterolémicos; [(suma de C18:1*n*-9, C18:1*n*-7, C18:2*n*-6, C18:3*n*-6, C18:3*n*-3, C20:3*n*-6,C20:4*n*-6, C20:5*n*-3, C22:4*n*-6, C22:5*n*-3 y C22:6*n*-3)/(suma de C14:0 y C16:0)] (Fernández *et al.,* 2007).

nores contenidos del contenido en AGS en el grupo de cerdos C15 estuvieron relacionados con el menor contenido (P<0,05) de C16:0 en este grupo, y en menor medida al menor contenido (P<0,05) en C14:0.

Según Kloareg *et al.* (2005), los cinco ácidos grasos no esenciales más importantes procedentes de la síntesis *de novo* (C14:0, C16:0, C16:1*n*7, C18:0 y C18:1*n*9) representan en torno a un 98% del total de ácidos grasos procedentes de la síntesis *de novo* y el 92% del total de ácidos grasos depositados en los tejidos. Los carbohidratos sirven de substrato para la síntesis de la grasa, produciendo C16:0. Por tanto, el mayor contenido de almidón en la dieta control (ver Tabla 1) podría explicar la mayor cantidad de C16:0 en los cerdos alimentados con esta dieta.

En cuanto al contenido en ácidos grasos monoinsaturados, la inclusión de castañas en la dieta mostró un aumento (P < 0,01) de estos ácidos grasos. Dentro de los AGMI, el ácido graso mayoritario fue el ácido oleico (C18:1n9). Los cerdos del grupo C15 presentaron los mayores valores de C18:1n9, mostrando los cerdos del grupo C25 valores intermedios y los del grupo C los menores valores. El contenido en ácido palmitoleico también mostró diferencias (P<0,01) en función de la dieta. En este caso los cerdos del grupo C25 y C presentaron los mayores valores mientras que los cerdos del grupo C15 mostró menores porcentajes. Estos resultados están en consonancia con los descritos previamente por Bermúdez *et al.* (2012) y Domínguez *et al.* (2015). Estos autores encontraron que un aumento de castaña en la dieta produjo un incremento significativo de C18:1n9 en la carne de los cerdos. Sin embargo, Temperan *et al.* (2014) no pudieron observar estas diferencias ni en el contenido de AGMI ni en el de C18:1n9 en los músculos *Longissimus dorsi* y *Semimembranosus* de cerdos alimentados con castañas con respecto al grupo control. El mayor contenido de AGMI en los cerdos alimentados con castaña indica su idoneidad para una alimentación más saludable, puesto que las dietas ricas en AGMI (y AGPI) reducen los niveles de colesterol en sangre y están relacionados con una menor incidencia de enfermedades cardiovasculares (Schaefer, 1997; Alexander, 1998; Kris-Etherton, 1999).

Según Domínguez *et al.* (2015), el mayor contenido en C18:1n9 en la grasa intramuscular de los cerdos alimentados con castaña estaría relacionado con el hecho de que esta dieta tiene un mayor porcentaje de este ácido graso y de C18:2n6, y menores cantidades de proteína y retinol comparada con la dieta control. Bermúdez *et al.* (2012) también encontraron una correlación significativa y positiva entre el contenido de AGMI en la carne y el porcentaje de C18:1n9 en la dieta. A su vez, se ha sugerido que la deposición de la grasa en los diferentes depósitos está regulada por diferentes mecanismos (Gondret *et al.,* 2008), y la estearil CoA desaturasa juega un papel crucial en este proceso (Doran *et al.,* 2006). Es bien conocido que la expresión de la estearil CoA desaturasa en el músculo *Longissimus dorsi* incrementa con dietas bajas en proteínas (Doran *et al.,* 2006; Wood *et al.,* 2008; Cánovas *et al.,* 2009). Este hecho concuerda con lo sugerido por Domínguez *et al.* (2015), quienes encontraron una relación negativa entre la deposición del C18:1n9 y el contenido de proteína de la dieta. Por tanto, sabiendo que existe una relación directa entre la expresión de esta enzima y la cantidad de C18:1n9 en el músculo, los mayores porcentajes de este ácido graso en los cerdos de los grupos C15 y C25 podrían estar relacionados con la mayor expresión de esta enzima debido a los menores contenidos de proteína y mayores de C18:1n9 en las dietas que contienen castañas (ver Tabla 1).

Por otro lado, los ácidos grasos poliinsaturados (AGPI) mostraron diferencias entre las dietas (P<0,01). Los cerdos del grupo C15 presentaron los valores más elevados mientras que no se observaron diferencias entre los grupos C y C25. De modo similar, Coutron-Gambotti *et al.*

(1998) observaron que la administración de castañas en la dieta aumentó los valores de AGPI en el músculo *Biceps femoris*. Sin embargo Temperan *et al.* (2014) y Domínguez *et al.* (2015) no encontraron diferencias en el contenido de AGPI entre cerdos alimentados con pienso compuesto o con castañas.

En este estudio, solo dos de los AGPI mostraron diferencias significativas entre las dietas. En concreto, estas diferencias se observaron en los ácidos grasos esenciales (C18:2n6 y C18:3n3). Al ser esenciales, el contenido de C18:2n6 y C18:3n3 en los tejidos porcinos están directamente relacionados con los contenidos de estos ácidos grasos en la dieta, debido a que no pueden ser sintetizados por los equipos enzimáticos que poseen los cerdos. Por tanto, sería esperable que la incorporación de castaña en la dieta (que contiene una mayor cantidad de ambos) resultara en un aumento de ellos en los tejidos del cerdo. Sin embargo, solo en los cerdos alimentados con C15 se observó esta tendencia, y mostraron valores significativamente mayores ($P < 0,01$) que en el lote control, ya que los valores de C18:2n6 y C18:3n3 en los cerdos del grupo C25 presentaron los mismos valores que los del lote control. En estudios previos, diversos autores no pudieron encontrar un aumento en el contenido de estos ácidos grasos con la inclusión de castaña en la dieta (Temperan *et al.*, 2014; Domínguez *et al.,* 2015). Bermúdez *et al.* (2012) observaron un aumento de C18:3n3, mientras que el contenido de C18:2n6 disminuyó con la administración de castaña.

La enzima Δ6-desaturasa es una de las enzimas encargadas de la conversión de los ácidos grasos esenciales a AGPI de cadena larga en los tejidos animales (Domínguez *et al.,* 2015). Recientemente se propuso que el contenido de C18:1n9 por sí mismo reduce la actividad de la Δ6-desaturasa (Portolesi *et al.,* 2008), por tanto el no observar diferencias en ninguno de los AGPI de cadena larga podría estar relacionado con el hecho de que dicha enzima se encuentra en parte inhibida por el mayor contenido de C18:1n9 en la alimentación con inclusión de castañas. Además, Warnants *et al.* (1996) concluyeron que la incorporación de los ácidos grasos de la dieta es menos eficiente en el músculo que en la grasa subcutánea. Del mismo modo, Leszczynski *et al.* (1992) y Domínguez *et al.* (2015) también observaron que los ácidos grasos del músculo *Longissimus dorsi* estuvieron menos influenciados por la dieta que los de la grasa dorsal.

Finalmente, se calcularon diferentes índices nutricionales (AGPI/AGS; n6/n3; h/H) para ver cómo afecta la dieta a la salubridad de la grasa. Así, la relación AGPI/AGS de los cerdos alimentados con C15 fue superior ($P < 0,01$) que los del lote control y C25. En relación a este índice, los valores estarían por debajo de las recomendaciones internacionales, ya que proponen un valor de AGPI/AGS de 0,4 o superior (UK Department of Health, 1994). Sin embargo, no solo un alto contenido en AGPI significa que la grasa es más saludable, sino que tiene que estar balanceado la cantidad de AGPI n6 y n3 (Simopoulos y Cleland, 2003), siendo este ratio inferior a 4 (Simopoulos, 2004). Una ingesta excesiva de AGPI n6 y una relación n6/n3 alta promueve diversas patologías, incluyendo enfermedades cardiovasculares, cáncer y enfermedades inflamatorias y autoinmunes, mientras que el incremento de los niveles de AGPI n3 (y por tanto menores valores de n6/n3) ejercen un efecto supresivo sobre dichas enfermedades (Simopoulos, 2004). En el presente estudio, la relación n6/n3 mostró para todos los casos valores superiores a los recomendados, siendo en los cerdos de los lotes alimentados con castaña en torno a 11 y los del lote control de 9,5. Sin embargo, no se apreciaron diferencias en cuanto a este índice ($P > 0,05$).

Para un mejor estudio se debería usar el índice h/H, basado en los efectos que los diferentes ácidos grasos ejercen sobre el meta-

bolismo del colesterol (Santos-Silva *et al.*, 2002). De modo similar a lo que sucede con el AGPI/AGS, el ratio h/H también fue superior en los cerdos del grupo C15 que el de los cerdos de los otros dos lotes ($P < 0,01$). Estos valores fueron similares a los descritos por Bermúdez *et al.* (2012) (2.21-2.46) y Domínguez y Lorenzo (2014) (1.78-2.14). Con estos resultados y desde el punto de vista nutricional, los cerdos alimentados con la dieta C15 presentaron el mejor perfil de ácidos grasos y valores de los índices nutricionales.

Por tanto, a la vista de los resultados se observa que la inclusión de castaña incrementó los pesos (tanto vivo como canal) sin afectar a la cantidad de grasa de la canal (aumentó la relación magro/grasa), y que en el caso de la C25 aumentó ligeramente las proporciones de lomo y jamón y el rendimiento de la canal. Las características físico-químicas (color, CRA y textura) del lomo no se vieron afectadas por la dieta, mientras que el perfil de ácidos grasos y los índices nutricionales mejoraron con la inclusión de castaña a un 15% (grupo C15), debido principalmente a una ligera disminución (no significativa) de AGS y un aumento significativo tanto de AGMI y AGPI. Teniendo esto en cuenta se puede concluir que la inclusión de castaña en la formulación de piensos para alimentación porcina nos permitiría disminuir los costes de producción, poner en el mercado un producto diferenciado, sin que esto afecte o incluso mejorando la calidad de canal y de la carne.

Bibliografía

Alexander JW (1998). Immunonutrition: the role of ω-3 fatty acids. Nutrition 14: 627-633.

AOAC (2000). Official methods of analysis, 17th. Ed. AOAC international, MD, EE.UU.

Bermúdez R, Franco I, Franco D, Carballo J, Lorenzo JM (2012). Influence of inclusion of chestnut in the finishing diet on fatty acid profile of dry-cured ham from Celta pig breed. Meat Science 92: 394-399.

Bligh EG, Dyer WJ (1959). A rapid method of total lipid extraction and purification. Canadian Journal of Biochemistry and Physiology 37: 911-917.

Cánovas A, Estany J, Tor M, Pena RN, Doran O (2009). Acetyl-CoA carboxylase and stearoyl-CoA desaturase protein expression in subcutaneous adipose tissue is reduced in pigs selected for decreased backfat thickness at constant intramuscular fat content. Journal of Animal Science 87: 3905-3914.

CIE (1978). International commission on illumination, recommendations on uniform color spaces, color difference equations, psychrometric color terms. Supplement No. 15 to CIE publication No. 15 (E-1.3.1) 1971/ (TO-1.3). Bureau Central de la CIE. Paris, Francia.

Coutron-Gambotti C, Gandemer G, Casabianca F (1998). Effects of substituting a concentrated diet for chestnuts on the lipid traits of muscle and adipose tissues in Corsican and Corcican X Large White pigs reared in a Sylvo-Pastoral System in Corsica. Meat Science 50: 163-174.

Domínguez R, Lorenzo JM (2014). Effect of genotype on fatty acid composition of intramuscular and subcutaneous fat of Celta pig breed. Grasas y Aceites 65: e037.

Domínguez R, Martínez S, Gómez M, Carballo J, Franco I (2015). Fatty acids, retinol and cholesterol composition in various fatty tissues of Celta pig breed: Effect of the use of chestnuts in the finishing diet. Journal of Food Composition and Analysis 37: 104-111.

Doran O, Moule SK, Teye GA, Whittington FM, Hallett KG, Wood JD (2006). A reduced protein diet induces stearoyl-CoA desaturase protein expression in pig muscle but not in subcutaneous adipose tissue: relationship with intramuscular lipid formation. British Journal of Nutrition 95: 609-617.

Franco D, Vazquez JA, Lorenzo JM (2014). Growth performance, carcass and meat quality of the Celta pig crossbred with Duroc and Landrance genotypes. Meat Science 96: 195-202.

Fernández M, Ordóñez JA, Cambero I, Santos C, Pin C, de la Hoz L (2007). Fatty acid compositions of selected varieties of Spanish dry ham related to their nutritional implications. Food Chemistry 101: 107-112.

Gondret F, Guitton N, Guillerm-Regost C, Louveau I (2008). Regional differences in porcine adipocytes isolated from skeletal muscle and adipose tissues as identified by a proteomic approach. Journal of Animal Science 86: 2115-2125.

Grau R, Hamm R (1953). Eine einfache Methode zur Bestimmurg der Wassesbindung mi Muskel. Die Noturwissenschaften 40: 19-30.

Henckel P, Karlsson A, Oksbjerg N, Petersen JS (2000). Control of post mortem pH decrease in pig muscles: experimental design and testing of animal models. Meat Science 55: 131-138.

Kloareg M, Le Bellego L, Mourot J, Noblet J, Van Milgen J (2005). Deposition of dietary fatty acids and of de novo synthetized fatty acids in growing pigs: effects of high ambient temperature and feeding restriction. British Journal of Nutrition 93: 803-811.

Kris-Etherton PM (1999). AHA science advisory: Monounsaturated fatty acids and risk of cardiovascular disease. Journal of Nutrition 129: 2280–2284.

Lawrie RA (1998). The eating quality of meat. Meat Science 4: 300-362.

Leszczynski DE, Pikul J, Easter RA, McKeith FK, McLaren DG, Novakofski J, Bechtel PJ, Jewell DE (1992). Effect of feeding finishing pigs extruded full-fat soybeans on performance and pork quality. Journal of Animal Science 70: 2167.

Liu HW, Gai F, Gasco L, Brugiapaglia A, Lussiana C, Guo KJ, Tong JM, Zoccarato I (2009). Effects of chestnut tannins on carcass characteristics, meat quality, lipid oxidation and fatty acid composition of rabbits. Meat Science 83: 678-683.

Lorenzo JM, Carballo J, Franco D (2013). Effect of the inclusion of chestnut in the finishing diet on volatile compounds of dry-cured ham from Celta pig breed. Journal of Integrative Agriculture 12: 2002-2012.

Lorenzo JM, Franco D, Carballo J. (2014). Effect of the inclusion of chestnut in the finishing diet on volatile compounds during the manufacture of dry-cured "Lacon" from Celta pig breed. Meat Science 96: 211–223.

Morrison WR, Smith LM (1964). Preparation of fatty acid methyl esters and dimethylacetals from lipids with boron fluoride-methanol. Journal of Lipid Research 5: 600-608.

Pereira-Lorenzo S, Ramos-Cabrer AM, Díaz-Hernández MB, Ciordia-Ara M, Ríos-Mesa D (2006). Chemical composition of chestnut cultivars from Spain. Scientia Horticulturae 107: 306-314.

Portolesi R, Powell BC, Gibson RA (2008). 6 desaturase mRNA abundance in HepG2 cells is suppressed by unsaturated fatty acids. Lipids 43: 91-95.

Pugliese C, Pianaccioli L, Sirtori F, Acciaioli A, Franci O (2007). Effect of pasture on chestnut wood on fat and meat quality of Cinta Senese. Option Méditerranéennes 76: 263-267.

Pugliese C, Sirtori F, Acciaioli A, Bozzi R, Campodoni G, Franci O (2013). Quality of fresh and seasoned fat of Cinta Senese pigs as affected by fattening with chestnut. Meat Science 93: 92-97.

Santos-Silva J, Mendes IA, Bessa RJB (2002). The effect of genotype, feeding system and slaughter weight on the quality of light lambs: 1. Growth, carcass composition and meat quality. Livestock Production Science 76: 17-25.

Schaefer EJ (1997). Effects of dietary fatty acids on lipoproteins and cardiovascular disease risk. The American Journal of Clinical Nutrition 65: 1655-1656.

Sierra I (1973). Producción de cordero joven y pesado en la raza Rasa Aragonesa. Revista del Instituto de Economía y Producciones Ganaderas del Ebro 18: 28.

Simopoulos AP, Cleland LG (2003). Omega-6/omega-3 essential fatty acid ratio: the scientific evidence. World Review of Nutrition and Dietetics, Vol. 92. Basilea, Suiza.

Simopoulos AP (2004). Omega-6/omega-3 essential fatty acid ratio and chronic diseases. Food Reviews International 20: 77-90.

Temperan S, Lorenzo JM, Castiñeiras BD, Franco I, Carballo J (2014). Carcass and meat quality traits of Celta heavy pigs. Effect of the inclusion of chestnuts in the finishing diet. Spanish Journal of Agricultural Research 12: 694-707.

UK Department of Health (1994). Nutritional aspects of cardiovascular disease. Report on health and social subject no. 46. London: Her Majesty's Stationery Office.

Warnants N, Van Oeckel MJ, Boucqué CV (1996). Incorporation of dietary polyunsaturated fatty acids in pork tissues and its implications for the quality of the end products. Meat Science 44: 125-144.

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

(Aceptado para publicación el 5 de mayo de 2016)

Efecto del protocolo de refrigeración aplicado a canales de añojos de raza Tudanca sobre la longitud de los sarcómeros y la calidad higiénica y físico-química de la carne

E. Serrano*, M.J. Humada, S. Gutiérrez y B. Castrillo

Centro de Investigación y Formación Agrarias (CIFA), D.G. Desarrollo Rural, Gobierno de Cantabria. C/ Héroes Dos de Mayo, 27, 39600, Muriedas, Cantabria

Resumen

Se utilizaron 9 canales de añojos de raza Tudanca para estudiar en las condiciones de un matadero comercial el efecto de dos protocolos de refrigeración (convencional*:* introducción en una cámara a 1,8ºC inmediatamente después del sacrificio, media canal derecha (n = 9) o lenta*:* introducción en una cámara a temperatura ambiente (13,9ºC) hasta las 7 horas *postmortem*, media canal izquierda (n = 9)) sobre la calidad higiénica de la canal y sobre las características físico-químicas de la carne. Se observaron diferencias en la temperatura del músculo *Longissimus dorsi* en todos los tiempos de medida (5, 9, 10, 11, 12, y 24 horas *postmortem*) ($P \leq 0,05$). No se observaron diferencias en el pH a las 24 horas *postmortem* (todos los valores inferiores a 5,7) ($P > 0,05$) pero sí en los valores de pH en el resto de los tiempos (valores superiores en la refrigeración convencional) ($P \leq 0,05$). Las canales sometidas a la refrigeración convencional presentaron valores inferiores ($P \leq 0,05$) de longitud de los sarcómeros. No se observaron diferencias en la fuerza de resistencia al corte a los 3 y 14 días *postmortem* ($P > 0,05$), pero sí se observó una tendencia a valores inferiores de resistencia al corte del músculo *Longissimus dorsi* de las medias canales sometidas a la refrigeración lenta a los 7 días *postmortem* ($P = 0,07$). El protocolo de refrigeración no tuvo un efecto sobre el recuento de aerobios totales a las 24 horas *postmortem*, ni sobre el color del lomo, las perdidas de agua por cocción y la oxidación de los lípidos, evaluados a los 3, 7, y 14 días *postmortem* ($P > 0,05$).

Palabras clave: Endurecimiento por frío, terneza, color, oxidación de los lípidos, carga microbiana.

Abstract

Effect of post-slaughter refrigeration method applied to yearling Tudanca male carcasses on sarcomere length and hygienic and physicochemical meat quality

Nine carcasses of yearling Tudanca males were used to evaluate, in the conditions of a commercial slaughterhouse, the effect of two chilling treatments (*conventional:* introduction of right half carcasses (n = 9) in a chilling room at 1.8ºC immediately after slaughter, or *slow:* introduction of left half carcasses (n = 9) in a chilling room at 13.9ºC until 7 hours *postmortem*) on carcass hygienic quality and meat physicochemical characteristics. Differences were observed in *Longissimus dorsi* muscle temperature at 5, 9, 10, 11, 12 and 24 hours *postmortem* ($P \leq 0.05$). No differences were observed in pH values at 24 hours *postmortem* (all values below 5.7) ($P > 0.05$), but higher values ($P \leq 0.05$) were registered at 5, 9, 10, 11 and 12 hours *postmortem* in conventional than in slow refrigerated carcasses. Sarcomere length of conventional refrigerated carcasses was lower than sarcomere length of slow refrigerated carcasses ($P \leq 0.05$).

* Autor para correspondencia: emmaserrano@cifacantabria.org

http://doi.org/10.12706/itea.2017.004

No differences were observed in shear force values of *Longissius dorsi* muscle at 3 and 14 days *postmortem* (P > 0.05) but a trend was observed at 7 days *postmortem*, with lower values for slow refrigerated carcasses than for conventional refrigerated carcasses (P = 0.07). Chilling treatment had no effect on total aerobic viable counts at 24 hours *postmortem*, neither on *Longissimus dorsi* colour, cooking losses and lipid oxidation measured at 3, 7, and 14 days *postmortem* (P > 0.05).

Key words: Cold toughening, tenderness, colour, lipid oxidation, microbiological contamination.

Introducción

En España es una práctica habitual en los mataderos comerciales introducir las canales inmediatamente después del sacrificio en cámaras de refrigeración con temperaturas bajas (entre 0 y 4ºC). En la bibliografía se pueden encontrar trabajos en los que se demuestra la relación entre la temperatura de refrigeración de las canales desde el sacrificio hasta la instauración del *rigor mortis* y aspectos de calidad de la carne como la terneza (Sørheim *et al.,* 2001; Yu *et al.*, 2008). La aplicación de temperaturas demasiado bajas inmediatamente después del sacrificio puede dar lugar al fenómeno denominado *acortamiento por frío* o *endurecimiento por frío*. El término *acortamiento por frío* hace referencia al incremento en la disminución normal en la longitud de los sarcómeros que tiene lugar como consecuencia del *rigor mortis,* cuando se somete la carne a temperaturas demasiado bajas (Locker y Hagyard, 1963). La disminución en la terneza de la carne sometida a temperaturas desencadenantes del fenómeno de *endurecimiento por frío* es debida al acortamiento de los sarcómeros y también a una ralentización de los procesos que dan lugar al incremento de la terneza que se produce durante la maduración (Huff-Lonergan *et al.*, 2010). Diversos trabajos han puesto de manifiesto que esta ralentización del proceso de maduración está relacionada con la evolución de la temperatura y del pH desde el sacrificio hasta la instauración del *rigor mortis* y su efecto sobre los sistemas proteolíticos de las células musculares (Sørheim *et al.,* 2001; Hannula y Puolanne, 2004; Huff-Lonergan *et al.*, 2010). Así, se ha observado que una caída relativamente rápida del pH en las primeras horas *postmortem* favorece la actividad del sistema enzimático de las calpaínas y acelera el proceso de tenderización. Los resultados de algunos trabajos indican que el acortamiento de los sarcómeros tendría una importancia relativa menor o secundaria en la disminución de la terneza de la carne que presenta endurecimiento por frío, respecto al enlentecimiento de los procesos protelíticos (Bruce y Ball, 1990; Sørheim *et al.,* 2001).

Por otro lado, un enfriamiento rápido de las canales es beneficioso desde el punto de vista higiénico-sanitario para mantener la carga microbiana en los límites exigidos por la legislación (Reglamento (CE) 1441/2007) y para reducir las pérdidas de peso ocurridas durante la refrigeración (Savell *et al*., 2005). Se han desarrollado varios sistemas para minimizar los efectos negativos de un enfriamiento demasiado rápido de las canales, y estos sistemas se usan tanto de forma separada como combinados entre ellos (sistemas alternativos de suspensión de las canales, estimulación eléctrica, refrigeración lenta o retardada, refrigeración super-rápida) (Sørheim *et al*., 2001; Maher *et al.,* 2004; Yu *et al*., 2008).

En la bibliografía pueden encontrarse referencias sobre pautas de evolución de la temperatura que eviten el proceso de *acortamiento por frío*. Por ejemplo, se ha observado que el acortamiento de los sarcómeros es mínimo si el músculo en *pre-rigor* se mantiene a temperaturas comprendidas entre los 14 y los

20ºC. Por debajo y por encima de este rango de temperaturas se produce un mayor acortamiento de los sarcómeros (acortamiento por frío y acortamiento por calor, respectivamente) (Geesink *et al.*, 2000; Huff-Lonergan *et al.,* 2010). Bendall (1973a,b) recomienda no disminuir la temperatura de la canal por debajo de los 10-12ºC hasta la instauración del *rigor mortis* a las 10-15 horas *postmortem* y Olsson *et al.* (1994) no disminuir la temperatura de la canal por debajo de 7ºC hasta las 10 horas *postmortem*. Según Hannula y Puolanne (2004), lo importante es la evolución conjunta de pH y temperatura y sería recomendable alcanzar valores de pH de 5,7 o inferiores cuando la temperatura de la carne alcance los 7ºC.

Es necesario tener en cuenta que la susceptibilidad de las canales al fenómeno del acortamiento por frío es mayor en el caso de canales pequeñas y poco engrasadas (Jeremiah, 1996; Janz *et al*., 2000), tales como las obtenidas de razas rústicas como la Tudanca y/o de animales acabados en pastoreo o con sistemas con bajo uso de concentrados (Humada *et al.,* 2013). La susceptibilidad de los distintos músculos también varía según su situación en la canal y su contenido en fibras oxidativas. Por su situación externa y su alto contenido en fibras oxidativas, el músculo *Longíssimus dorsi* es especialmente sensible al fenómeno de acortamiento por frío (Sørheim *et al*., 2001; Hannula y Puolanne, 2004; Hwang *et al.,* 2004).

Además de sobre la caída de pH, la longitud de los sarcómeros, la terneza y los recuentos microbiológicos de la canal, el protocolo de refrigeración podría tener efecto sobre otros parámetros de calidad, como el color de la grasa de la canal, el color de la carne, la capacidad de retención de agua o el estado oxidativo (Geesink *et al.,* 2000; Janz *et al*., 2000).

El objetivo de este trabajo es estudiar, en las condiciones de trabajo de un matadero comercial, el efecto de dos protocolos de refrigeración (convencional o *lento*) sobre la calidad higiénica de la canal y sobre las características físico-químicas de la carne de añojos de raza Tudanca acabados en pastoreo.

Material y métodos

Se utilizaron 9 añojos de raza Tudanca sacrificados entre los 14 y los 15 meses de edad después de un periodo de acabado en pastoreo de 4 meses, durante los que recibieron también una suplementación de 2,5 kg de harina de cebada por animal y día. En la Tabla 1 se recogen algunas características de los animales y de las canales obtenidas.

Los animales se sacrificaron en una única tanda de sacrificio en un matadero comercial situado a 35 km de la explotación. El periodo de espera en el matadero fue de 12 horas. Inmediatamente después de la obtención de la canal y división en dos medias canales, las 9 medias canales derechas se asignaron al tratamiento de refrigeración convencional (el aplicado rutinariamente en el matadero) y las nueve medias canales izquierdas al tratamiento de refrigeración lenta. El tiempo transcurrido desde el sangrado de los animales hasta la aplicación de los correspondientes tratamientos de refrigeración, fue de aproximadamente 1 hora. En el tratamiento de refrigeración convencional las canales se introdujeron en una cámara con una temperatura inicial de 1,8ºC, una velocidad del aire de 2 m/s y un humedad relativa del 90%. En el tratamiento de refrigeración lenta las canales se introdujeron en una cámara a temperatura ambiente (13,9ºC), sin ningún sistema de movilización del aire y con una humedad relativa del 76%, en la que permanecieron hasta las 7 horas *postmortem*. Una vez transcurrido dicho periodo, todas las medias canales se juntaron en una única cámara con una temperatura de entre 2 y 4ºC y una humedad relativa del 93%, hasta las 24 horas

Tabla 1. Características de los animales, de las canales y de la carne
Table 1. Animal, carcass and meat characteristics

	Media	Desviación estándar	Máximo	Mínimo
Edad de sacrificio (días)	462,8	40,59	525	415
Peso vivo sacrificio (kg)	353,2	38,93	412	287
Peso canal fría (kg)[1]	177,2	23,94	216	145
Conformación (1-18)[2]	2,1	0,33	3	2
Engrasamiento (1-15)[3]	4,0	0,71	5	3
Medidas morfológicas de la canal (cm)[4]:				
Longitud de la pierna	75,3	2,51	79	70
Longitud de la canal	118,9	4,19	125	111
Profundidad interna del pecho	44,7	1,20	47	43
Perímetro de la pierna	95,1	2,97	101	93
Espesor de la pierna	24,1	0,82	25	23
Composición tisular de la 6ª costilla (%)[5]				
Músculo	72,4	1,83	74	69
Hueso	20,0	1,57	22	17
Grasa	7,6	1,99	11	5
Composición química del músculo *Longissimus dorsi (%)*[6]				
Humedad	75,7	0,81	77	74
Grasa	1,8	0,74	3	1
Proteína	21,4	0,19	22	21
Cenizas	1,1	0,03	1	1

[1]: peso de la canal caliente menos 2%; [2]: Transformación de la escala SEUROP de 6 puntos (P = 1, mala conformación; S = 6, conformación excelente) del Reglamento (CE) 1183/2006 en una escala de 18 puntos; [3]: Transformación de la escala de 1 (poco engrasada) a 5 (muy engrasada) del Reglamento (CE) 1183/2006 a una escala de 15 puntos; [4]: García-Torres *et al.* (2005); [5]: Carballo *et al.,* 2005; [6]: Métodos de Análisis de Productos Cárnicos recogidos en el BOE de 29 de agosto de 1979.

postmortem. Los datos de temperatura y humedad relativa de las cámaras se tomaron del sistema de control y registro del matadero.

Inmediatamente después del desollado y a las 24 horas *postmortem*, se muestreó la superficie de todas las medias canales para valorar la contaminación microbiana mediante un recuento de colonias aerobias totales y enterobacteriáceas (Reglamento (CE) 1441/2007). Las muestras se tomaron utilizando la técnica de los hisopos de algodón y se muestrearon cuatro zonas de 100 cm^2 cada una, situadas en el cuello, el pecho, la falda y la cadera. Los ocho hisopos utilizados para muestrear cada

media canal (2 por localización, uno húmedo y otro seco) se introdujeron en un frasco estéril con 10 ml de agua de peptona tamponada (Merk 1.07228.0500) con un 1% de peptona. Los frascos se homogeneizaron y a partir de la solución inicial de 10 ml se prepararon 5 diluciones decimales seriadas utilizando el mismo diluyente. Para cada determinación, de cada dilución se sembraron 2 placas (1 ml por placa). Para el recuento de colonias aerobias totales se utilizó el método de siembra en profundidad, el medio de siembra fue PCA y las placas se incubaron a 30ºC durante 72 horas. Para el recuento de enterobacteriáceas se utilizó el método de siembra en profundidad con doble capa en un medio VRBG y las placas se incubaron a 37ºC durante 24 horas. Los resultados se expresan como log ufc/cm^2.

A las 5, 9, 10, 11, 12 y 24 horas *postmortem* se midió por duplicado el pH y la temperatura del músculo *Longissimus dorsi* entre la 4ª y la 5ª vértebra lumbar, en todas las medias canales de los dos tratamientos de refrigeración, utilizando un pHmetro portátil (Crison 507, Crison, España) equipado con una sonda de temperatura. La sonda de temperatura se introdujo a 4 cm de profundidad.

A las 24 horas *postmortem*, se registraron los parámetros de color del espacio CIE L* a* b* de la grasa subcutánea de todas las medias canales, en tres puntos de la zona del lomo, utilizando un colorímetro portátil Minolta CR-400 (iluminante D65, observador 2º).

A las 48 horas *postmortem*, se extrajo el músculo *Longissimus dorsi* desde la 7ª costilla hasta el final del lomo. Del músculo *Longissimus dorsi,* se cortaron en dirección craneocaudal un filete de 2 cm de espesor, que se utilizó para la determinación de la longitud de los sarcómeros, y tres porciones de 7 cm de longitud que se envasaron al vacío y se asignaron al azar a tres periodos de maduración (hasta los 3 días *postmortem*; hasta los 7 días *postmortem* y hasta los 14 días *postmortem*). El proceso necesario para completar cada tratamiento de maduración se realizó a 4ºC. Una vez transcurrido el periodo de maduración, de cada porción de lomo de 7 cm se cortaron dos filetes, uno de 3 cm y otro de 2,5 cm de espesor. El primero se utilizó para determinar los parámetros CIE L*, a*, b* de color; a continuación, se envasó al vacío y se congeló hasta el momento de ser utilizado para la determinación de las pérdidas por cocción y la resistencia al corte. El segundo se utilizó para determinar inmediatamente la oxidación de los lípidos.

La longitud de los sarcómeros se determinó mediante microscopía de contraste de fase según la técnica descrita en Torrescano *et al.* (2003). Inmediatamente tras la extracción de la muestra, se cortaron pequeños cubos de aproximadamente 1 cm de lado que se fijaron sumergiéndolos durante 1 hora en una solución de glutaraldehido (2,5% v/v en bufer fosfato pH 6.5). A continuación se cogieron pequeños haces de fibras sobre los que se midió la longitud de 10 sarcómeros ubicados en 10 campos diferentes utilizando un objetivo de inmersión 100x y un ocular graduado 10x. La longitud del sarcómero se calculó como la media de las longitudes obtenidas en los 10 campos.

Para determinar los parámetros de color del espacio CIE L* a* b* del músculo *Longissimus dorsi,* las muestras envasadas al vacío se extrajeron de las bolsas, se secaron con papel absorbente, se colocaron en bandejas de poliestireno envueltas con film plástico permeable al oxígeno, y se dejaron oxigenar durante 1 hora a 4º C. Los parámetros L* (luminosidad), a* (índice de rojo) y b* (índice de amarillo) se midieron en tres zonas homogéneas libres de grasa y de vasos sanguíneos. Los valores de C* (croma) y H* (tono) se calcularon como $C^*_{a,b} = [(a^*)^2 + (b^*)^2]^{0,5}$ y $H^*_{a,b} = \arctan (b^*/a^*)$. La conversión de los valores de H* de radianes a grados se hizo multiplicando los valores obtenidos por $180º/\Pi$.

Para estudiar la textura de la carne las muestras se cocieron en un baño de agua con control de temperatura automático (Selecta Untronic OR, España) regulado a 100º C, introducidas en bolsas de plástico, hasta alcanzar una temperatura interna de 70ºC. Una vez alcanzada esta temperatura en el interior de los filetes, éstos se extrajeron del baño y se enfriaron rápidamente introduciendo las bolsas en un baño de agua con hielo picado. A continuación, los filetes se mantuvieron en refrigeración a 4ºC durante 24 h. Al día siguiente de la cocción, los filetes se sacaron de la cámara de refrigeración y se dejaron atemperar a temperatura ambiente durante 1 hora. A continuación, las muestras para determinar la resistencia al corte se obtuvieron cortando prismas de aproximadamente 1 x 1 x 2,5 cm, paralelos a la dirección de las fibras musculares. Se midió la resistencia al corte de un mínimo de 4 submuestras por filete. La resistencia al corte se determinó usando un texturómetro TA.XT plus (Stable Micro Systems, Reino Unido) equipado con una sonda Warner-Bratzler con cuchilla triangular. Las muestras fueron completamente cortadas en perpendicular a las fibras musculares, la velocidad de avance de la cuchilla fue de 1 mm/s y se registró el parámetro fuerza máxima de corte (pico más alto de la curva fuerza-tiempo).

Las pérdidas de agua por cocción se calcularon utilizando las mismas muestras utilizadas para el análisis de textura. Las pérdidas por cocción se calcularon como la diferencia de peso entre las muestras cocidas y crudas:

$$\text{Pérdidas por cocción (\%)} = \frac{\text{(Peso de la carne cruda – Peso de la carne cocida)}}{\text{Peso de la carne cruda}} \times 100$$

La oxidación de los lípidos se midió mediante el método de determinación de las sustancias reactivas con el ácido tiobarbitúrico (TBARS) (Pfalzgraf *et al.*, 1995).

Los valores de pH y temperatura medidos para un mismo animal en las dos medias canales y en seis momentos *postmortem*, se compararon estadísticamente utilizando un modelo dos factores con medidas repetidas en ambos. El modelo considerado incluía los factores protocolo de refrigeración (convencional, lenta), el momento de la determinación (5, 9, 10, 11, 12 y 24 horas *postmortem*) y su interacción. Cuando $P \leq 0,05$ para el factor protocolo de refrigeración, se separaron las medias entre tratamientos dentro de cada momento de determinación utilizando el test de Bonferroni. Para el resto de variables, los dos tratamientos se compararon utilizando un modelo de medidas repetidas de un factor (protocolo de refrigeración). Todos los análisis se realizaron utilizando el procedimiento GLM del programa SPSS 17.0 (2008).

Resultados

Los animales utilizados se sacrificaron al inicio de la jornada de matanza, inmediatamente después de los animales menores de un año. La cámara utilizada para el tratamiento de refrigeración convencional fue la utilizada como cámara de refrigeración inicial en la rutina de trabajo habitual del matadero y su temperatura osciló entre 1,8 y 8,6ºC durante las 6 horas en las que las medias canales de los dos tratamientos permanecieron separadas (Figura 1). Esta variación de temperatura se debió a la introducción de canales a lo largo de la jornada de matanza y a la entrada y salida de operarios. La temperatura de la cámara de refrigeración lenta osciló entre 13,9 y 16,7ºC (Figura 1). La temperatura en el momento de introducción de la primera canal de un animal menor de 1 año era de 1,1ºC.

En la Tabla 2 se muestran la significación de los efectos del protocolo de refrigeración y el

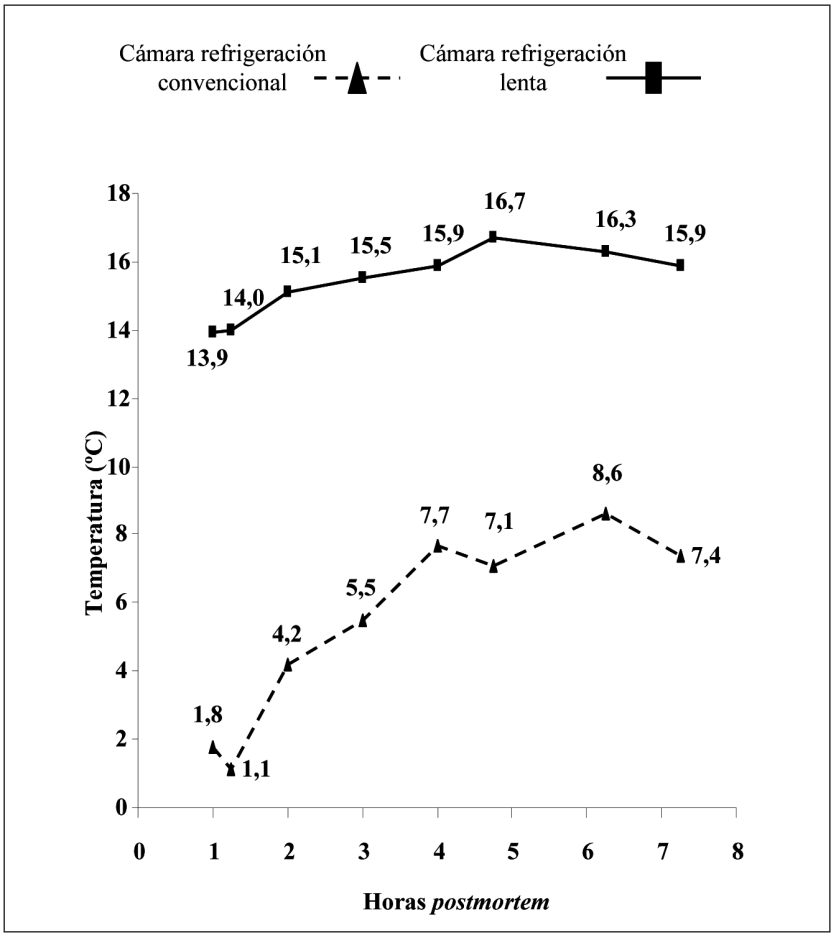


Figura 1. Evolución de la temperatura (ºC) en las cámaras de refrigeración.
Figure 1. Evolution of temperature (ºC) in the chilling rooms.

Tabla 2. Efecto del protocolo de refrigeración (convencional *vs.* lenta) y del tiempo transcurrido desde el sacrificio (5, 9, 10, 11, 12 y 24 horas) sobre los valores de pH y temperatura del músculo *Longissimus dorsi*
Table 2. Effect of chilling method (conventional vs. *slow) and time from slaughter (5, 9, 10, 11, 12 and 24 hours) on pH and temperature values of* Longissimus dorsi *muscle*

	pH		Temperatura	
Factores	F	P-valor	F	P-valor
Refrigeración	381,12	0,000	995,65	0,000
Tiempo *postmortem*	109,77	0,000	1603,21	0,000
Refrigeración x Tiempo *postmortem*	16,450	0,000	404,94	0,000

tiempo transcurrido desde el sacrificio sobre el pH y temperatura del músculo *Longissimus dorsi* según. En la Figura 2 se puede ver la evolución de la temperatura y del pH del músculo *Longissimus dorsi,* entre las 5 y las 24 horas *postmortem*, en los dos protocolos de refrigeración. Se observaron diferencias en la temperatura del músculo *Longissimus dorsi* en todos los tiempos de medida, incluso a las 24 horas *postmortem* ($P \leq 0,05$), aunque la diferencia en los valores en este momento fue de poca cuantía, tanto considerando los valores medios (4,0 *vs.* 4,2ºC) como considerando los valores individuales dentro de cada tratamiento (0,7ºC en el tratamiento de refrigeración convencional y 0,2ºC en el tratamiento de refrigeración lenta).

No se observaron diferencias entre protocolos de refrigeración en el pH final medido a las 24 horas *postmortem* ($P > 0,05$) y los valores individuales de todas las medias canales oscilaron entre 5,55 y 5,70. Sí se observaron diferencias entre tratamientos en el resto de tiempos de medida ($P \leq 0,001$). La caída del pH fue más lenta en las canales sometidas al protocolo de refrigeración convencional. A las 10 horas *postmortem*, los valores medios de temperatura y pH del músculo *Longissimus dorsi* eran 10,5ºC y 5,90 puntos de pH para el tratamiento de refrigeración lenta, y 6,4ºC y 6,43 puntos de pH para el tratamiento de refrigeración convencional ($P \leq 0,001$ para ambos parámetros).

El protocolo de refrigeración tuvo un efecto significativo sobre los parámetros de color L* (luminosidad), a* (índice de rojo) y H* (tono) de la grasa subcutánea (Tabla 3). La grasa subcutánea de las medias canales sometidas al protocolo de refrigeración lenta presentó valores superiores de L* y a* ($P \leq 0,05$) e inferiores de H* ($P \leq 0,05$).

No se observaron diferencias en el recuento total de colonias aerobias, ni inmediatamente después del sacrificio, ni a las 24 horas *postmortem* ($P > 0,05$). Todos los valores individuales se situaron por debajo de 2,8 log UFC/cm^2 (límite inferior del intervalo de valores aceptables según la Decisión 471/2001/CE para muestras tomadas con el método no destructivo). No se detectaron enterobacterias en las superficies muestreadas.

El protocolo de refrigeración tuvo efecto sobre la longitud de los sarcómeros ($P < 0,01$). La longitud de los sarcómeros del músculo *Longissimus dorsi* de las medias canales sometidas al proceso de refrigeración lenta fue superior a la de las medias canales sometidas al proceso de refrigeración convencional (2,14 *vs.* 1,88 µm; $P < 0,01$).

No se observó efecto del protocolo de refrigeración sobre los parámetros de color del músculo *Longissimus dorsi,* luminosidad (L*), tono (H*) y saturación (C*), ni sobre las pérdidas de agua por cocción, ni sobre la oxidación de la carne, medidos a los 3, 7 y 14 días *postmortem* ($P > 0,05$) (Tabla 3).

No se observaron diferencias entre sistemas de refrigeración en los valores de fuerza máxima de resistencia al corte en la carne madurada hasta los 3 y 14 días *postmortem* ($P > 0,05$). Se observó una tendencia a valores inferiores de resistencia al corte de la carne sometida al proceso de refrigeración lenta, evaluada a los 7 días *postmortem* (5,74 *vs.* 6,55 kg; $P = 0,07$). En la Figura 3 se representan los valores individuales de fuerza máxima de resistencia al corte de los dos tratamientos de refrigeración a los 3, 7 y 14 días *postmortem*. En esta figura se observa como se reduce la fuerza de corte con el tiempo de maduración en los dos protocolos de refrigeración. A los 7 días *postmortem* se observa que, mientras que en las muestras correspondientes al tratamiento de refrigeración convencional, sólo dos valores individuales se sitúan por debajo de 6 kg, en las muestras del tratamiento de refrigeración lenta, 5 muestras se sitúan por debajo de dicho umbral.

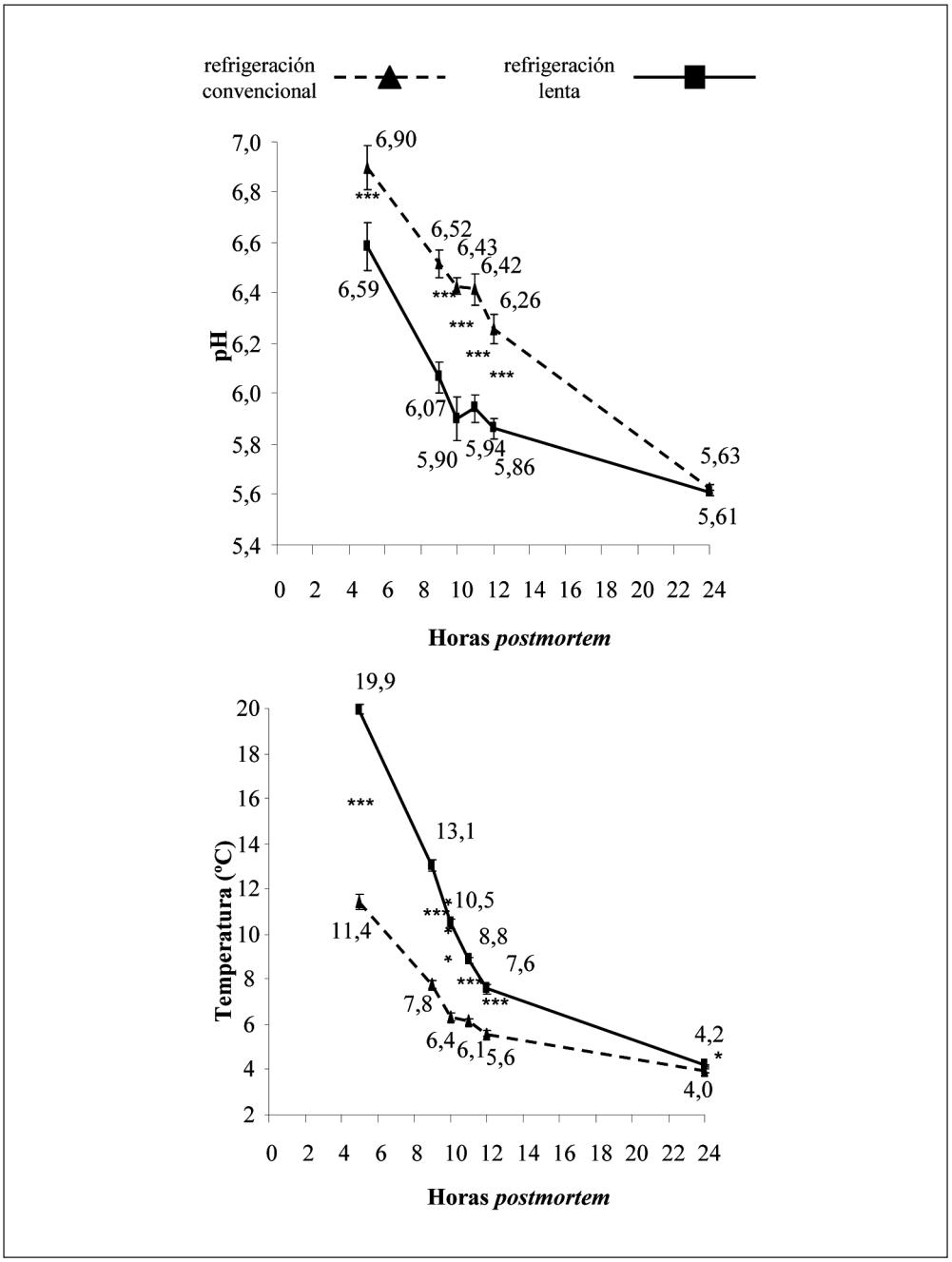


Figura 2. Efecto del protocolo de refrigeración de la canal (convencional o lento) sobre la disminución de temperatura y pH del músculo *Longissimus dorsi* durante las 24 h *postmortem.*
Figure 2. Effect of carcass chilling treatment (conventional or slow) on pH and temperature falling during 24 h post-mortem *in* Longissimus dorsi *muscle.*

Tabla 3. Efecto del tratamiento de refrigeración sobre el color de la grasa subcutánea, la contaminación microbiana de la canal, la longitud de los sarcómeros y las características de la carne a los 3, 7 y 14 días *postmortem*
Table 3. Effect of carcass chilling treatment (conventional or slow) on subcutaneous fat colour, carcass microbial contamination, sarcomere length and meat characteristics at 3, 7 and 14 days post-slaughter

	Refrigeración			
	Convencional	Lenta	Desviación estándar	P-valor
Color de la grasa subcutánea 24 h				
Luminosidad (L*)	71,8	72,6	0,88	0,000
Índice de rojo (a*)	2,9	3,5	0,53	0,044
Índice de amarillo (b*)	9,1	9,1	1,70	0,982
Tono (Hº)	71,4	66,2	3,20	0,009
Saturación (C*)	9,3	9,3	1,18	0,969
Recuento total colonias aerobias (log ufc/cm^2):				
0 h	1,51	1,65	0,46	0,671
24 h	2,05	1,98	0,52	0,809
Longitud de los sarcómeros (µm)	1,88	2,14	0,123	0,004
Color del músculo *Longissimus dorsi*				
Luminosidad (L*)				
3 días	35,0	34,9	1,12	0,869
7 días	35,2	34,4	1,15	0,783
14 días	34,7	34,5	0,83	0,564
Tono (Hº)				
3 días	5,0	2,7	4,58	0,316
7 días	9,6	3,8	6,23	0,270
14 días	7,7	5,4	4,81	0,332
Saturación (C*)				
3 días	17,7	17,3	1,21	0,486
7 días	20,2	18,9	1,62	0,348
14 días	19,7	19,3	0,95	0,492
Pérdidas por cocción (%)				
3 días	17,8	18,4	1,27	0,379
7 días	19,6	18,9	2,65	0,633
14 días	18,4	18,2	1,75	0,828
Fuerza máxima de corte (kg)				
3 días	8,67	8,72	0,780	0,894
7 días	6,55	5,74	0,820	**0,072**
14 días	4,44	4,51	0,503	0,775
Oxidación lipídica (mg de malonaldehido/kg de carne)				
3 días	0,079	0,080	0,0138	0,907
7 días	0,088	0,095	0,0165	0,241
14 días	0,098	0,102	0,0125	0,358

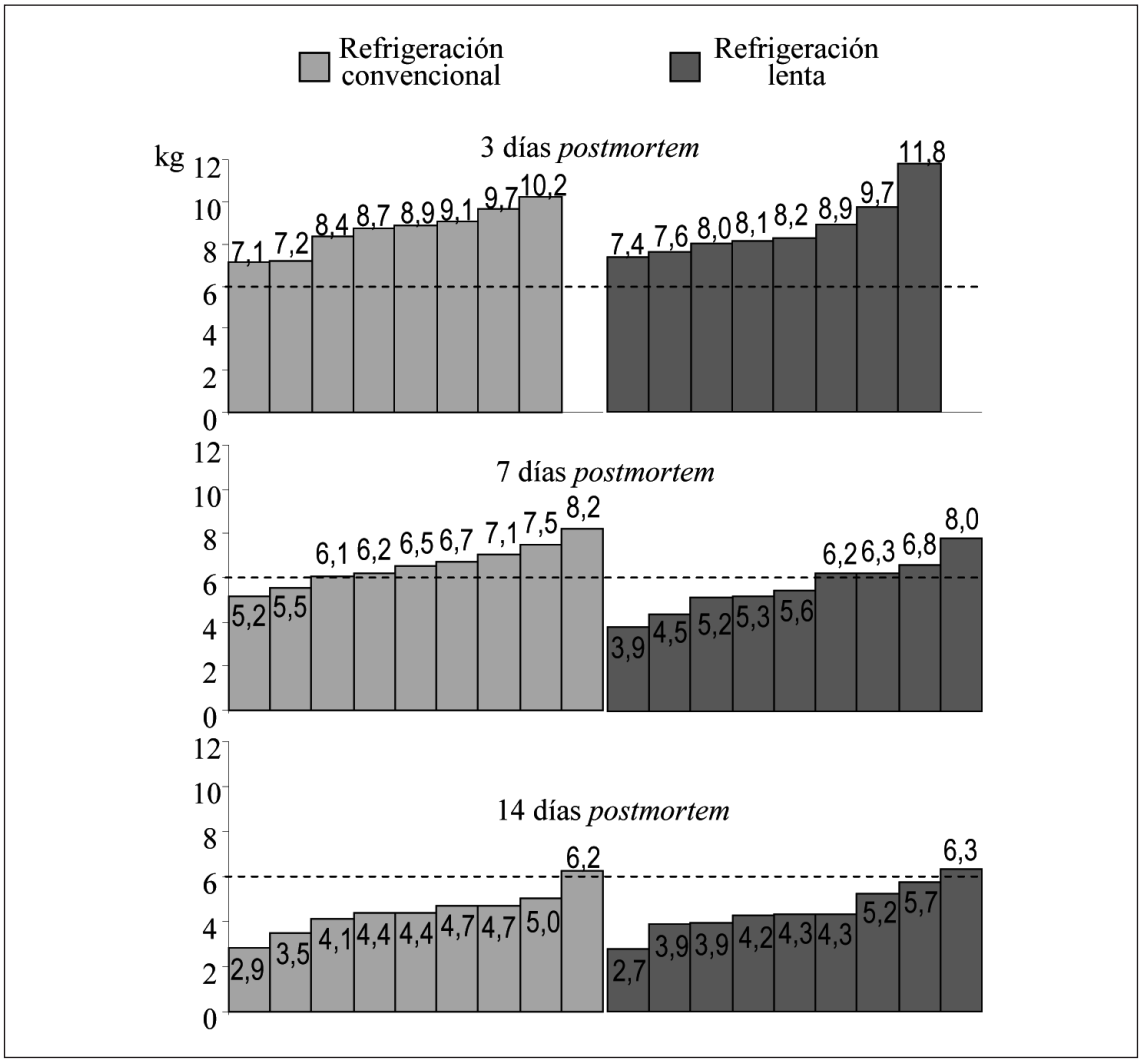


Figura 3. Valores individuales de resistencia al corte a los 3, 7 y 14 días *postmortem* del músculo *Longissimus dorsi* sometido a los protocolos de refrigeración convencional o *lento*.
Figure 3. Individual shear force values at 3, 7 and 14 days post-slaughter *of* Longissimus dorsi *muscle exposed to conventional or* slow *chilling treatments.*

Discusión

A pesar de la subida de temperatura ocurrida en la cámara de refrigeración convencional a lo largo de la jornada de matanza, los valores de pH y temperatura del músculo *Longissimus dorsi* de las medias canales del protocolo de refrigeración convencional entrarían en la denominada zona de acortamiento por frío definida por diversos autores. Por ejemplo, según Olsson *et al.* (1994), para evitar el acortamiento por frío la temperatura de la carne no debe situarse por debajo de 7°C en las primeras 10 h *postmortem*. En la Figura 2 se ob-

serva que los valores medios de temperatura de la carne fueron a las 10 horas *postmortem* de 6,4 y 10,5ºC para las medias canales del protocolo de refrigeración convencional y lenta, respectivamente. Considerando los valores individuales de temperatura, se observa que en el caso del protocolo de refrigeración convencional, todos los valores menos 1 (7,2ºC) se situaron por debajo de este umbral, mientras que en el caso de la refrigeración lenta, ninguna media canal alcanzó valores inferiores a 7 en las 10 horas *postmortem*. Esta información concuerda con la menor longitud de los sarcómeros de los músculos *Longissimus dorsi* sometidos al protocolo de refrigeración convencional.

A pesar de las diferencias en la longitud de los sarcómeros, no se observaron diferencias en la resistencia al corte evaluada a los 3 y 14 días *postmortem*. El protocolo de refrigeración sí tuvo un efecto sobre la resistencia al corte de la carne valorada a los 7 días *postmortem* (mayor en las muestras sometidas a la refrigeración convencional). Coincidiendo con los resultados de autores como White *et al.* (2006), en ambos tratamientos hubo un incremento de la terneza desde los 3 hasta los 14 días de maduración, de forma que el efecto sobre esta variable observado a los 7 días no se observó a los 14. Estos resultados concuerdan con los obtenidos en otros trabajos en los que se ha puesto de manifiesto que el efecto de un enfriamiento demasiado rápido sobre la terneza, se debería principalmente al efecto de la disminución de la velocidad de caída del pH sobre los procesos proteolíticos que tienen lugar durante la maduración de la carne, los cuales se ven también ralentizados (Hwang *et al*., 2004). Purchas *et al.* (1999) observaron un incremento en la resistencia al corte al incrementarse el pH final de 5,5 a 6. En el presente trabajo, se observó una correlación positiva entre los valores de pH a las 5, 9, 11, 12 y 24 horas *postmortem* y la fuerza máxima de corte a los 7 días de maduración (Tabla 4) ($P \leq 0,05$). Además, la longitud de los sarcómeros presentó una correlación negativa con los valores de pH entre las 9 y las 12 horas *postmortem* ($P \leq 0,05$), y positiva con los valores de temperatura entre las 5 y las 12 horas *postmortem* ($P \leq 0,05$). Por el contrario, no se observó una correlación significativa ($P > 0,1$) entre la longitud de los sarcómeros y los valores de fuerza máxima de corte en ninguno de los tiempos de maduración considerados (Tabla 4).

Comparando la terneza de la carne obtenida en 7 mataderos comerciales con distintos protocolos de refrigeración, Hannula y Puolanne (2004) observaron que la máxima terneza y la menor variabilidad entre canales se obtenía aplicando protocolos de refrigeración que permitiesen alcanzar valores de pH inferiores a 5,7 cuando la temperatura de la carne alcanzase los 7ºC. En el presente trabajo, las medias canales sometidas a la refrigeración convencional tardaron en promedio 9,5 horas en alcanzar los 7ºC de temperatura, mientras que las sometidas al protocolo de refrigeración lenta tardaron 14 horas. Los valores medios de pH de los dos tratamientos cuando la temperatura alcanzó los 7ºC, fueron 6,4 y 5,8, respectivamente.

En la bibliografía pueden encontrarse trabajos en los se ha observado un efecto de la temperatura a la que se alcanza el *rigor mortis* sobre el color de la carne (Young *et al.* (1999) en vacuno; Geesink *et al.* (2000) en cordero; Janz *et al*. (2000) en bisonte americano). Por el contrario, Yu *et al.* (2008) no observaron diferencias en la luminosidad, índice de rojo e índice de amarillo de la carne de vacas de raza Hanwoo sometidas a dos protocolos de refrigeración (2ºC hasta las 24 horas *postmortem vs.* 4 h a 2ºC, 4 h a 12ºC y 16 h a 2ºC). En las condiciones del presente trabajo, tampoco se ha observado un efecto del protocolo de refrigeración sobre la luminosidad, el tono o la saturación de la carne medidos a los 3, 7 y 14 días *postmortem*. Esta ausencia de diferencias podría deberse a las condiciones de refri-

Tabla 4. Correlaciones de Pearson entre los valores de pH y temperatura del músculo *Longissimus dorsi* tomados a las 5, 9, 10, 11, 12 y 24 horas *postmortem*, la longitud de los sarcómeros (Lsarc) y la fuerza máxima de corte (FMAX) a los 3, 7 y 14 días *postmortem*

Table 4. Pearson correlations between pH and T values of Longissimus dorsi *muscle measured at 5, 9, 10, 11, 12 and 24 hours* post-slaughter, *sarcomere length (Lsarc) and maximum shear force (FMAX) at 3, 7 and 14 days* post-slaughter

	pH5	pH9	pH10	pH11	pH12	pH24	Tª5	Tª9	Tª10	Tª11	Tª12	Tª24	Lsarc	FMAX3	FMAX7	FMAX14
pH5	1	,808***	,671**	,834***	,824***	,525*	-,589**	-,592**	-,574*	-,627**	-,552*	-,388	-,413	-,482	,719**	,614**
pH9	,808***	1	,813***	,834***	,860***	,342	-,846***	-,842***	-,845***	-,867***	-,785***	-,579*	-,602*	-,192	,524*	,381
pH10	,671**	,813***	1	,880***	,875***	,331	-,858***	-,852***	-,893***	-,905***	-,902***	-,472*	-,688**	-,137	,339	,260
pH11	,834***	,834***	,880***	1	,967***	,509*	-,885***	-,889***	-,882***	-,904***	-,873***	-,540*	-,561*	-,359	,556*	,226
pH12	,824***	,860***	,875***	,967***	1	,514*	-,882***	-,878***	-,875***	-,914***	-,881***	-,585*	-,541*	-,286	,561*	,254
pH24	,525*	,342	,331	,509*	,514*	1	-,307	-,298	-,258	-,337	-,288	-,385	-,296	-,170	,500*	,329
Tª5	-,589**	-,846***	-,858***	-885***	-882***	-,307	1	,988***	,981***	,987***	,948***	,597**	,632**	,043	-,384	-,020
Tª9	-,592**	-,842***	-,852***	-,889***	-,878***	-,298	,988***	1	,977***	,980***	,961***	,592**	,592*	,085	-,438	,004
Tª10	-,574*	-,845***	-,893***	-,882***	-,875***	-,258	,981***	,977***	1	,989***	,965***	,606**	,673**	,136	-,338	-,043
Tª11	-,627**	-,867***	-,905***	-,904***	-,914***	-,337	,987***	,980***	,989***	1	,970***	,615**	,676**	,097	-,387	-,098
Tª12	-,552*	-,785***	-,902***	-,873***	-,881***	-,288	,948***	,961***	,965***	,970***	1	,590**	,630**	,122	-,338	-,034
Tª24	-,388	-,579*	-,472*	-,540*	-,585*	-,385	,597**	,592**	,606**	,615**	,590**	1	,438	,186	-,203	-,106
Lsarc	-,413	-,602*	-,688**	-,561*	-,541*	-,296	,632**	,592*	,673**	,676**	,630**	,438	1	-,220	-,010	-,339
FMAX3	-,482	-,192	-,137	-,359	-,286	-,170	,043	,085	,136	,097	,122	,186	-,220	1	-,203	-,232
FMAX7	,719**	,524*	,339	,556*	,561*	,500*	-,384	-,438	-,338	-,387	-,338	-,203	-,010	-,203	1	,373
FMAX14	,614**	,381	,260	,226	,254	,329	-,020	,004	-,043	-,098	-,034	-,106	-,339	-,232	,373	1

geración de los dos tratamientos (evolución de temperatura de la cámara convencional, tramo con las mismas condiciones de refrigeración entre las 7 y las 24 horas *postmortem*) y a la ausencia de diferencias en el pH final.

De acuerdo con los resultados de Geesink *et al.* (2000) y Fernández y Vieira (2012) en carne de cordero, y Yu *et al.* (2008) en vacuno, no se observó un efecto del protocolo de refrigeración sobre las pérdidas de agua por cocción.

El protocolo de refrigeración lenta no supuso un incremento de la carga microbiana evaluada a las 24 horas *postmortem*. Yu *et al.* (2008) y Fernández y Vieira (2012) tampoco observaron que los protocolos de refrigeración lenta o retardada aplicados en sus trabajos supusiesen un incremento del riesgo de crecimiento microbiano.

En la bibliografía no se ha encontrado ningún trabajo en el que se haya evaluado el efecto del protocolo de refrigeración sobre el estado oxidativo de la carne. En este trabajo, no se observó que una refrigeración más lenta incrementase el contenido en productos de la oxidación de los lípidos evaluado a los 3, 7 y 14 días *postmortem*, lo que indicaría que la aplicación de un protocolo de refrigeración similar al estudiado, no acortaría la vida útil de la carne como consecuencia de una mayor oxidación de los lípidos. La alimentación con una dieta rica en compuestos antioxidantes también podría haber contribuido a esta ausencia de diferencias. Humada *et al.* (2014) observaron un mayor contenido en vitamina E y una mayor estabilidad frente a la oxidación de los lípidos en la carne de terneros y añojos producidos en pasto, como los utilizados en este trabajo, frente a los alimentados con concentrado y paja.

Tampoco se ha encontrado en la bibliografía ningún trabajo en el que se haya evaluado el efecto del protocolo de refrigeración sobre el color de la grasa subcutánea. La grasa de las medias canales sometidas al tratamiento de refrigeración lenta presentó una mayor luminosidad y un color más anaranjado. Aunque en este trabajo no ha sido posible evaluar las pérdidas de peso de las canales por evaporación, se podría plantear la hipótesis de que la refrigeración lenta haya supuesto unas mayores pérdidas por evaporación y que esto se haya traducido en una concentración de ciertos pigmentos, como los carotenoides, en la grasa. Esta hipótesis concuerda con la menor humedad relativa registrada en la cámara de refrigeración lenta respecto a la convencional. Janz *et al*. (2000), Prado y Felicio (2010) y Fernández y Vieira (2012) no observaron diferencias en las pérdidas de peso de la canal comparando protocolos de refrigeración convencionales y de refrigeración retardada.

Los resultados obtenidos demuestran, en las condiciones de un matadero comercial, que la práctica de fijar una temperatura inicial baja en la cámara de refrigeración en la que se introducen las canales inmediatamente después del sacrificio, previendo la subida de temperatura que tiene lugar a lo largo de la jornada de matanza, puede tener implicaciones negativas sobre la calidad de la carne obtenida, en concreto sobre la terneza. Esta práctica afecta negativamente especialmente a animales que por su edad (animales menores de un año) o su temperamento (algunas razas rústicas) se sacrifican al inicio de la jornada de matanza. Los resultados también muestran la importancia del protocolo de refrigeración en la reducción de la heterogeneidad de la terneza de la carne obtenida.

Como conclusión, se puede destacar la necesidad buscar rutinas de funcionamiento y, en particular protocolos de refrigeración, adaptados a los distintos tipos de canales, que permitan el cumplimiento de los requisitos higiénicos sin perjudicar otros aspectos de la calidad de la carne. La aplicación de protocolos de refrigeración retardada a algunos tipos de canales podría ser una solución.

Agradecimientos

César Cimadevilla y Personal de la Finca Aranda por su colaboración en la producción de los animales. Rommel Moros y Carlos Murga por su colaboración en la toma de muestras. Personal del Laboratorio Agrícola del CIFA y del Servicio de Laboratorio y Control del Gobierno de Cantabria por su colaboración en los análisis de laboratorio. Ana Fernández y Ceferina Vieira (ITACyL) por sus orientaciones sobre la técnica de medida de los sarcómeros. Personal y SVO del matadero de Guarnizo. Cooperativa Agrocantabria. Programa DOC-INIA-CCAA 2008 (Emma Serrano). Proyecto RTA-INIA-2012-00084-C03-00.

Bibliografía

Bendall JR (1973a). The biochemistry of *rigor mortis* and cold-contracture. Proceedings of the 19th European meeting of meat research workers, 27 septiembre 1973, París, Francia, pp. 1-27).

Bendall JR (1973b). *Postmortem* changes in muscle. En: Structure and function of muscle (Ed. Bourne G H), pp. 244-309. Academic Press.

Bruce HL, Ball RO (1990). *Postmortem* interactions of muscle temperature, pH and extension on beef quality. Journal of Animal Science 68: 4167-4175.

Carballo JA, Monserrat L, Sánchez L (2005). Composición regional y tisular de la canal bovina. En: V. Estandarización de las metodologías para evaluar la calidad del producto (animal vivo, canal, carne y grasa) en los rumiantes. Monografías INIA Serie Ganadera (Eds. Cañeque V, Sañudo C), pp. 120-140. INIA.

Fernández AM, Vieira C (2012) Effect of chilling applied to suckling lamb carcasses on hygienic, physicochemical and sensory meat quality. Meat Science 92: 569-574.

García-Torres S, Espejo M, López M, Izquierdo M, Mendizábal J, Purroy A (2005). Conformación, engrasamiento y sistemas de clasificación de la canal bovina. En: V. Estandarización de las metodologías para evaluar la calidad del producto (animal vivo, canal, carne y grasa) en los rumiantes. Monografías INIA Serie Ganadera (Eds. Cañeque V, Sañudo C), pp. 105-119. INIA.

Geesink GH, Bekhit AD, Bickerstaffe R (2000). Rigor temperature and meat quality characteristics of lamb *longissimus* muscle. Journal of Animal Science 78: 2842-2848.

Hannula T, Puolanne E (2004). The effect of cooling rate on beef tenderness: the significance of pH at 7°C. Meat Science 67: 403-408.

Huff-Lonergan E, Zhang W, Lonergan SM (2010). Biochemistry of *postmortem* muscle. Lessons on mechanisms of meat tenderization. Review. Meat Science 86: 184-195.

Humada MJ, Sañudo C, Cimadevilla C, Serrano E (2013). Efecto del sistema de producción y la edad de sacrificio sobre parámetros productivos, calidad de la canal y rendimiento económico de la producción de terneros y añojos de raza Tudanca. ITEA-Información Técnica Económica Agraria 109: 183-200.

Humada MJ, Sañudo C, Serrano E (2014). Chemical composition, vitamin E content, lipid oxidation, color and cooking losses in meat from Tudanca bulls finished on semi-extensive or intensive systems and slaughtered at 12 or 14 months. Meat Science 96: 908-915.

Hwang IH, Park BY., Cho SH., Lee JM (2004). Effects of muscle shortening and proteolisis on Warner-Bratzler shear force in beef *longissimus* and *semitendinosus*. Meat Science 68: 497-505.

Janz JAM, Aalhus JL, Price MA, Schaefer AL (2000). The influence of elevated temperature conditioning on bison (*Bison bison bison*) meat quality. Meat Science 56: 279-284.

Jeremiah LE (1996). The influence of subcutaneous fat thickness and marbling of beef. Palatability and consumer acceptability. Food Research International 29: 513-520.

Locker RH, Hagyard CJ (1963). A cold shortening effect in beef muscles. Journal of the Science of Food and Agriculture 14: 787-793.

Maher SC, Mullen AM, Keane MG, Buckley DJ, Kerry JP, Moloney AP (2004). Decreasing varia-

tion in the eating quality of beef through homogeneous pre- and post-slaughter management. Meat Science 67: 33-43.

Olsson U, Herzman C, Tornberg E (1994). The influence of low temperature, type of muscle and electrical stimulation on the course of *rigor mortis*, aging and tenderness on beef muscles. Meat Science 37: 115-131.

Pfalzgraf A, Frigg M, Steinhart H (1995). -Tocopherol contents and lipid oxidation in pork muscle and adipose tissue during storage. Journal of Agricultural and Food Chemistry 43: 1339-1342.

Prado CS, de Felício PE (2010). Effects of chilling rate and spray-chilling on weight loss and tenderness in beef strip loin steaks. Meat Science 86: 430-435.

Purchas RW, Yan X, Hartley DG (1999). The influence of a period of ageing on the relationship between ultimate pH and shear values of beef *m. longissimus thoracis*. Meat Science 51: 135-141.

Reglamento (CE) nº 1441/2007 de la Comisión, de 5 de diciembre de 2007, que modifica el Reglamento (CE) nº 2073/2005 relativo a los criterios microbiológicos aplicables a los productos alimenticios. Diario Oficial de la Unión Europea, L322: 12-29.

Reglamento (CE) nº 1183/2006 del Consejo, de 24 de julio de 2006, sobre el modelo comunitario de clasificación de las canales de vacuno pesado. Diario Oficial de la Unión Europea, 1, L 214/211-214/216.

Savell JW, Mueller SL, Baird BE (2005). The chilling of carcasses. Review. Meat Science 70: 449-459.

Sørheim O, Idland J, Halvorsen EC, Frøystein T, Lea P, Hildrum KI (2001). Influence of beef carcass stretching and chilling rate on tenderness of *m. longissimus dorsi*. Meat Science 57: 79-85.

SPSS 17.0 (2008). User s guide. SPSS Inc. Chicago, IL, EE.UU.

Torrescano G, Sanchez-Escalante A, Giménez B, Roncalés P, Beltrán JA (2003). Shear values of raw samples of 14 bovine muscles and their relation to muscle collagen characteristics. Meat Science 64: 85-91.

White A, O Sullivan A, Troy DJ, O'Neill EE (2006). Manipulation of the pre-rigor glycolitic behaviour of bovine *M. longissimus dorsi* in order to identify causes of inconsistencies in tenderness. Meat Science 73: 151-156.

Young O A, Priolo A, Simmons NJ, West J (1999). Effects of rigor attaiment temperature on meat blooming and colour on display. Meat Science, 52: 47-56.

Yu LH, Lim DG, Jeong SG, In TS, Kim JH, Ahn CN, Kim CJ, Park BY (2008). Effects of temperature conditioning on *postmortem* changes in physico-chemical properties in Korean native cattle (Hanwoo). Meat Science 79: 64-70.

(Aceptado para publicación el 4 de julio de 2016)

Análisis de los factores de resiliencia en territorios rurales de Andalucía mediante técnicas de Proceso Analítico en Red (ANP)

P. Sánchez-Zamora*, R. Gallardo-Cobos y F. Ceña-Delgado

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, 14071, Córdoba, España

Resumen

La crisis económica se presenta como uno de los principales elementos que ha determinado la existencia de diferentes dinámicas territoriales en el medio rural andaluz. Para poder entender los procesos de cambio que hoy se producen en las áreas rurales, resulta oportuno utilizar el marco conceptual de la resiliencia territorial. Así, este trabajo pretende analizar la capacidad de influencia que los factores asociados a las dinámicas territoriales ejercen sobre la resiliencia de las comarcas rurales andaluzas. Para ello, se ha desarrollado una metodología de valoración de estos factores mediante técnicas de decisión multicriterio –Proceso Analítico en Red– basadas en las opiniones declaradas por expertos. Los resultados muestran que factores como la *Formación y el acceso a las TICs*, las *Ayudas al desarrollo rural*, los *Agricultores jóvenes y dinamismo agrario* y la *Agricultura y ayudas PAC*, son factores que contribuyen a la resiliencia territorial y podrían ser tenidos en cuenta en el diseño de políticas públicas que permitan una mejor respuesta de los territorios rurales frente a la crisis.

Palabras clave: Territorios rurales, crisis económica, resiliencia territorial, Proceso Analítico en Red (ANP), políticas agrarias y rurales.

Abstract

Analyzing resilience factors in rural territories of Andalusia through techniques of Analytical Network Process (ANP)

The economic crisis is one of the main elements that have determined the existence of different territorial dynamics in the Andalusian rural areas. To understand the current processes of change in these rural areas, it is appropriate to use the conceptual framework of territorial resilience. This paper analyzes the capacity of influence that factors associated with territorial dynamics have on the Andalusian rural counties resilience. To this end, a methodology for assessing these factors through multicriteria decision techniques –Analytical Network Process (ANP)– based on the opinions exposed by experts. The results show that factors such as *Training and Access to ICT*, *Aid for rural development*, *Youth farmers and agricultural dynamism*, and *Agriculture and CAP aids* contribute to territorial resilience. These could be taken into account in the public policies design allowing rural territories to better respond to economic pressure.

Key words: Rural territories, economic crisis, territorial resilience, Analytical Network Process (ANP), agricultural and rural Policies.

---

* Autor para correspondencia: pedro.sanchez@uco.es

http://doi.org/10.12706/itea.2017.005

Introducción

El medio rural es uno de los elementos fundamentales que vertebran social y económicamente el territorio europeo y configuran su paisaje. En los territorios rurales se concentra un importante porcentaje de la población[1], siendo el soporte físico de un extenso y variado patrimonio natural y cultural que representa hoy uno de los grandes valores de la UE, además de constituir la base de muchas actividades económicas que generan importantes niveles de empleo y renta (EC, 2008; Moyano, 2009).

En la actualidad, la Unión Europea (UE) afronta un desafío crucial para la cohesión y el desarrollo de estas áreas rurales. Pese a los esfuerzos de las políticas públicas para alcanzar la cohesión social y económica y la sostenibilidad ambiental de los territorios europeos, tal y como fue aprobado como objetivo último en los Consejos europeos de Lisboa (2000) y Gotemburgo (2001), la realidad rural europea presenta muchos e importantes desequilibrios territoriales a diversas escalas y de muy distinto tipo (EC, 2010a).

En este contexto de desequilibrios territoriales, es evidente que los espacios rurales europeos son diversos y que no evolucionan de forma homogénea, constatándose la existencia de diferentes dinámicas territoriales. En este sentido, uno de los principales factores exógenos que ha determinado la existencia de estas diferentes dinámicas es la crisis económica que se revela como un elemento obstaculizador de los procesos de cambio y desarrollo de las áreas rurales. Aunque el impacto de la crisis sobre las economías rurales difiere entre unas áreas y otras, no hay ninguna duda en el deterioro que ha ejercido en los patrones de crecimiento y empleo rural de la mayor parte de los territorios (EC, 2010b). A pesar de ello, se han observado casos en los que la crisis económica ha podido contribuir a la revitalización de determinados territorios rurales. Los efectos negativos de esta crisis y sus consecuencias en las zonas urbanas, han favorecido, en ocasiones, un flujo migratorio desde las ciudades hacia pequeños municipios, en busca de una mejora en las condiciones de vida y nuevas oportunidades laborales. Estos territorios rurales, como consecuencia del bloqueo de trasvase de mano de obra en sectores localizados en el ámbito urbano, han sido capaces de absorber desempleados, principalmente en actividades asociadas a la agricultura, aumentando así el número de activos en el medio rural y contribuyendo con ello al desarrollo de estos territorios.

Para la comprensión de los efectos de la crisis, algunos autores han utilizado un enfoque analítico basado en el concepto de resiliencia territorial. De forma genérica, la resiliencia territorial se refiere a la capacidad permanente que poseen algunos territorios para idear y desplegar nuevos recursos y capacidades que le permitan anticiparse, prepararse, resistir y adaptarse favorablemente a las situaciones de shocks que inciden sobre los elementos del territorio, la población y las actividades que en éstos se desarrollan.

En el ámbito rural, el concepto de resiliencia ya ha sido aplicado para el análisis de sistemas socio-ecológicos complejos desde la perspectiva del desarrollo sostenible (Walker *et al*., 2004; Stayner, 2005; Plummer y Armitage, 2007; Nkhata *et al*., 2008), para el análisis de la resiliencia comunitaria (Wilson, 2010; McManus *et al*., 2012; Schouten *et al*., 2012; Berkes y Ross; 2013; Skerratt, 2013; Cheshire

1. En torno al 60% de la población de la UE 25 vive en zonas predominantemente rurales o intermedias, y sólo un 40% lo hace en zonas predominantemente urbanas (definidas como aquéllas en las que menos del 15% de la población vive en municipios rurales), existiendo, no obstante, mucha variabilidad de unos países a otros.

et al., 2015) o recientemente para el análisis de la seguridad alimentaria (FAO, UNICEF, WFP, 2012; Romano y d'Errico, 2015). Sin embargo, este concepto no había sido todavía ampliamente utilizado en este ámbito rural desde una perspectiva integrada, global y territorial. Los trabajos sobre resiliencia con un enfoque territorial se han centrado principalmente en zonas urbanas y, en algunos casos, en espacios territoriales muy amplios (regiones), siendo los estudios existentes sobre otros tipos de territorios muy escasos (Pike *et al*., 2010). De igual modo, la mayor parte de los trabajos que abordan este concepto son fundamentalmente teóricos, y los escasos aportes prácticos utilizan normalmente la técnica de comparación de estudios de caso.

Entre los trabajos que sí abordan el análisis empírico de la resiliencia desde una perspectiva territorial y en un ámbito rural, se pueden destacar los de Sánchez-Zamora *et al*. (2014a, b). En estos trabajos los autores identifican una serie de factores asociados al éxito y a la resiliencia de las dinámicas territoriales de las comarcas rurales de Andalucía. Sin embargo, ponen de manifiesto que el análisis de los factores que intervienen en los procesos de desarrollo y en las dinámicas de resiliencia resulta una tarea realmente compleja de abordar. Esto se debe fundamentalmente a la existencia de numerosas relaciones de tipo causa-efecto que se establecen entre ellos. De esta forma, para el análisis de dichos factores resulta recomendable la adopción de enfoques integrados que permitan tener en cuenta las numerosas interrelaciones que caracterizan a los procesos de cambio de las áreas rurales. Entre las metodologías que incorporan el enfoque integrado al análisis, destaca el Proceso Analítico en Red (ANP) como una de las técnicas más prometedoras que permite considerar simultáneamente todas las interdependencias existentes entre los diferentes elementos relevantes que componen el sistema objeto de estudio (Saaty, 2001). Así, haciendo uso de esta técnica, y bajo el marco referencial propuesto por Sánchez-Zamora *et al*. (2014b), el objetivo de este trabajo es analizar la capacidad de influencia que los factores asociados a las dinámicas territoriales ejercen sobre la resiliencia de las comarcas rurales andaluzas con el fin de proporcionar información de utilidad para los decisores políticos en el diseño de las políticas públicas que permitan una mejor respuesta de los territorios rurales frente a la crisis económica. El hecho de que la UE se encuentre en pleno proceso de implementación de políticas en este nuevo período de programación 2014-2020, incrementa aún más el interés de esta investigación.

Con el fin de alcanzar el mencionado objetivo, tras esta sección introductoria el documento se estructura como sigue. En el segundo apartado se describe el marco teórico y conceptual sobre la resiliencia territorial. En el tercero, se detalla la metodología empleada, incluyendo una explicación del ámbito de la investigación y la selección de territorios para el estudio de caso, una descripción básica de la técnica ANP así como una explicación de su aplicación específica en la presente investigación. En el cuarto apartado se presentan y discuten los resultados obtenidos en relación a los factores territoriales y su relación con la resiliencia. Por último, en el quinto apartado del documento se finaliza exponiendo las principales conclusiones extraídas del trabajo.

Marco teórico

La raíz de la palabra resiliencia proviene del latín *resilire* y denota la idea de recuperación, restablecimiento, rebote o retroceso ("bouncing back" en terminología anglosajona). Se trata de un concepto que se ha venido utilizando en diversas disciplinas científicas tales como la mecánica –para denotar la capacidad que posee un material para resistir la aplicación de una fuerza y absorberla con deformación–, o la psicología –para medir la

capacidad de los individuos para afrontar y superar acontecimientos de carácter traumático. Las primeras investigaciones transdisciplinarias sobre resiliencia fueron desarrolladas por Holling (1973) para establecer relaciones de sostenibilidad entre la población y los recursos naturales de un sistema ecológico.

Actualmente, la palabra resiliencia es un término de uso común tanto en el lenguaje cotidiano como en diversas disciplinas científicas, lo que ha contribuido a la aparición de diversos significados y connotaciones. En este sentido, Martin (2012) señala que la resiliencia no es un concepto unitario con una definición precisa y aceptada universalmente, sino que a pesar del debate conceptual que se ha venido dando durante más de 30 años, el concepto de resiliencia permanece todavía difuso (Klein *et al*., 2003; Pendall *et al*., 2010) y adquiere en la práctica un carácter polisémico (Reghezza-Zitt *et al*., 2012).

A partir de la revisión bibliográfica realizada sobre la conceptualización de la resiliencia, se han podido identificar dos enfoques que parecen particularmente relevantes para poder abordar su análisis desde una perspectiva territorial: i) análisis a través del equilibrio; y ii) análisis a través de sistemas adaptativos complejos. El primero de ellos hace alusión tanto a la capacidad que posee un sistema para volver a su estado de equilibrio normal una vez que éste ha sufrido una perturbación o shock ("resiliencia mecánica" en sistemas monoequilibrio), como a la capacidad que posee un sistema para tolerar dichas perturbaciones situándose en otra posición de equilibrio ("resiliencia ecológica" en sistemas multiequilibrio). Por su parte, el segundo de los enfoques se deriva de la teoría de los sistemas adaptativos complejos. Estos sistemas se caracterizan por su comportamiento autoorganizado impulsado por las interacciones co-evolutivas que se establecen entre sus elementos y componentes, y una capacidad de adaptación que les permite reorganizar su estructura interna de forma espontánea, ya sea en respuesta a algún shock externo, o a algún mecanismo emergente interno (Martin y Sunley, 2007). Bajo esta perspectiva no se requieren, por tanto, suposiciones de equilibrio.

Teniendo en cuenta estos dos enfoques y tratando de aplicar el concepto de la resiliencia al territorio, éste adquiere en la práctica una doble concepción. En primer lugar, la resiliencia puede ser medida bien como la capacidad del territorio para soportar presiones externas manteniendo las bases de su desarrollo (económico, social, cultural, etc.) o bien como la capacidad de éste para responder positivamente ante los cambios externos. En estos casos, se puede decir que el territorio está dotado de una "resiliencia estática" (Hamdouch *et al*., 2012) que le permite, o bien volver a un nivel de equilibrio, o bien pasar a otro nivel de equilibrio (Christopherson *et al*., 2010; Pike *et al*., 2010; Simmie y Martin, 2010).

Una segunda concepción, y a través de un enfoque más dinámico que resulta esencial para la comprensión del concepto de resiliencia (Hassink, 2010), ésta puede ser definida como la capacidad permanente de un territorio para idear y desplegar nuevos recursos y capacidades que le permitan adaptarse favorablemente a la dinámica de transformación impulsada por el entorno cambiante. En este caso, puede afirmarse que el territorio desarrolla una "resiliencia dinámica" (Hamdouch *et al*., 2012) caracterizada por la capacidad de adaptación y aprendizaje a largo plazo ante los cambios externos y/o internos (Christopherson *et al*., 2010; Pendall *et al*., 2010; Pike *et al*., 2010; Simmie y Martin, 2010).

Una visión operativa exige, a nuestro entender, una visión amplia, de forma que la resiliencia territorial sobrepasa ambas concepciones y se entiende como *"la capacidad de un territorio para anticiparse, prepararse, responder, recuperarse y adaptarse de un shock*

o distorsión" (Foster, 2007). A partir de esta definición, se pueden distinguir cuatro fases de la resiliencia territorial: 1) anticipación, preparación; 2) respuesta; 3) recuperación, y 4) adaptación y aprendizaje en el largo plazo.

Esta investigación se centra en las dos primeras fases de la resiliencia territorial. Este hecho viene determinado por las características que presenta el factor impulsor del *shock*, la actual crisis socio-económica. Si bien los comienzos de la crisis pueden fecharse en el año 2008, en la actualidad aún nos encontramos inmersos en este proceso, por lo que todavía resulta complicado medir la capacidad de adaptación y aprendizaje de los territorios en el largo plazo. De esta forma, entendemos por resiliencia territorial la capacidad permanente (resiliencia dinámica) de un territorio para idear y desplegar nuevos recursos y capacidades, que le permitan anticiparse, prepararse y responder favorablemente a la dinámica de transformación impulsada por dicha crisis socioeconómica.

Por otra parte, en cuanto a las variables que más se repiten en la literatura sobre cómo abordar el análisis empírico y la caracterización de la resiliencia territorial en un contexto de cambio de la situación de "equilibrio" como consecuencia de una crisis económica, son el empleo y los ingresos. Así, Davies (2011) en su trabajo hace uso de la variable empleo, como única variable medidora de la resiliencia regional, Hill *et al*. (2011) caracterizan la resiliencia frente a un shock a partir del empleo y el producto bruto de la región y, tanto Pendall *et al*. (2010) como Martin (2012) hacen referencia al empleo, los ingresos y el nivel de producción de una economía como variables a considerar en el análisis empírico de la resiliencia. De hecho, estos tres factores quedan incorporados de forma intrínseca en algunas de las definiciones que se han establecido acerca del concepto de resiliencia regional (Martin, 2012). De forma similar, los estudios sobre cohesión económica, social y territorial utilizan dos indicadores fundamentales en sus análisis, el PIB y la tasa de empleo (EC, 2013 y 2014). En este sentido, y teniendo en cuenta estos trabajos, se han seleccionado para esta investigación el empleo y la renta como las dos variables resultado capaces de medir la resiliencia territorial. Éstas son dos variables importantes de desarrollo que se encuentran asociadas a la medición del bienestar y la calidad de vida de las personas.

Pero estudiar la resiliencia de los territorios rurales no pasa exclusivamente por analizar los cambios en la organización territorial como consecuencia de una perturbación, sino que también es necesario analizar las fuerzas determinantes que favorecen la adaptación a la nueva situación. En este sentido, en el trabajo de Sánchez-Zamora *et al*. (2014b) se identifican una serie de factores que han participado en los procesos de cambio que han experimentado los territorios rurales de Andalucía, tanto en períodos de bonanza económica como de crisis, y que, por tanto, también podrían estar vinculados a la resiliencia territorial. La identificación de estos factores se ha llevado a cabo a partir de la construcción de un sistema de 33 indicadores caracterizadores del territorio rural, la agrupación de éstos según su naturaleza en los cuatro tipos de capital territorial –todo ello basado en las aportaciones teóricas sobre dinámicas territoriales–, y un posterior análisis de componentes principales para la obtención de los factores explicativos de los procesos de cambio de las áreas rurales. Una breve descripción de estos factores y su agrupación en los diferentes capitales territoriales puede observarse en la Tabla 1.

Tabla 1. Descripción de los factores territoriales impulsores de procesos de cambio en el medio rural andaluz
Table 1. Description of territorial factors driving processes of change in Andalusian rural areas

Capital – Factor – Descripción
Capital económico
Agricultura extensiva y ayudas PAC
Refleja la importancia que la agricultura (principalmente de la extensiva) adquiere en el territorio a través de indicadores como: i) la superficie agraria útil (SAU); ii) el valor de la producción agraria, y iii) el nivel de ayudas PAC.
Diversificación de la economía rural
Importancia que otros sectores económicos diferentes al primario, tales como el sector industrial, el de la construcción y el sector servicios, tienen sobre la economía rural del territorio.
Agricultores jóvenes y dinamismo agrario
Potencial de renovación, continuidad, innovación y dinamización del territorio rural. El desarrollo y la competitividad de la agricultura andaluza pasan por el relevo generacional y el dinamismo de los jóvenes agricultores. El papel que éstos desempeñan en el medio rural es fundamental para asegurar la continuidad de los procesos de desarrollo.
Industria Agroalimentaria
Importancia del sector industrial y agroalimentario en el territorio. Éste es un sector importante en Andalucía que ha contribuido de forma decidida en el desarrollo económico y territorial de algunas de sus áreas rurales.
Capital social
Importancia del sector privado en el partenariado del GDR
Refleja el peso que posee el sector privado en la toma de decisiones de los asuntos tratados dentro del GDR. El partenariado público-privado es un tema fundamental a considerar en el análisis de los procesos de desarrollo ya que un equilibrio entre ambos sectores puede facilitar la cooperación entre la población y las instituciones y el diseño de la estrategia de desarrollo comarcal.
Cooperativismo
Capacidad asociativa de los actores del territorio. El cooperativismo quizás sea el movimiento asociativo de mayor y más amplia presencia en la agricultura y el sector agroalimentario. La extensa red de cooperativas de diversos tamaños y actividades lo convierte en un factor de indudable importancia en los procesos de desarrollo.
Ayudas al desarrollo rural
Nivel de ayudas de DR destinadas a mejorar la calidad de vida de la población, la competitividad y sostenibilidad de la producción agraria, y la calidad del medioambiente y el entorno rural. Una correcta gobernanza puede promover una adecuada gestión de estas ayudas, lo que contribuye al desarrollo de los territorios rurales.

Capital – Factor – Descripción
Capital humano
Problemas demográficos
Despoblamiento y envejecimiento de la población. Se trata de dos de los principales problemas a los que se enfrentan las áreas rurales. Cabe entender que un territorio con problemas demográficos presenta un potencial socioeconómico inferior.
Formación y acceso a las TICs
Refleja el nivel educativo de la población y el acceso y disponibilidad a las nuevas tecnologías. Un nivel educativo elevado incide favorablemente sobre la productividad del trabajo, y favorece la localización de actividades económicas de un nivel tecnológico medio-alto y de servicios avanzados.
Capital Natural
Espacios naturales protegidos y zonas forestales
Disponibilidad de recursos naturales del territorio (Red Natura 2000 y espacios forestales). Este factor puede tener una influencia directa en los procesos de desarrollo a través de actividades ligadas al turismo rural, actividades de esparcimiento y ocio, paisajismo, etc.
Carácter remoto y zonas desfavorecidas
Situación periférica y de aislamiento del territorio, y dificultad para el acceso y disponibilidad de recursos naturales. Este factor representa los condicionamientos impuestos por el medio físico.

Fuente: Adaptado de Sánchez-Zamora *et al*., 2014b.

Material y métodos

Ámbito de la investigación y selección de estudios de caso

El ámbito geográfico seleccionado para abordar el análisis de la resiliencia territorial es el medio rural de Andalucía. Ésta es una región caracterizada por la gran extensión geográfica y diversidad económica de sus territorios, la elevada variedad de sus ecosistemas, su buen equilibrio demográfico rural-urbano, el importante peso específico del sector agroalimentario, la presencia de una amplia y heterogénea red asociativa (cooperativas, sindicatos, comunidades de regantes, organizaciones profesionales, grupos de desarrollo rural,…), y representar el escenario de un intenso proceso de desarrollo rural a través de la aplicación de la iniciativa europea Leader y el programa Proder en 52 de sus comarcas.

En el trabajo de Sánchez-Zamora *et al*. (2014b)[2] se identifican diez comarcas rurales que han

2. En este trabajo, los autores realizan un análisis en dos períodos de tiempo –período de bonanza económica (2000-2008) y período de crisis económica (2008-2012)– que les permite identificar, a partir de la construcción de índices sintéticos, las comarcas rurales andaluzas que han experimentado dinámicas territoriales exitosas (período pre-crisis) y las que han soportado dinámicas territoriales resilientes (período de crisis). A partir de la combinación de comarcas exitosas y no exitosas, y resilientes y no resilientes, establecen una tipología de territorios rurales conformada por cuatro tipos: i) comarcas exitosas y resilientes; ii) comarcas no exitosas pero resilientes; iii) comarcas exitosas y no resilientes; y iv) comarcas no exitosas y no resilientes. De esta forma, califican como comarcas resilientes las que se encuentran dentro de los dos primeros grupos (un total de 10 comarcas), y como no resilientes las que conforman los grupos tres y cuatro (las 42 comarcas restantes).

experimentado dinámicas territoriales calificadas como resilientes. De estas diez comarcas, cinco (Sierra Sur de Jaén, Condado de Jaén, La Loma y Las Villas, Sierra Mágina y Sierra de Segura) constituyen una muestra representativa del conjunto de comarcas rurales resilientes, y presentan una serie de características que, desde el punto de vista del análisis que se quiere llevar a cabo, hace que puedan ser consideradas como una unidad geográfica prácticamente homogénea para realizar un análisis más profundo de las múltiples y complejas relaciones que se establecen entre los factores impulsores de dinámicas territoriales y su contribución a la resiliencia territorial. Dichas características son las que se resumen a continuación:

- Presentan cierta similitud en sus características económicas, sociales y territoriales.
- Administrativamente pertenecen a la misma provincia (Jaén) y sus dinámicas de desarrollo se desenvuelven en contextos más o menos similares.
- Debido a su localización geográfica conforman una unidad física continua.

Se trata de un conjunto de territorios que franquean de noreste a suroeste la provincia de Jaén. Se caracterizan principalmente por la importancia de su agricultura (en la que destaca especialmente el olivar), el elevado nivel de ayudas PAC, y su potencialidad para la innovación agraria (jóvenes titulares de explotación, proliferación de signos de calidad diferenciada, etc.). También destacan por el elevado porcentaje de superficie forestal con espacios naturales protegidos, principalmente concentrados en la Sierra de Segura y el Condado de Jaén. En relación a otras comarcas rurales de Andalucía, presentan dificultades de carácter demográfico (despoblación y envejecimiento) y problemas asociados al nivel de formación de la población. Finalmente, en el ámbito social, se caracterizan por el fuerte carácter asociativo y cooperativo de su población, y por el elevado nivel de ayudas para el desarrollo rural de sus territorios.

El Proceso Analítico en Red (ANP)

El ANP fue propuesto por Saaty (2001, 2005) y representa un problema de decisión como una red en la que son posibles las interdependencias entre todos los elementos que la componen, lo que permite una modelización más aproximada de la realidad. Pertenece a la familia de los métodos multicriterio y representa una evolución del conocido método AHP (Analytic Hierarchy Process) superando sus limitaciones relativas a la estructura jerárquica de los elementos del sistema analizado y el supuesto de la independencia entre tales elementos (Saaty y Takizawa, 1986). La descripción completa de las bases teóricas y operativas del método ANP puede encontrarse en Saaty (2001), si bien a continuación se resumen las etapas básicas a seguir para la aplicación del método:

1) *Modelizar el problema como una red.* Para la modelización del problema, en primer lugar se identifican los elementos relevantes de la red (criterios de decisión y, en su caso, alternativas). A continuación, se agrupan los elementos siguiendo criterios de similitud para conformar *clusters* (*clusters* de decisión y, en su caso, un *cluster* de alternativas). Finalmente, se analizan las relaciones entre los elementos que conforman la red. Para ello, habitualmente se hace uso de una matriz de influencias como la elaborada en esta investigación que puede observarse en la Tabla 2 del siguiente epígrafe. En esta matriz las filas y las columnas están formadas por todos los elementos de la red agrupados por *clusters*, de forma que en la comparación por pares toman el valor 1 cuando el elemento de la fila influye en el criterio de la columna y 0, cuando no existe influencia.

Tabla 2. Matriz de relaciones entre los elementos de la red
Table 2. Matrix of relationships between network elements

Clusters	Económico				Social			Humano		Natural		Resiliencia	
Criterios	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	R	TE
Económico													
F1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0	1	1
F2	1	0	0	1	1	0	1	1	0	1	0	1	1
F3	1	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0	1	0
F4	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1
Social													
F5	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F6	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1
F7	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1
Humano													
F8	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1
F9	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	1
Natural													
F10	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1
F11	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1
Resiliencia													
Renta	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Tasa Empleo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0

2) *Comparaciones pareadas entre elementos y elaboración del cuestionario.* Una vez analizadas las relaciones existentes entre los elementos de la red, el siguiente paso consiste en determinar las prioridades relativas entre los elementos. Para ello se elabora un cuestionario para entrevistar a expertos en el que se incluyen a modo de pregunta todas las comparaciones pareadas entre elementos relacionados (los que toman el valor 1 en la matriz de influencias) y así poder determinar sus prioridades. De esta forma, dos elementos se comparan al mismo tiempo con respecto a un tercero que actúa como elemento de control. Es decir, el entrevistado se enfrenta a comparaciones por pares de elementos que influyen en un tercero y únicamente deben señalar qué elemento de los dos, y con qué intensidad, influye más en ese tercer elemento de control. La valoración de la intensidad de la preferencia se lleva a cabo utilizando la escala fundamental de Saaty (2001), cuyo significado es: 1, "ambos criterios son igualmente importantes"; 3, "un criterio es ligeramente más importante que el otro"; 5, "un criterio es bastante más importante que el otro"; 7, "un criterio es mucho más importante que el otro"; y 9, "un criterio es extremadamente más importante que el otro". Como en AHP, los pesos suelen ser obtenidos calculando el autovector de la matriz de juicios de cada grupo de comparaciones pareadas.

3) *Obtención de la súper matriz no ponderada o inicial.* En esta etapa los autovectores (es decir, las prioridades de importancia o pesos obtenidos de las entrevistas a expertos) se introducen en una súper matriz cuadrada que contiene todos los elementos de la red. Dependiendo del método de agregación empleado, se obtiene una súper matriz no ponderada por cada entrevistado o bien una agregada de todos (ver más adelante el punto relativo al método de agregación).

4) *Obtención de la súper matriz ponderada o estocástica.* La súper matriz no ponderada es normalmente no estocástica, por lo que se calcula una segunda matriz ponderando los elementos de la primera con los pesos que los decisores han dado a las influencias que los *clusters* tienen entre sí. Se obtiene así una matriz estocástica por columnas (weighted super matrix).

5) *Obtención de la súper matriz límite.* Esta última etapa consiste en la multiplicación de la súper matriz ponderada por sí misma n veces con el fin de llevar ésta al límite. La matriz resultante se denomina súper matriz límite y su principal característica es que todas sus columnas son iguales. Los elementos de las columnas representan las prioridades o pesos globales, y constituyen el principal resultado de la aplicación de ANP.

Aplicación del ANP al estudio de caso

Durante los últimos años se ha observado un crecimiento de los trabajos científicos que usan el método ANP en diferentes campos de conocimiento y casos de estudio (Sipahi y Timor, 2010). No obstante, su aplicación en el ámbito agrario y agroalimentario no ha sido muy profusa y, hasta donde se conoce, son muy escasas o prácticamente inexistentes las investigaciones que abordan el análisis de los factores de resiliencia de territorios rurales mediante la técnica de ANP. En el ámbito agrario y agroalimentario destaca el trabajo de Parra-López *et al*. (2008), que analiza el desempeño multifuncional de explotaciones de vacuno de leche en Holanda; el de García-Melón *et al*. (2008) que hace uso de la técnica de ANP para realizar una valoración de tierras agrícolas; el de Nekhay *et al*. (2009), que estudia el problema de la erosión en el olivar de montaña andaluz; el de Reig *et al*. (2010), que analiza la sostenibilidad de diferentes tecnologías aplicables al cultivo del arroz en Valencia; el de Carmona-Torres *et al*. (2011), que analiza los impactos que presentan diferentes paquetes de prácticas agrarias sobre el desempeño multifuncional del olivar; el de Pérez y Pérez *et al*. (2013) relativo a las externalidades asociadas a las denominaciones de origen de aceite de oliva en territorios de Andalucía; el de Villanueva *et al*. (2014), para analizar los factores que intervienen en la provisión de bienes públicos en el olivar de regadío; y el de Baviera-Puig *et al*. (2014), que realiza una evaluación de las memorias de sostenibilidad del sector agroalimentario español mediante ANP.

Con base en dicha literatura, teniendo en cuenta las particularidades del caso de estudio analizado y considerando las etapas básicas de ANP descritas en el apartado anterior, la aplicación de esta técnica se ha realizado a través de las siguientes fases:

1) *Diseño de la estructura de red*. Con el objetivo de analizar la capacidad de influencia que tienen sobre la resiliencia los factores territoriales, se ha diseñado una estructura en red que consta de cinco *clusters de decisión*[3]:

3. Nótese que debido al objetivo de la investigación, en la que sólo se pretende analizar la capacidad de influencia de los factores sobre la resiliencia, en el modelo desarrollado no se plantea el usual problema de decisión entre diferentes alternativas para el que generalmente se hace uso del ANP. Por lo tanto, no se ha establecido ningún cluster de alternativas, sino que los cinco clusters que conforman la red, son clusters de decisión.

"*Cluster* relativo al capital Económico", "*Cluster* relativo al capital Social", "*Cluster* relativo al capital Humano", "*Cluster* relativo al capital Natural" y "*Cluster* medidor de la Resiliencia". Los cuatro primeros *clusters* hacen referencia a los cuatro tipos de capital territorial, y engloban a los factores explicativos de los procesos de cambio mencionados en el epígrafe correspondiente al Marco Teórico y recogidos en la Tabla 1. Por tanto, cada uno de estos factores actuará en el modelo como criterio de decisión. Por su parte, el *cluster* referente a la resiliencia territorial, también de decisión, agrupa a las dos variables/criterios con las que ésta ha sido medida: el empleo y la renta. Una vez identificados los elementos de la red, se han analizado sus relaciones de interdependencia. Para ello se ha hecho uso de la matriz de influencias que puede observarse en la Tabla 2, elaborada a partir de un proceso deliberativo de forma conjunta con expertos conocedores de la realidad objeto de estudio. Así, el esquema de la estructura de red queda de la forma que se muestra en la Figura 1.

2) *Obtención y pretest del cuestionario*. Una vez definida la red y establecidas las relaciones entre sus elementos, se obtiene directamente el cuestionario que incluye todas las preguntas a realizar a los expertos. Las preguntas que componen el cuestionario son del tipo: *"Sobre la Agricultura y ayudas PAC, ¿qué influye más y en qué medida?: A) la diversificación de la economía rural, o B) los agricultores jóvenes y dinamismo agrario".* Para su respuesta, tal y como ha sido comentado anteriormente, se utiliza la escala fundamental de Saaty (2001). Una vez obtenido el cuestionario se realizó un pretest del mismo. Éste consistió en la implementación piloto del cuestionario de forma conjunta con los expertos consultados para la definición de la red. Esta fase sirvió para verificar la comprensión de las preguntas por parte de los entrevistados y la validez de las respuestas obtenidas, así como para reducir el número de interrelaciones considerado en un inicio, prescindiendo de aquéllas que se consideraron de segundo nivel al no existir consenso entre todos los expertos consultados.

3) *Selección de expertos y realización de las entrevistas*. El diseño de la investigación requería preguntar el cuestionario, por una parte, a expertos locales, buenos conocedores del territorio y, por otra, a investigadores en ciencias sociales con experiencia reconocida en el ámbito del desarrollo rural y territorial y las políticas agrarias. Dadas las características de la metodología seguida (requerimiento de profundo conocimiento técnico y disponibilidad para cumplimentar largos cuestionarios), el número de expertos a consultar suele ser reducido (usualmente de 6 a 15), como puede observarse en la mayoría de los trabajos empíricos citados anteriormente. Para esta investigación finalmente se entrevistó a 19 informadores cualificados, 8 expertos locales del territorio analizado y 11 investigadores en ciencias sociales. Entre el grupo de expertos locales se encuentran: el director de una Oficina Comarcal Agraria; el secretario de una Comunidad de Regantes; dos gerentes de Grupos de Desarrollo Rural; dos técnicos de desarrollo rural; un Vocal del Consejo Andaluz del Olivar; y un representante de la Agencia Andaluza de Gestión Agraria y Pesquera de Andalucía. Por otra parte, el panel de investigadores lo componen profesores de la Universidad de Córdoba y de la Universidad de Jaén, e investigadores del Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera. Así, se ha contado con investigadores especialistas en diferentes disciplinas: tres en multifuncionalidad agraria; dos en comercialización y marketing agroalimentarios; uno en sistema agroalimentario; tres en desarrollo agrario y rural; y dos en políticas agrarias y ambientales. Las entrevistas se realizaron durante los meses de mayo a julio de 2014.

4) *Obtención y tratamiento de los resultados.* Como primer resultado de los cuestionarios cumplimentados, para cada experto se

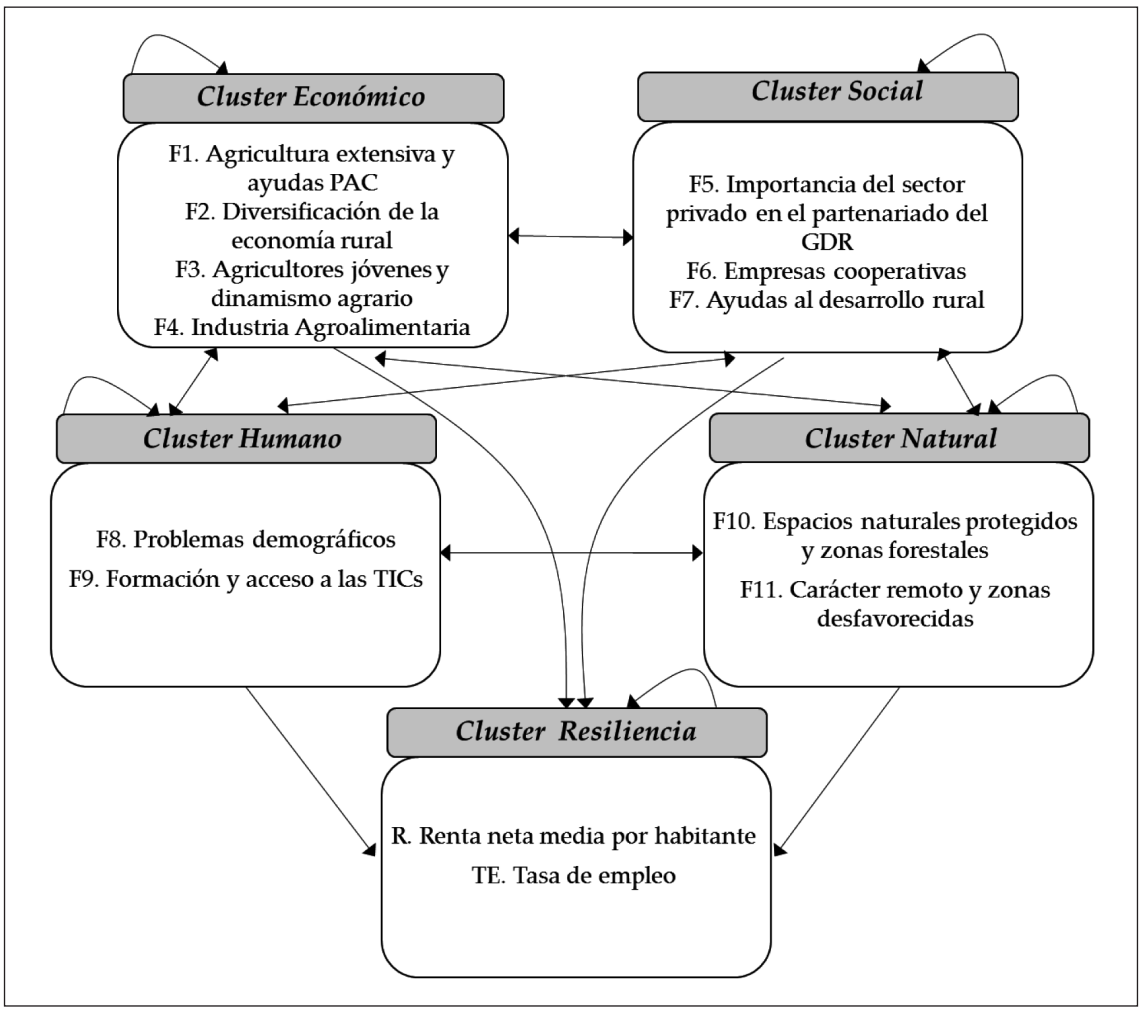


Figura 1. Esquema de la estructura en red aplicada al estudio de caso.
Figure 1. Scheme of network structure applied to the case study.

obtuvo una matriz no ponderada (19 en total). Cada una de estas matrices no ponderadas se multiplicó por la matriz de ponderación o prioridad entre los *clusters*[4] para obtener las correspondientes súper matrices ponderadas para cada experto. Una vez obtenidas las súper matrices ponderadas, éstas se llevaron al límite para obtener las súper matrices límite. Todos estos pasos se realizaron utilizando el programa Super Decisions ver-

4. La matriz de ponderación de clusters se obtuvo como resultado del consenso de los expertos. El proceso para la elaboración de dicha matriz fue el siguiente: los expertos entrevistados contestaron a las comparaciones pareadas entre clusters (por ejemplo, "¿qué influye más sobre el cluster Económico, el cluster Social o el cluster Humano?"), y sus respuestas fueron posteriormente agregadas empleando la media geométrica.

sión 2.2.6, desarrollado expresamente para la aplicación de ANP (Saaty, 2003). Así, se obtuvieron los resultados para cada una de las 19 entrevistas. Es importante señalar aquí que en cada una de estas entrevistas, las respuestas de los expertos fueron revisadas automáticamente por el programa para evitar la existencia de inconsistencias, de forma que el cálculo del modelo fuera totalmente correcto (ratio de inconsistencia menor de 0,1).

5) *Agregación de los resultados.* Para obtener unos pesos representativos del conjunto de los encuestados, existen distintos métodos de agregación de los resultados obtenidos. Forman y Peniwati (1998) analizan dos de los métodos que han demostrado ser más útiles para la agregación necesaria cuando se toman decisiones en grupo con el AHP y el ANP: la agregación de juicios individuales (AIJ) y la agregación de pesos, o prioridades individuales (AIP). Los mencionados autores recomiendan el primero de los métodos para aquellos casos en que se pueda asumir que el grupo actúa como una unidad, mientras que señalan como más apropiado el segundo en los casos en que el grupo se considera constituido por individuos separados (cuando los expertos que componen el panel expresan sus opiniones a título individual). Debido a la heterogeneidad de los informantes cualificados, tanto en su ámbito laboral en el caso de los expertos locales, como en la disciplina en la que son especialistas en el caso de los expertos investigadores, y a la diferente visión que cada uno tiene, por tanto, de la influencia que los factores territoriales ejercen sobre la resiliencia, en esta investigación se ha escogido como método la agregación de ponderaciones individuales (AIP).

Otra cuestión clave en la aplicación de ANP, es el método de agregación de los juicios o ponderaciones individuales. De esta forma, y siguiendo de nuevo el criterio de Forman y Peniwati (1998) o, más recientemente, el de Bernasconi *et al*. (2014), las prioridades se han agregado usando la media geométrica normalizada, dado que se considera el mismo peso para las prioridades obtenidas de cada experto (expertos con igual importancia). Según los citados trabajos, en la AIP el uso de la media aritmética o geométrica son válidos como método de agregación en aplicaciones de AHP/ANP. No obstante, en el trabajo de Bernasconi *et al*. (2014) se recomienda preferiblemente el uso de la media geométrica (normalizada) cuando la escala utilizada es de tipo ratio (como suele ser el caso en AHP/ANP), satisfaciendo directamente la homogeneidad de los datos agregados.

Resultados y discusión

De acuerdo con las respuestas derivadas de las encuestas realizadas a los expertos, en la Tabla 3 se resumen los resultados obtenidos en relación a la capacidad de influencia de los *clusters* y de los factores territoriales sobre la resiliencia.

A la luz de los resultados se puede comprobar que en lo que respecta a los *clusters*, el que mayor peso agregado presenta, con bastante diferencia en relación al resto, es el *cluster* relativo al capital económico, le sigue el *cluster* relativo al capital humano, el *cluster* relativo al capital social y, por último, el *cluster* relativo al capital natural.

Descendiendo al análisis de los factores, se puede observar (Figura 2) que los que más contribuyen a la resiliencia territorial son la *Formación y el acceso a las TICs* (factor 9), las *Ayudas al desarrollo rural* (factor 7), los *Agricultores jóvenes y dinamismo agrario* (factor 3) y la *Agricultura extensiva y ayudas PAC* (factor 1). Muy seguido a éstos, con una capacidad de influencia media, se encuentra el factor relativo a *Problemas demográficos* (factor 8), y con un poco menos de influencia aparecen los factores *Diversificación de la eco-*

Tabla 3. Capacidad de influencia de los factores territoriales sobre la resiliencia
(en% de la capacidad total de influencia)
Table 3. Influence capacity of territorial factors on resilience (in% of total capacity of influence)

Factores territoriales	Capacidad de influencia
CLUSTER ECONÓMICO	*42,6%*
F1. Agricultura extensiva y ayudas PAC	13,4%
F2. Diversificación de la economía rural	7,8%
F3. Agricultores jóvenes y dinamismo agrario	13,9%
F4. Industria Agroalimentaria	7,5%
CLUSTER SOCIAL	*19,1%*
F5. Importancia del sector privado en el partenariado del GDR	0,5%
F6. Cooperativismo	4,6%
F7. Ayudas al desarrollo rural	14,0%
CLUSTER HUMANO	*25,3%*
F8. Problemas demográficos	10,0%
F9. Formación y acceso a las TICs	15,2%
CLUSTER NATURAL	*13,1%*
F10. Espacios naturales protegidos y zonas forestales	5,7%
F11. Carácter remoto y zonas desfavorecidas	7,4%

nomía rural (factor 2), *Industria agroalimentaria* (factor 4) y *Carácter remoto y zonas desfavorecidas* (factor 11). Finalmente, los factores con menor capacidad de influencia son los que hacen referencia a los *Espacios naturales protegidos y zonas forestales* (factor 10), *Cooperativismo* (factor 6) y, con una influencia casi despreciable, la *Importancia del sector privado en el partenariado del GDR* (factor 5).

En opinión de los expertos, el factor *Formación y acceso a las TICs* es uno de los factores con mayor capacidad de influencia sobre la renta por habitante y la tasa de empleo, las dos variables resultado medidoras de la resiliencia. Este resultado se encuentra totalmente en consonancia con la literatura especializada, donde se señala al nivel de formación de la población como uno de los principales factores involucrado en los procesos de desarrollo económico (Bryden y Hart, 2001; Agarwal *et al*., 2009) y de resiliencia territorial (Chapple y Lester, 2010; Christopherson *et al*., 2010; Sánchez-Zamora *et al*., 2014b).

En el caso de las *Ayudas al desarrollo rural*, el hecho de que haya resultado como uno de los factores más importantes se debe fundamentalmente a que es el que influye en un mayor número de factores. Los expertos entrevistados sostienen generalmente que las ayudas al desarrollo rural contribuyen a la mejora de la calidad de vida de las zonas rurales, apoyando las rentas y favoreciendo el empleo.

Con respecto al factor *Agricultores jóvenes y dinamismo agrario*, existe un consenso gene-

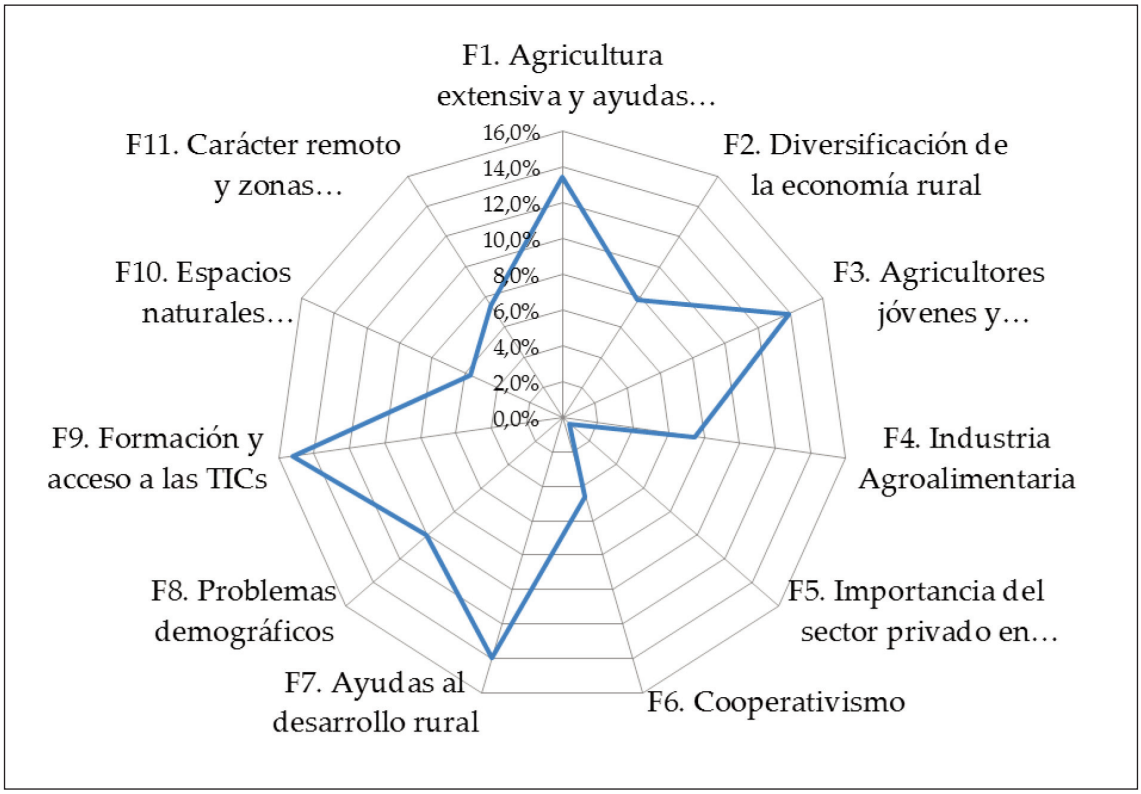


Figura 2. Capacidad de influencia de los factores territoriales sobre la resiliencia (en% de la capacidad total de influencia).
Figure 2. Influence capacity of territorial factors on resilience (in% of total capacity of influence).

ralizado entre los expertos consultados acerca de la influencia de este factor sobre la resiliencia, fundamentalmente por el papel que éste desempeña para asegurar la renovación y continuidad generacional de la actividad agraria. Otra de las cuestiones que los expertos resaltan, en consonancia con la literatura especializada, es que los titulares jóvenes de explotaciones agrarias muestran una mejor capacidad de adaptación a los cambios, presentan una menor probabilidad de abandono de la actividad y son más sensibles a la innovación e incorporación de nuevas tecnologías (Gómez-Limón y Arriaza, 2011; Sánchez-Zamora *et al*., 2014a). El carácter innovador de un territorio se encuentra estrechamente relacionado con la resiliencia que éste puede desarrollar (Chapple y Lester, 2010).

El cuarto factor con mayor capacidad de influencia, *Agricultura extensiva y ayudas PAC*, influye en un elevado número de factores y, en opinión de los expertos, tiene una relación directa con la renta de los agricultores a partir de las subvenciones agrarias provenientes de la PAC, y con el aumento de empleo en el sector agrario como consecuencia de la pérdida de mano de obra en otros sectores que se encuentran más afectados por la crisis económica.

Como se comentó anteriormente, existe otro grupo de factores que tienen influencia sobre la resiliencia territorial, aunque en menor

medida que los cuatro que han sido descritos anteriormente. Dentro de este grupo de factores se encuentran, los *Problemas demográficos* y el *Carácter remoto y zonas desfavorecidas*. La opinión más o menos generalizada de los expertos a este respecto es, que si bien se trata de factores importantes a considerar en los análisis de desarrollo y resiliencia de los territorios, tal y como lo demuestra la extensa bibliografía existente que aborda esta problemática intrínseca de las áreas rurales, en el ámbito geográfico de esta investigación estos factores no son tan determinantes como los descritos anteriormente. En comparación con otros territorios rurales nacionales o europeos, las comarcas analizadas en esta investigación no presentan problemas tan graves de despoblamiento y envejecimiento, ni se encuentran tan aisladas y alejadas de los focos de actividad de las cabeceras comarcales y capitales provinciales. Los otros dos factores con capacidad de influencia media son la *Diversificación de la economía rural* y la *Industria agroalimentaria*. Se trata de dos factores sin mucha relevancia en el territorio y que no han sido asociados, con la resiliencia territorial. Aunque el factor referente a la diversificación se repite comúnmente en la bibliografía como uno de los factores que más favorece al impulso de procesos resilientes (Meert *et al*., 2005; Barbieri y Mahoney, 2009), su contribución depende en gran medida del contexto y las condiciones en las que éste sea analizado (Martin, 2012; Darnhofer, 2014).

Finalmente, en cuanto al último grupo de factores, en opinión de los expertos el factor *Cooperativismo* es uno de los que más influye sobre la renta por habitante y la tasa de empleo (estas cuestiones pueden identificarse revisando la matriz no ponderada una vez que todos los juicios de los expertos han sido agregados). No obstante, el peso de este factor es bajo debido no tanto a la relevancia e influencia que ejerce sobre otros factores, sino por la ausencia de elementos o componentes asociados a él. Algo similar es lo que le ocurre al factor *Importancia del sector privado en el partenariado del GDR,* en el que su baja capacidad de influencia reside fundamentalmente en la mínima relación que guarda con el resto de factores incluidos en la red. Esta falta de relación estriba, según algunos expertos, en que más que analizar de forma individual el carácter público o privado del partenariado del GDR, sería más conveniente examinar ambos sectores de forma integrada para estudiar así las sinergias positivas que se pueden generar en sus relaciones de cooperación contribuyendo de esta forma al desarrollo y a la resiliencia de los territorios rurales.

Por otra parte, de forma complementaria a este análisis, resulta interesante explorar las diferencias y similitudes que pueden existir en las respuestas proporcionadas por los dos grupos de expertos que han sido entrevistados. De esta forma se puede analizar qué tan convergentes son los criterios de los investigadores (con una mayor componente teórica en sus decisiones) y los juicios de los expertos locales (con valoraciones de carácter eminentemente más práctico) acerca de la influencia que ejercen los factores territoriales sobre la resiliencia.

Como se puede observar en la Figura 3, las valoraciones medias realizadas por parte de los dos grupos de expertos son prácticamente similares. Las mínimas diferencias existentes se han encontrado en los pesos otorgados al factor *Diversificación de la economía rural*, al que los investigadores le dan una importancia menor (6,9%) que los expertos locales (9,1%), y en los pesos del factor *Carácter remoto y zonas desfavorecidas*, al que los investigadores le otorgan una capacidad de influencia sobre la resiliencia ligeramente mayor (8,4%) que la que le proporcionan los expertos locales (6,2%). Los resultados de este análisis muestran la sintonía existente entre las valoraciones de los dos grupos de exper-

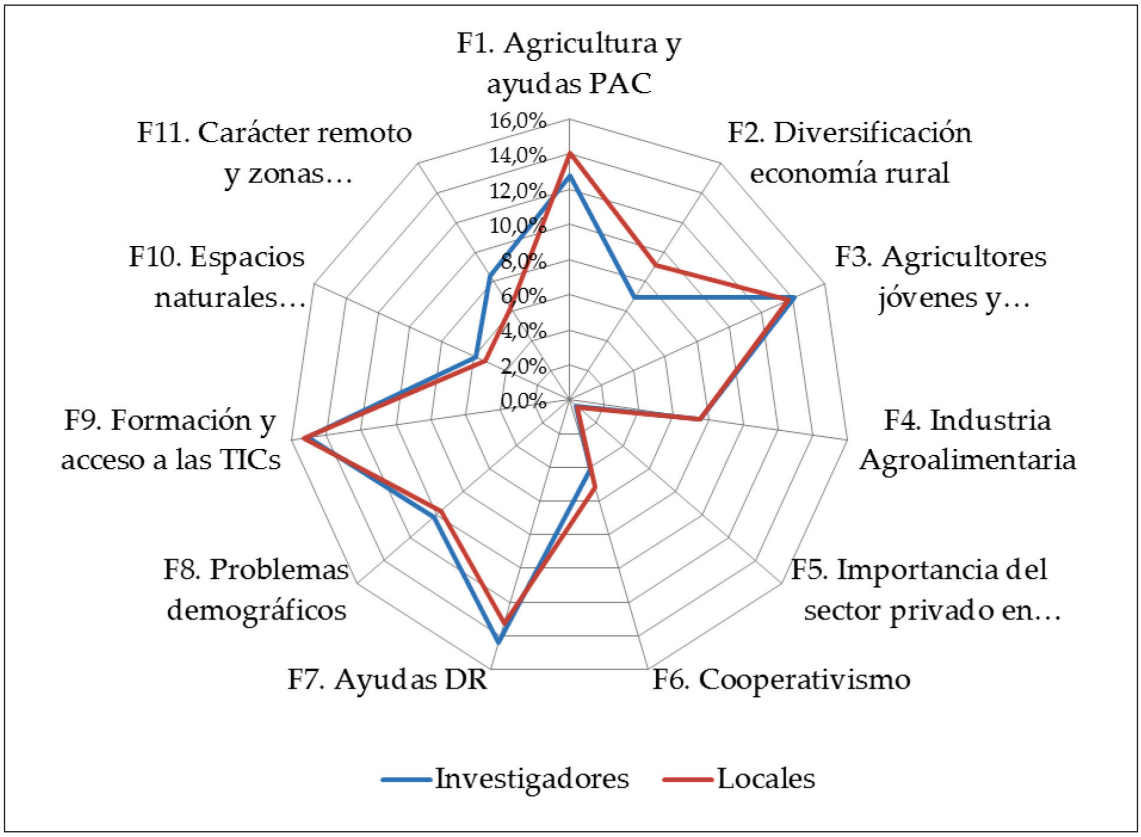


Figura 3. Capacidad de influencia de los factores territoriales por grupo de expertos.
Figure 3. Influence capacity of territorial factors by expert group.

tos. El hecho de que exista este consenso y homogeneidad en los juicios proporcionados por ambos grupos, pone de manifiesto la armonía existente entre la visión de la academia y la de los expertos locales, y confiere mayor robustez a los resultados obtenidos.

Conclusiones

El variado uso que ha sufrido el concepto de resiliencia y la adaptación del término a investigaciones del ámbito de diversas disciplinas científicas, ha resultado en una proliferación de definiciones. Esta falta de consenso generalizado sobre su significado, pone de manifiesto la dificultad que entraña la adopción del marco conceptual de la resiliencia para su aplicación en el análisis del territorio y los factores asociados a sus procesos de cambio, y advierte de la necesidad de seguir avanzando en la conceptualización del término desde una perspectiva territorial y dinámica.

Del mismo modo, la aproximación metodológica al análisis de los factores de resiliencia territorial constituye un reto, entre otras cuestiones debido a las escasas aportaciones empíricas existentes de este tipo de investigaciones. Los estudios sobre resiliencia realizados en el ámbito de los sistemas socio-eco-

lógicos y los llevados a cabo en estudios de economía regional son, sin lugar a dudas, un importante referente metodológico, pero su diseño inicial exige un esfuerzo de aplicación al ámbito de investigaciones con una perspectiva espacial y territorial.

A pesar de estas dificultades, en esta investigación se ha tratado de avanzar en la conceptualización de la resiliencia territorial y se ha realizado una propuesta metodológica para tratar de abordar empíricamente el análisis de los factores territoriales asociados a este fenómeno. Dicha propuesta, basada principalmente en la aplicación del método ANP, permite la extracción de una serie de conclusiones:

1) La metodología propuesta presenta una visión integrada de los procesos de cambio que tienen lugar en los territorios rurales, teniendo en cuenta las dimensiones económica, social, humana y natural. No se ha pretendido realizar un análisis exhaustivo en cada una de estas dimensiones, ya que para ello existen otras técnicas metodológicas específicas. Éstas se han tratado de incorporar de una forma global para lograr entender la resiliencia territorial, y los factores vinculados a ella, en su conjunto.

2) Se basa en un enfoque territorial, en la medida que la metodología se adapta de forma específica a cada territorio y considera como unidad de análisis las comarcas rurales, unidades básicas de gestión sobre las que inciden las políticas rurales.

3) Aunque los resultados obtenidos en esta investigación no son generalizables más allá del ámbito andaluz, la metodología propuesta puede ser extrapolable para el análisis de otros territorios rurales.

4) La flexibilidad del modelo en red de ANP posibilita la representación de cualquier problema de decisión sin la preocupación de decidir qué criterio va primero y cuál va después, como sucede en la jerarquía de AHP, lo que permite mayor creatividad al decisor y se traduce en representaciones del problema más realistas y naturales.

5) Finalmente, también cabe destacar el interés que supone el desarrollo de futuros modelos en los que sean consideradas diferentes reagrupaciones de los criterios en nuevos clusters. Esto permitiría contrastar los resultados obtenidos con los ofrecidos en la presente investigación, y observar así el grado de dependencia o independencia que se establece entre diferentes tipos de clusters.

No obstante, tal y como ya ha sido señalado, la propuesta metodológica implementada en esta investigación se enmarca en dos de las cuatro fases de la resiliencia territorial. La tercera y cuarta fase hacen alusión a la capacidad del territorio para la recuperación, el aprendizaje y la adaptación en el largo plazo. En la actualidad, aún nos encontramos inmersos en plena crisis económica, y resulta complicado medir la capacidad de adaptación y aprendizaje de los territorios en el largo plazo. Por lo tanto, se requiere de investigaciones futuras (una vez pasada la crisis, o por lo menos cuando haya transcurrido un período más largo de tiempo) que validen y mejoren los resultados aquí obtenidos.

En cualquier caso, los resultados del análisis, sí nos permiten entrever algunos elementos clave que entran en juego en los procesos de desarrollo y de resiliencia territorial. En este sentido, se puede concluir que los elevados niveles de formación de la población y la facilidad para el acceso y uso de las TICs, la capacidad institucional y la gobernanza –reflejada en una apropiada gestión de las ayudas al desarrollo rural y un adecuado equilibrio entre el partenariado público-privado del GDR–, la presencia de agricultores jóvenes –con su importante papel en la renovación y continuidad generacional, en la dinamización del territorio, su mayor capacidad de adaptación a los cambios, y su mayor sensibilidad a la in-

novación e incorporación de nuevas tecnologías– y el apoyo público a la agricultura a través de la PAC, son factores que, según el criterio de los expertos encuestados, han determinado el impulso de dinámicas territoriales resilientes en el ámbito rural de Andalucía.

Estos resultados ponen de manifiesto una serie de consideraciones a tener en cuenta por su implicación para el diseño de políticas públicas con incidencia en los territorios rurales:

1) En un momento como el actual, las políticas deberían incorporar propuestas instrumentales que permitiesen el impulso y la activación de los factores que, en un contexto de crisis económica, permitan responder mejor a los problemas presentes en las áreas rurales.

2) Los resultados obtenidos apuntan que una PAC que sea capaz de atraer a agricultores jóvenes y promover un sector agrícola competitivo, dinámico e innovador generará dinámicas territoriales resilientes. Esto pone de manifiesto la importancia de la dimensión territorial de la PAC, y su papel en los procesos de desarrollo de los espacios rurales. El apoyo público a la agricultura ha permitido mejorar su capacidad para generar riqueza y fijar población a través del impulso de otras actividades económicas relacionadas estrechamente con la industria agroalimentaria, el turismo o el comercio.

3) Los resultados muestran que el desarrollo de los territorios rurales depende de factores (tales como la *Formación y el acceso a las TICs, las Ayudas al desarrollo rural, los Agricultores jóvenes y dinamismo agrario, y la Agricultura extensiva y ayudas PAC*) que se encuentran vinculados al ámbito de actuación de diferentes políticas públicas (rural, agraria, de cohesión, etc.). Efectivamente, el desarrollo de los territorios rurales no solo se impulsa con las políticas de desarrollo que se han llevado a cabo hasta el momento, sino que existen factores que superan el ámbito de actuación de las políticas de desarrollo rural, y que resultan determinantes en estos procesos.

Finalmente, esta última conclusión nos permite realizar un par de sugerencias:

1) Por una parte, el hecho de que deban confluir estas diferentes políticas públicas para resolver los problemas que hoy presentan las áreas rurales, pone de manifiesto la necesidad de coordinación y complementariedad en las actuaciones de los cinco fondos del Marco Estratégico Común y financiadores de dichas políticas: el Fondo Europeo de Desarrollo Regional, el Fondo Social Europeo, el Fondo de Cohesión, el Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural y el Fondo Europeo Marítimo y de Pesca. Además de la citada coordinación y complementariedad, se evidencia la necesidad de una simplificación en la ejecución y el establecimiento de programaciones integradas.

2) Por otra parte, en el contexto de la nueva PAC para el periodo 2014-2020, en esta inevitable confluencia de políticas y fondos, se hace necesaria una clarificación de las relaciones entre sus dos pilares y una mejor coordinación entre ambos que permita aprovechar las sinergias existentes entre los distintos instrumentos de esta Política, para abordar conjuntamente los tres retos perseguidos: Alimentación, Medio Ambiente y Equilibrio territorial.

Agradecimientos

Los autores agradecen los valiosos comentarios realizados por los revisores anónimos de la revista. Este trabajo ha sido financiado por el proyecto AGR-7908 de la Consejería de Economía, Innovación y Ciencia de la Junta de Andalucía.

Bibliografía

Agarwal S, Rahman S, Errington E (2009). Measuring the determinants of relative economic performance of rural areas. Journal of Rural Studies 25(3): 309-321.

Barbieri C, Mahoney E (2009). Why is diversification an attractive farm adjustment strategy? Insights from Texas farmers and ranchers. Journal of Rural Studies 25: 58-66.

Baviera-Puig A, García-Martínez G, Gómez-Navarro T (2014). Propuesta metodológica mediante ANP para la evaluación de las memorias de sostenibilidad del sector agroalimentario español. Economía Agraria y Recursos Naturales 14(1): 81-101.

Berkes F, Ross H. (2013). Community resilience: Toward and integrated approach. Society and Natural Resource, 26: 5-20.

Bernasconi M, Choirat C, Seri R (2014). Empirical properties of group preference aggregation methods employed in AHP. European Journal of Operational Research 232 (2): 584-592.

Bryden JM, Hart KJ (2001). Dynamics of Rural Areas: International Comparative Analysis. The Arkleton Centre for Rural Development Research, University of Aberdeen, Aberdeen, Reino Unido.

Carmona-Torres C, Parra-López C, Sayadi S, Hinojosa-Rodríguez A (2011). Multifunctional impacts of the olive farming practices in Andalusia, Spain: An analytic network approach. EAAE 2011 Congress, 30 de Agosto - 2 de septiembre, Zurich, Suiza.

Chapple K, Lester T (2010). The resilient regional labour market? The US case. Cambridge Journal of Regions, Economy and Society 3(1): 85-104.

Cheshire L, Esparcia J, Shucksmith M (2015). Community resilience, social capital and territorial governance. Ager Revista de Estudios sobre Despoblación y Desarrollo Rural 18: 7-38.

Christopherson S, Michie J, Tyler P (2010). Regional resilience: theoretical and empirical perspectives. Cambridge Journal of Regions, Economy and Society 3(1): 3-10.

Darnhofer I (2014). Resilience and why it matters for farm management. European Review of Agricultural Economics 41(3): 461-484.

Davies S (2011). Regional resilience in the 2008-2010 downturn: Comparative evidence from European countries. Cambridge Journal of Regions, Economy and Society 4(3): 369-382.

EC (2008). Green Paper on Territorial Cohesion. Turning territorial diversity into strength. COM (2008) 616 final. European Commission. Bruselas, Bélgica.

EC (2010a). Standard of living and economic growth in rural areas and their main determinants by type of regions. European Commission. Bruselas, Bélgica.

EC (2010b). Study on employment, growth and innovation in rural areas (SEGIRA). European Commission. Bruselas, Bélgica.

EC (2013). Eighth progress report on economic, social and territorial cohesion: The urban and regional dimension of the crisis. COM(2013) 463 final. European Commission. Bruselas, Bélgica.

EC (2014). Sixth report on economic, social and territorial cohesion: Investment for jobs and growth. Promoting development and good governance in EU regions and cities. European Commission. Bruselas, Bélgica.

FAO, UNICEF, WFP (2012). A Joint Strategy on Resilience for Somalia, Brief, July 2012.

Forman E, Peniwati K (1998). Aggregating individual judgments and priorities with the Analytic Hierarchy Process. European Journal of Operational Research 108: 165-169.

García-Melón M, Ferrís-Oñate J, Aznar-Bellver J, Aragonés-Beltrán P, Poveda-Bautista R (2008). Farmland appraisal based on the analytic network process. Journal of Global Optimization 42: 143-155.

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

Hamdouch A, Depret M, Tanguy C (Eds.) (2012). Mondialisation et résilience des territoires: Tra-

jectoires, dynamiques d'acteurs et expériences locales. Presses de l'Université du Québec, Québec, Canada.

Hassink R (2010). Regional resilience: A promising concept to explain differences in regional economic adaptability? Cambridge Journal of Regions, Economy and Society 3(1): 45-58.

Hill EW, St. Clair T, Wial H, Wolman H, Atkins P, Blumenthal P, Ficenec S, Friedhoff A (2011). Economic shocks and regional economic resilience. MacArthur Foundation Research Network on Building Resilient Regions, working Paper 2011-03. Institute for Urban and Regional Development, University of California, Berkeley, EE. UU.

Holling CS (1973). Resilience and stability of ecological systems. Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics 4: 1-23.

Klein R, Nicholls R, Thomalla F (2003). Resilience to natural hazards: How useful is this concept? Environmental Hazards 5: 35-45.

Martin R (2012). Regional economic resilience, hysteresis and recessionary shocks. Journal of Economic Geography 12(1): 1-32.

Martin R, Sunley, PJ (2007). Complexity thinking and evolutionary economic geography. Journal of Economic Geography 7: 16-45.

McManus P, Walmsley J, Bourke L, Argent N, Baum S, Martin J, Pritchard B, Sorensen A (2012). Rural Community and Rural Resilience: What is important to farmers in keeping their country towns alive? Journal of Rural Studies 28(1): 20-29.

Meert H, van Huylenbroeck G, Vernimmen T, Bourgeois M, van Hecke E (2005). Farm household survival strategies and diversification on marginal farms. Journal of Rural Studies 21: 81-97.

Moyano E (Coord.) (2009). Del desarrollo rural al desarrollo territorial. Reflexiones a partir de la experiencia española. Foro IESA sobre la Cohesión de los Territorios Rurales, Córdoba, España.

Nekhay O, Arriaza M, Boerboom L (2009). Evaluation of soil erosion risk using Analytic Network Process and GIS: a case study from Spanish mountain olive plantations. Journal of Environmental Management 90(10): 3091-3104.

Nkhata AB, Breen CM, Freimund WA (2008). Resilient social relationships and collaboration in the management of social-ecological systems. Ecology and Society 13(1): 2. Disponible en http://www.ecologyandsociety.org/vol13/iss1/art2/ (1 abril 2015).

Parra-López C, Groot JCJ, Carmona-Torres C, Rossing WAH (2008). Integrating public demands into model-based design for multifunctional agriculture: An application to intensive Dutch dairy landscapes. Ecological Economics 67: 538-551.

Pendall R, Foster K, Cowell M (2010). Resilience and regions: Building understanding of the metaphor. Cambridge Journal of Regions, Economy and Society 3(1): 71-84.

Pérez y Pérez L, Egea P, Sanz-Cañada J (2013). Valoración de externalidades territoriales en denominaciones de origen de aceite de oliva mediante técnicas de proceso analítico de red. Información Técnica Económica Agraria (ITEA) 109(2): 239-262.

Pike A, Dawley S, Tomaney J (2010). Resilience, adaptation and adaptability. Cambridge Journal of Regions, Economy and Society 3(1): 59-70.

Plummer R, Armitage D (2007). A resilience-based framework for evaluating adaptive co-management: Linking ecology, economics and society in a complex world. Ecological Economics 61(1): 62-74.

Reghezza-Zitt M, Rufat S, Djament-Tran G, Le Blanc A, Lhomme S (2012). What resilience is not: uses and abuses. Cybergeo: European Journal of Geography 621. Disponible en http://cybergeo.revues.org/25554 (19 abril 2015).

Reig E, Aznar J, Estruch V (2010). A comparative study of the sustainability of rice cultivation technologies using the analytic network process. Spanish Journal of Agricultural Research 8(2): 273-284.

Romano D, d'Errico M (2015). La resilienza all'insicurezza alimentare. Agriregionieuropa 11(40): 12-18.

Saaty RW (2003). Decision making in complex environments. The Analytic Hierarchy Process (AHP) for decision making and the Analytic Net-

work Process (ANP) for decision making with dependence and feedback. Super Decisions, Creative Decisions Foundation, Pittsburgh, EE.UU.

Saaty TL (2001). The analytic network process: decision making with dependence and feedback. RWS Publications, Pittsburgh, EE.UU.

Saaty TL (2005). Theory and Applications of the Analytic Network Process. RWS Publications, Pittsburgh, EE.UU.

Saaty TL, Takizawa M (1986). Dependence and independence from linear hierarchy to nonlinear network. European Journal of Operational Research 26: 228-237.

Sánchez-Zamora P, Gallardo-Cobos R, Ceña-Delgado F (2014a). Rural areas face the economic crisis: Analyzing the determinants of successful territorial dynamics. Journal of Rural Studies, 35(3): 11-25.

Sánchez-Zamora P, Gallardo-Cobos R, Ceña-Delgado F (2014b). El medio rural andaluz frente a la crisis económica: un análisis de los factores de resiliencia territorial. Economía Agraria y Recursos Naturales 14(1): 27-56.

Schouten MAH, van der Heide CM, Heijman WJM, Opdam PFM (2012). A resilience based policy evaluation framework: Application to European rural development policies. Ecological Economics 81: 165-175.

Simmie J, Martin R (2010). The economic resilience of regions: Towards an evolutionary approach. Cambridge Journal of Regions, Economy and Society 3(1): 27-43.

Sipahi S, Timor M (2010). The Analytic Hierarchy Process and Analytic Network Process: An overview of applications. Management Decision 48: 775-808.

Skerratt S (2013). Enhancing the analysis of rural community resilience: evidence from community land ownership. Journal of Rural Studies 31: 36-46.

Stayner R (2005). The changing economics of rural communities. En: Sustainability and Change in Rural Australia (Eds. Cocklin C, Dibdin J), pp. 121-138. University of New South Wales Press, Sydney, Australia.

Villanueva AJ, Gómez-Limón JA, Arriaza M (2014). Influencia de los factores de gestión en la producción de bienes públicos en el olivar de regadío. Revista Española de Estudios Agrosociales y Pesqueros 237: 77-115.

Walker B, Holling CS, Carpenter SR, Kinzig A (2004). Resilience, adaptability and transformability in social–ecological systems. Ecology and Society 9(2): 5. Disponible en: http://www.ecologyandsociety.org/vol9/iss2/art5/ (14 abril 2015).

Wilson G (2010). Multifunctional 'quality' and rural community resilience. Transactions of the Institute of British Geographers 35(3): 364-381.

(Aceptado para publicación el 13 de abril de 2016)

Impacto de la tarifación del agua de riego en el Bajo Guadalquivir

N.M. Montilla-López*, C. Gutiérrez-Martín y J.A. Gómez-Limón

Departamento de Economía, Sociología y Política Agrarias. Universidad de Córdoba. Carretera Nacional IV, km 396. Campus Universitario de Rabanales. 14014 Córdoba, España

Resumen

Este trabajo se centra en el análisis del efecto de la tarifación sobre la demanda de agua en sistemas de regadío intensivos, así como los impactos tanto económicos como sociales que tendría su aplicación tras la reforma de la Política Agraria Común recientemente aprobada. La zona regable considerada como caso de estudio ha sido la Comunidad de Regantes del Sector BXII del Bajo Guadalquivir. La unidad de análisis ha sido la explotación agraria, distinguiéndose tres explotaciones tipo características de la zona de estudio. Para cada una de estas explotaciones tipo se han construido tres modelos de simulación, basados en tres métodos de programación matemática diferenciados. Con ellos se ha podido simular de forma más robusta la toma de decisiones de los regantes. A partir de tales simulaciones se han podido cuantificar los previsibles impactos de este instrumento sobre el consumo de agua, las rentas agrarias, la recaudación pública, la generación de empleo y el bienestar social asociado al uso agrario del agua. Los resultados obtenidos para las diferentes metodologías aplicadas han resultado ser muy similares. El análisis de las curvas de demanda muestra un primer tramo inelástico hasta precios elevados (0,3 €/m^3), seguidos de tramos elásticos donde los regantes realizarían cambios significativos en sus planes de cultivo. En cuanto al análisis de impactos socioeconómicos de la tarifación, los resultados muestran que en ambos tramos se producen pérdidas de renta agraria. Sin embargo, en el tramo elástico estas pérdidas de renta son superiores a la recaudación por tarifación, lo que provoca importantes pérdidas de eficiencia económica y de empleo generado.

Palabras clave: Regadío, instrumentos económicos, demanda de agua, programación matemática, impacto socioeconómico.

Abstract
Impact of irrigation water pricing in the Bajo Guadalquivir

This paper focuses on the analysis of the effect of water pricing on water demand in intensive irrigation systems, as well as both economic and social impacts that would have applied after the reform of the recently approved Common Agricultural Policy. The irrigation area considered as a case study has been the water user association of Sector BXII of Bajo Guadalquivir. The unit of analysis was the farm, distinguishing there different type of characteristic farms of the study area. Three simulation models have been built for each of these farm types, based on three different mathematical programming methods. With these methods, it was possible to simulate the farmers' decision making in a more robust manner. These simulations have allowed to quantify the expected impact of this instrument on water consumption, farm income, government revenue, employment generation and social welfare associated with agricultural water use. The results obtained from the different methods have been very similar. The analysis of the

* Autor para correspondencia: g02molon@uco.es

http://doi.org/10.12706/itea.2017.006

demand curves shows an inelastic segment up to high water prices (€ 0.3/m^3), followed by an elastic segment where farmers would carry out significant changes to their cropping patterns. Regarding the analysis of socioeconomic impacts of water pricing, the results show a significant loss in agricultural incomes in both segments. However, it is worth mentioning that only in the elastic segment these losses are higher than gains in public revenues, thus generating losses in economic efficiency and generated employment.

Key words: Irrigation, economic instrument, water demand, mathematical programming, socio-economic impact.

Introducción

La escasez estructural de recursos hídricos y su variabilidad espacial y temporal se han convertido actualmente en uno de los principales problemas al que debe enfrentarse la agricultura española. Además, esta problemática situación es probable que empeore en un futuro próximo como consecuencia de la gran vulnerabilidad de España al impacto del cambio climático. Dada la demanda creciente del recurso y la dificultad (elevado coste) de disponer de nuevos recursos, se ha hecho necesario un cambio en la forma de gestión de los recursos hídricos, pasando del tradicional enfoque de "políticas de oferta" a un enfoque de "políticas de demanda", orientadas a la mejora de la eficiencia en el uso del agua y la compatibilidad de su uso por parte de las actividades económicas y la sostenibilidad ambiental (Calatrava *et al.*, 2015).

En este contexto no debe obviarse, sin embargo, que la puesta en riego ha sido una de las estrategias más efectivas de desarrollo rural implementadas durante el último siglo. Efectivamente, la transformación en regadío ha supuesto una mejora generalizada de la rentabilidad del sector agrario, principalmente por el incremento y estabilización de las producciones y, por tanto, de las rentas agrarias. Igualmente, el incremento del rendimiento de los cultivos, así como la posibilidad de desarrollar otros cultivos inviables en condiciones de secano, hace que la agricultura de regadío pueda contribuir de manera más eficiente al bienestar del conjunto de la sociedad, aumentando la cantidad de alimentos y su variedad, así como generando un impacto social positivo en el medio rural donde se localiza, contribuyendo a la fijación de población en el territorio y la viabilidad de las comunidades rurales.

A pesar de las ventajas del regadío antes comentadas, también es cierto que este tipo de agricultura es la actividad con mayor consumo de recursos hídricos. Un ejemplo de ello puede encontrarse en las cuencas del sur de Europa, donde el desarrollo de un importante sector de regadío ha provocado el "cierre" de las mismas. La cuenca del Guadalquivir puede considerarse un caso paradigmático de este proceso, donde se estima que en el año 2015 el uso agrario representa aproximadamente el 88% del total del agua, frente al 10% del uso urbano.

En este sentido, el Parlamento Europeo y el Consejo Europeo de Ministros aprobaron la Directiva Marco del Agua (DMA) en el año 2000, principal norma del marco comunitario de actuación en política de aguas. Esta Directiva exige a los Estados miembros realizar análisis económicos del uso del agua, aplicar el principio de recuperación de los costes de los servicios relacionados con el agua, así como el cumplimiento de objetivos medioambientales, con el fin de alcanzar el buen estado de las masas de agua, cumpliendo el principio de "quien contamina paga". Con ello se trata de conseguir una gestión sostenible de los recursos hídricos y hacer frente a la creciente

presión en la demanda de agua de buena calidad, poniendo mayor énfasis en las medidas de control de la contaminación.

La introducción de tarifas o precios que reflejen el verdadero coste del recurso es una de las principales innovaciones de la DMA. Así, esta directiva propone disminuir el consumo de agua de riego mediante la aplicación de la tarifación como principal instrumento económico incentivador de su uso racional, evitando el deterioro cuantitativo y cualitativo de las masas de agua. Así pues, la tarifación se constituye en el seno de UE como el principal instrumento de las políticas de demanda antes comentadas, el cual será reforzado con otras medidas igualmente encaminadas a asegurar la asignación eficiente del agua dentro del sector agrario, tales como la modernización del regadío o los mercados de agua (Dinar, 2000).

Dada la notoriedad alcanzada por la tarifación del agua tras la aprobación de la DMA, la comunidad científica ha abordado el tema extensamente, tratando de analizar por anticipado los previsibles impactos (análisis *ex-ante*) de la implementación de este instrumento económico en la agricultura de regadío. En la mayoría de las ocasiones estos trabajos empíricos se han basado en modelos de programación matemática (PM), como la técnica que permite una mejor aproximación a la simulación de políticas en el ámbito agrario. Así, en el ámbito internacional podemos encontrar trabajos como los de Wheeler *et al*. (2008), Medellín-Azuara *et al.* (2012) o Grafton *et al.* (2015). De especial interés es el trabajo de Dinar *et al.* (2015), donde recogen las experiencias de tarifación empleadas en varios países del mundo, documentando los últimos 10-15 años de experiencias de fijación de precios e innovaciones en tarifación tales como la aplicación de reformas políticas, la recuperación de costes y la eficiencia y equidad en el uso del agua.

En el ámbito español los trabajos en esta línea han sido igualmente numerosos, destacando entre ellos los de Varela-Ortega *et al.* (1998), Berbel y Gómez-Limón (2000), Mejías *et al.* (2004) e Iglesias y Blanco (2008). A pesar de ello, el análisis de los impactos de la tarifación requiere todavía de una mayor evidencia empírica, especialmente sobre sistemas de regadío con cultivos de alto valor añadido. Asimismo, debe indicarse que la literatura existente se basa en modelos que simulan los efectos de la tarifación bajo antiguos escenarios de la Política Agraria Común (PAC), muy diferentes del aplicable en la actualidad. Este motivo justifica igualmente la necesidad de nuevos trabajos empíricos en esta línea, que reporten evidencias actualizadas al respecto.

Dentro de este contexto, este trabajo trata de cubrir estas lagunas de conocimiento arriba comentadas, analizando el efecto que tendría la tarifación del agua sobre la agricultura de regadío en sistemas de cultivos más intensivos, tomando como caso de estudio la Comunidad de Regantes (CR) del Sector BXII en el Bajo Guadalquivir. Además, este trabajo aborda una simulación que tiene en cuenta las novedades introducidas por la reforma de la PAC que han entrado en vigor en el año 2015, al objeto de evidenciar si tal cambio normativo tiene influencia sobre los impactos previsibles de la tarifación del agua de riego. Con este objetivo se han construido tres modelos de simulación, basados en tres métodos de programación matemática, los cuales han sido aplicados en tres "explotaciones tipo" características de la zona de estudio. De esta manera se ha tratado de simular la toma de decisiones de los regantes acerca de la adopción de planes de cultivo y técnicas de riego frente a la tarifación, y así poder analizar los impactos socioeconómicos de este instrumento económico.

Material y métodos

Descripción de la zona

La CR del Sector BXII del Bajo Guadalquivir es una zona regable de 14.643 ha situada en la margen izquierda del río Guadalquivir, cerca de su desembocadura en el océano Atlántico, repartida entre los municipios sevillanos de Lebrija y Las Cabezas de San Juan. Se trata de una zona anteriormente de marismas, improductiva para agricultura, que fue desecada y transformada en regadío por el Instituto Nacional de Reforma y Desarrollo Agrario (IRYDA) durante la década de los setenta del siglo pasado. A medida que se fue terminando la transformación (entre 1980 y 1990), estas nuevas tierras fueron divididas en parcelas perfectamente rectangulares de 12 ha y entregadas a 1.142 colonos. Este proceso de creación ha permitido que las explotaciones que componen la zona regable presenten una relativa homogeneidad, ya que comparten clima, edafología, técnicas de cultivo y tienen un tamaño igualmente similar. Asimismo, el proceso de colonización seguido ha hecho que el perfil sociodemográfico de los titulares sea igualmente homogéneo, presentando perfiles similares en cuanto a edad, formación y renta.

La zona regable cuenta con una concesión otorgada por la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir (CHG) de 6.700 m^3/ha anuales. El agua se extrae del propio cauce del río, siendo transportada hasta la zona regable a través del Canal del Bajo Guadalquivir. Una vez en la CR, el agua es distribuida entre las diferentes explotaciones mediante una red de tuberías presurizadas completamente modernizadas que permite un sistema de riego a la demanda. Los principales cultivos de la zona son algodón (44,5% del total de la superficie de la CR), maíz (12,9%), tomate (11,5%), remolacha (9,4%), trigo (8,7%), girasol (6,8%) y hortícolas como la zanahoria y la cebolla (6,3%). Estos cultivos son principalmente regados mediante aspersión (72% de la superficie de la CR), aunque también se emplean las técnicas de goteo (22%) y riego superficial (6%).

Actualmente la zona regable del Sector BXII está dividida en 569 explotaciones, con un tamaño medio de 25,7 ha. Los servicios prestados por la CR se tarifan de forma binómica. Durante la campaña 2013, el importe facturado a los comuneros consistió en una derrama por superficie de 294 €/ha (por el canon y la tarifa pagados a la CHG, los gastos de personal, los gastos generales y los gastos de mantenimiento), a la que se sumó un cargo en función del consumo de agua de 0,0023 €/m^3 (por el consumo de energía).

Los datos anteriores evidencian que se trata de una zona con alto grado de modernización tecnológica, así como como una producción altamente rentable. Como se ha comentado anteriormente, en la literatura apenas hay estudios sobre el impacto de la tarifación en zonas regables con estas características, circunstancia que justifica la elección de la CR del Sector BXII como zona de estudio para este trabajo empírico.

Captura de datos

El uso del agua en el regadío depende esencialmente de las decisiones que tomen los regantes, y más concretamente de las decisiones relativas al plan de cultivos (alternativas a sembrar y técnicas de riego a emplear). Esta circunstancia justifica que la unidad más adecuada para el análisis del impacto de la tarifación sea la explotación agraria, considerada como la unidad de gestión de la agricultura de regadío, donde el uso de agua está condicionado por la toma de decisiones de su titular.

La caracterización de las explotaciones de regadío del Sector BXII se ha realizado mediante una encuesta realizada específicamente para este estudio, gracias a la cual se

ha recabado información sobre los planes de cultivos, sistemas y dosis de riego, y otros aspectos relacionados con la gestión del agua. Para la realización de esta encuesta se ha extraído una muestra representativa de regantes de la zona de estudio, seleccionados mediante rutas aleatorias, respetando cuotas por estratos de tamaños. Aunque el tamaño muestral inicial se fijó en 60 individuos, tras las correspondientes entrevistas personales se ha podido contar con 59 cuestionarios válidos. El trabajo de campo correspondiente se realizó durante los meses de marzo y abril de 2014.

Asimismo, se ha realizado un estudio de la rentabilidad (ingresos y gastos) de los cultivos presentes en la zona regable. Para ello se ha partido de información tanto primaria como secundaria. Las fuentes primarias, basadas en entrevistas a técnicos y agricultores de la zona de estudio, han permitido configurar los itinerarios tecnológicos (prácticas de cultivo y dosis de insumos) de los diferentes cultivos, así como los costes unitarios de producción (precios pagados). Con toda esta información se ha podido calcular los ingresos, gastos e indicadores de rentabilidad de cada alternativa de cultivo para el año base (2013). Por otra parte, se han empleado datos secundarios (anuarios de estadística agraria del MAGRAMA y de la Junta de Andalucía, e información del Fondo Español de Garantía Agraria) para obtener las series históricas de rendimientos, precios y subvenciones, las cuales nos han permitido igualmente generar una serie histórica (2007-2013) de ingresos, gastos e indicadores de rentabilidad de los diferentes cultivos.

Los datos recogidos en la encuesta han puesto de manifiesto ciertas disparidades de planes de cultivos y técnicas de riego empleadas entre los regantes de la zona de estudio. Estas disparidades, común a la mayoría de sistemas agrarios de regadío, hace recomendable que el estudio empírico del uso del agua se base en los análisis individualizados de diferentes "explotaciones tipo", representativas de la diversidad de explotaciones existentes en la zona regable. Con el propósito de definir el número y características de estas explotaciones tipo, en este trabajo se ha empleado la técnica del análisis de grupos, de conglomerados o clúster, tal y como recomiendan Gómez-Limón y Riesgo (2004). La técnica de conglomerados se utiliza para agrupar objetos o individuos que se consideran similares entre sí a partir de un conjunto de variables que los caracterizan. En nuestro caso, los elementos a tipificar son las 59 explotaciones de la muestra, empleando para ello el plan de cultivos (porcentaje de superficie dedicada a cada cultivo) y las técnicas de riego utilizadas como variables tipificadoras. Dentro de las posibilidades que permite esta técnica, se ha optado en este caso por emplear el método de Ward como criterio de agregación y la distancia euclídea como medida de la distancia entre elementos de la muestra. De esta manera se han obtenido finalmente tres clases o clústeres, donde se agrupan la totalidad de las explotaciones muestreadas. A partir de esta tipología se ha podido caracterizar las explotaciones "tipo" resultantes mediante los valores medios para cada clase de las diferentes variables recogidas en las encuestas, tanto las relativas al plan de cultivos (variables tipificadoras) como otras relativas a aspectos estructurales de las mismas (tamaño y características sociodemográficas del titular: género, edad, formación, etc.).

En la Tabla 1 se resume los resultados del análisis clúster realizado, donde se indica el plan de cultivos de cada explotación tipo resultante (variables empleadas para la tipificación), así como el tamaño de las mismas, única variable estructural donde se han encontrado diferencias significativas entre clústeres.

Las características de cada una de las explotaciones tipo así definidas se resumen como sigue:

Tabla 1. Resultados del análisis clúster: caracterización de las explotaciones tipo
Table 1. Cluster results: Farm type characterization

	Explotación tipo 1	Explotación tipo 2	Explotación tipo 3
Variables tipificadoras (alternativas de cultivo-sistema de riego)			
Trigo blando aspersión (%)	5,4	6,4	3,9
Maíz superficie (%)	1,8	1,2	
Maíz aspersión (%)		3,8	
Maíz goteo (%)	1,5	4,3	
Remolacha aspersión (%)	24,0	6,2	39,1
Algodón superficie (%)		2,9	6,7
Algodón aspersión (%)	29,6	54,4	50,3
Girasol superficie (%)		2,1	
Alfalfa aspersión (%)	0,5	3,8	
Tomate goteo (%)	30,3	12,8	
Cebolla aspersión (%)	1,6	0,5	
Zanahoria aspersión (%)	5,3	2,0	
Variables estructurales con diferencias significativas			
Superficie total (ha)	35,8	23,9	15,0

- *Explotación tipo 1:* "*Grandes regantes profesionales*". Representa al 39% de explotaciones de la muestra, que ocupan el 52% de la superficie total de la zona regable. Se trata de la explotación tipo de mayor tamaño de la CR (35,8 ha), orientada principalmente hacia cultivos hortícolas (en torno al 40% de su superficie: tomate por goteo, 30,3%; zanahoria, 5,3%; y cebolla, 1,6% regados por aspersión), que son los cultivos más rentables. Otros cultivos de importancia en su plan de cultivos son algodón (29,6%) y remolacha azucarera (24,0%), ambos regados por aspersión.
- *Explotación tipo 2:* "*Diversificadores de riesgo*". Esta explotación representa al 41% de los agricultores de la muestra, y ocupa el 36% de la superficie de la CR. Se trata de una explotación de tamaño mediano (23,9 ha), caracterizada por tener un plan de cultivos altamente diversificado, dedicando superficies a todas las alternativas presentes en la zona de estudio y utilizando todas las técnicas de riego: superficie, aspersión y goteo.
- *Explotación tipo 3:* "*Agricultores conservadores extensivos*". Este tipo de explotación representa la menor proporción de los agricultores de la muestra (20%), y cubre solo el 11% de la superficie total de la CR. Se trata pues de la explotación tipo de menor tamaño, con una media de 15 ha. Su superficie agraria está ocupada por los cultivos más extensivos de la zona, como algodón

(57,0%), regado principalmente por aspersión, aunque también es regado por superficie, y remolacha por aspersión (39,1%), ambos muy dependientes de los subsidios de la PAC.

Modelización a través de la programación matemática

La cuantificación de los impactos socioeconómicos de la tarifación del agua de riego requiere de la consideración de diferentes escenarios de precios del recurso, al objeto de poder simular el comportamiento (toma de decisiones) de los regantes frente a los mismos. En este sentido, el enfoque metodológico más adecuado son los modelos de programación matemática, ya que permite incluir una gran cantidad de información económica y técnica con un nivel de desagregación apropiado, para poder representar y analizar diferentes escenarios (Hazell y Norton, 1986).

En este trabajo la aplicación de la programación matemática (PM) ha consistido en la construcción de modelos a través de los cuales simular individualmente el comportamiento de cada una de las tres explotaciones tipo definidas frente a tarifas volumétricas crecientes del agua de riego. De manera más concreta, cabe comentar que se han construido un total de 3 modelos para cada una de las explotaciones tipo, utilizando para ello tres técnicas de PM diferentes: a) maximización del beneficio, b) Programación Matemática Positiva (PMP), y c) maximización de una Función de Utilidad Multiatributo (MAUF). Así pues, se han construido un total de 9 modelos (3 explotaciones tipo × 3 métodos de PM). La consideración de tres métodos diferentes de PM para la realización del estudio empírico está justificada por el propósito de obtener resultados y conclusiones más robustos.

Una vez que los modelos se han construido, estos se han adaptado para la simulación del comportamiento de las explotaciones tipo frente la tarifación del agua de riego. Para ello se ha incluido en dichos modelos la tarifa del agua (P_w) como un nuevo parámetro, que se ha hecho variar en un intervalo de 0,00 €/m^3 a 1,00 €/m^3. Así, considerando la tarifa volumétrica del agua como un nuevo coste variable de producción (dependiente de las necesidades de agua de los cultivos sembrados), se ha derivado el plan de cultivos óptimo para cada uno de los 101 escenarios de precios del agua considerados (parametrización de P_w con incrementos sucesivos de 0,01 €/m^3). A partir de estos resultados de los modelos de PM se han obtenido, igualmente para cada nivel de tarifación, el valor de determinadas variables de interés para el análisis político de este instrumento económico: a) la cantidad de agua demandada por el regante, b) el beneficio de los agricultores, c) el empleo generado en la agricultura, d) la recaudación pública proveniente de la tarifa del agua, y e) el nivel de bienestar económico generado por el uso agrario del agua.

El último paso realizado ha consistido en agregar los resultados obtenidos para las explotaciones tipo, al objeto de estimar así los resultados agregados a nivel del conjunto de la zona regable. Con este propósito se ha realizado una suma ponderada de las variables obtenidas en cada explotación tipo, considerando para ello la superficie representada por cada una de ellas.

Los modelos de PM tienen tres elementos definitorios: a) variables de decisión, b) restricciones, y c) función objetivo. A continuación se detalla cómo se ha considerado cada uno de estos elementos en la construcción de los modelos empleados en este trabajo.

a) Variables de decisión. Se han considerado como variables de decisión la superficie dedicada a cada una de las alternativas de cultivo-sistema de riego existentes en la zona, $\vec{x}_{ij} = (x_{1,1}, \ldots x_{i,j}, \ldots, x_{n,m})$, donde $x_{i,j}$ es área dedicada a cada combinación de cultivo i y técnica de riego j. En la primera columna de la Tabla 1 pueden observarse las alternativas de cultivos

empleadas como variables de decisión en los modelos, construidos como binomios de los cultivos y las técnicas de riego conforme a las existentes en la zona de estudio. Además, como variables de decisión posibles en un escenario de tarifación del agua de riego, se ha considerado igualmente las alternativas de cultivos de secano (trigo y girasol), dejar la tierra en barbecho y el arrendamiento de tierra de pastizal a terceros como posibilidad para cumplir con las exigencias de la nueva PAC.

En este sentido conviene indicar que el riego deficitario no ha sido considerado a la hora de definir las variables de decisión, debido a que en la zona de estudio este tipo de manejo del riego no es considerado en la práctica por los agricultores, dado el carácter anual de los cultivos existente en la misma. Efectivamente, en el caso de los cultivos herbáceos existe una relación lineal entre la evapotranspiración y el rendimiento del cultivo, circunstancia que provoca que, desde una perspectiva técnica y económica, la dosis óptima de agua de riego coincida con el máximo técnico (necesidades hídricas de los cultivos completas), con independencia de la tarifa de agua aplicada, siempre y cuando el cultivo genere una rentabilidad positiva. Este hecho justifica la nula incidencia del riego deficitario en cultivos herbáceos, tal y como ha quedado demostrada en diversos trabajos empíricos (véase, por ejemplo, Martínez-Álvarez *et al.*, 2014).

b) Restricciones. Son las condiciones o los límites, tanto superiores como inferiores, que deben respetar las variables de decisión, ya que de lo contrario la solución sería imposible de implementar en el mundo real. Para todos los modelos desarrollados se ha considerado las siguientes restricciones:

- Restricciones de *ocupación de la tierra*. La suma de todas las variables de decisión tiene que ser menor o igual que la superficie disponible en la explotación tipo k (a_k), de tal manera que se verifique que:

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}\vec{x}_{i,j} \leq a_k \qquad [1]$$

- Restricciones de *agua*. Los requerimientos de agua de los cultivos no pueden superar la cantidad de agua disponible por explotación, que se deriva de la superficie de la misma (a_k) y de la concesión otorgada a la CR por la CHG (b_k = 6.700 m^3/ha). Así, se tiene que cumplir que:

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}\vec{x}_{i,j}\cdot wr_{i,j} \leq a_k \cdot b_k \qquad [2]$$

  donde $wr_{i,j}$ son los requerimientos de agua de la alternativa i, j.

- Restricciones de *mercado*. Algunos cultivos, por su carácter perecedero (principalmente los hortícolas), presentan limitaciones en su comercialización, dado que el mercado no puede absorber una cantidad superior a la demanda. Por este motivo se han incluido restricciones que limitan las superficies cultivadas de tomate, cebolla y zanahoria a la máxima superficie histórica de cada explotación tipo k durante el período 2007-2013.
- *Cupo remolacha*. Según el sistema de cuotas de producción establecido por la PAC, la superficie cultivada con remolacha azucarera no puede superar la superficie observada, que es equivalente a la cuota asignada a cada explotación tipo.
- *Restricciones agronómicas*. Se han incluido las restricciones de sucesión y rotación de cultivos consideradas de la zona de estudio, de acuerdo con la información proporcionada por los técnicos entrevistados.
- Restricciones relativas al *sistema de riego.* Se supone que las infraestructuras específicas de cada sistema de riego (superficie, aspersión y goteo) se mantienen fijas en el corto plazo. Como consecuencia, se ha asumido que el área regada por cada uno de estos sistemas en cada tipo de explotación no se puede variar en más de 10% respecto la superficie observada.

$$\sum_{i=1}^{n}\vec{x}_{i,j} \leq 1{,}1 \cdot \sum_{i=1}^{n}\vec{x}_{i,j}^{obs} \quad \forall j \qquad [3]$$

La aplicación de la PAC establece igualmente una limitación legal en relación con la superficie máxima individual de algodón. No obstante, tras la información recogida durante el trabajo de campo, se ha considerado pertinente no incluir esta limitación como restricción de los modelos, ya que los titulares de explotación de la zona analizada han venido sorteando dicha limitación para poder acogerse a la ayuda del cultivo del algodón, compartiendo la titularidad de las explotaciones con otros miembros de su familia.

Tal y como se han definido las variables de decisión y las restricciones para todos los modelos, resulta evidente que estos se han planteado para la realización de simulaciones considerando un horizonte temporal a corto plazo. Este enfoque cortoplacista está justificado por el objetivo definido para el trabajo, consistente en analizar el efecto que supondría incrementos en la tarifa del agua dentro del contexto de la nueva PAC. Esto implica que las únicas variables sobre las que puede decidir el agricultor son las relativas al plan de cultivos (se considera que los bienes de capital fijo –p. ej., los sistemas de riego– y la dimensión de las explotaciones son componentes estructurales que no pueden alterarse).

c) Función objetivo. Es la expresión matemática que el agricultor trata de optimizar a través de su toma de decisiones (asignación de valores a las variables de decisión). Dicha expresión se fija en función de los supuestos de partida que se asuman sobre el comportamiento de estos productores. En este trabajo se ha optado por considerar diferentes supuestos al respecto, derivándose por tanto diferentes expresiones para la función objetivo. Así, la expresión de dicha función es el elemento diferenciador de los tres métodos de PM utilizados. A continuación se describen las funciones objetivos empleados para cada uno de los tres métodos aplicados.

Maximización del beneficio

En este caso, siguiendo el criterio clásico de la Economía de la empresa, la función objetivo considerada es la maximización del beneficio. Dado el ámbito decisional de los modelos de simulación desarrollados, que pretenden simular decisiones de los regantes a corto plazo (es decir, las relativas al plan de cultivo), se ha optado por considerar el margen bruto total de la explotación (MBT) como *proxy* operativo para cuantificar las variaciones en el beneficio, variaciones que a la postre son las que determinan los cambios en las decisiones productivas. Este indicador económico se calcula como diferencia de los ingresos de explotación (ventas y subvenciones acopladas) y los costes variables.

Matemáticamente, el margen bruto de cada alternativa de cultivo i y técnica de riego j ($MB_{i,j}$) se calcula como sigue:

$$MB_{i,j} = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}\left[Y_{i,j}\cdot P_i + S_i - CV_{i,j} - (wr_{i,j}\cdot P_w)\right] \quad [4]$$

Siendo:

$Y_{i,j}$ = rendimiento del cultivo i y técnica de riego j (en kg/ha)

P_i = precio de venta del cultivo i (en €/kg)

S_i = ayuda acoplada a la producción del cultivo i (en €/ha)

$CV_{i,j}$ = costes de producción del cultivo i y técnica de riego j (en €/ha)

$wr_{i,j}$ = requerimiento de agua del cultivo i y técnica de riego j (en m^3/ha)

P_w = tarifa del agua (en €/m^3)

La función objetivo a maximizar en este caso será, por tanto, la siguiente:

$$MBT = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} MB_{i,j}\cdot \vec{x}_{i,j} \quad [5]$$

Programación Matemática Positiva (PMP)

La PMP, desarrollada por Howitt (1995), también asume un comportamiento maximizador del beneficio de los agricultores, pero, a diferencia del enfoque clásico, considera una función objetivo no lineal, obtenida mediante un proceso de calibración que ajusta la función de costes de los cultivos mediante una función cuadrática. Esta innovación metodológica permite simulaciones más flexibles y realistas que con la maximización del beneficio. Este hecho le ha convertido en uno de los enfoques de PM más aceptados y utilizados para la modelización del sector agrario.

Para la aplicación de la PMP a nuestro caso de estudio se ha optado por seguir el enfoque estándar propuesto por Howitt (1995). No obstante, dentro de este enfoque estándar se ha considerado la aproximación del coste medio (*average cost approach*) propuesta por Heckelei y Britz (2000), que considera que los costes medios de la función de costes variables para cada actividad son iguales a los costes observados. De esta manera el margen bruto tras aplicar la PMP resulta ser igual al margen bruto observado.

La aplicación de este enfoque estándar de la PMP consta de dos fases. La primera de ellas consiste en la construcción de un modelo de maximización del beneficio como el antes comentado, al cual se le añaden una serie de restricciones adicionales (restricciones de calibración), que limitan la superficie destinada a cada cultivo a las superficies observadas en la realidad. Al incluir tales restricciones se fuerza a que la solución óptima del modelo reproduzca exactamente los niveles de actividad (superficie de cultivo y técnica de riego) observados en el año base. En la segunda fase, los valores duales de las restricciones de calibración se utilizan para especificar una función objetivo de maximización de beneficio con costes cuadráticos, tal y como se describe a continuación:

$$Max\ MB = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}(P_i \cdot \vec{x}_{i,j} + S_i - \alpha_{i,j} \cdot \vec{x}_{i,j} - \frac{1}{2}\beta_{i,j} \cdot \vec{x}_{i,j}^{2}) \quad [6a]$$

$$\alpha_{i,j} = CV_{i,j} - \lambda_{i,j} \quad [6b]$$

$$\beta_{i,j} = \frac{2\lambda_{i,j}}{x_{i,j}^{obs}} \quad [6c]$$

donde $\lambda_{i,j}$ es el precio sombra (valor dual) de la restricción de calibración del cultivo i y técnica de riego j, y $\alpha_{i,j}$ y $\beta_{i,j}$ son los parámetros de calibración de la PMP.

La función objetivo así generada incluye una función de costes cuadrática que trata de recoger todos los costes de los diferentes cultivos, tanto los observables como los no observables. El interés de esta función objetivo es que su maximización permite reproducir de manera exacta el plan de cultivo de las explotaciones modelizadas para el escenario base empleado para la calibración. Esta circunstancia suele esgrimirse como argumento en favor de este enfoque de PM, ya que permite asumir que las simulaciones realizadas mediante esta técnica son más realistas que las derivadas de otros enfoques que no son capaces de reproducir ni tan siquiera las soluciones del escenario base.

Cabe comentar que la PMP ha evolucionado considerablemente en los últimos años, planteándose nuevos desarrollos que tratan resolver algunas de las debilidades del enfoque estándar propuesto por Howitt (1995). Entre estos desarrollos cabe comentar el de Röhm y Dabbert (2003), que considera un intercambio más favorable entre "variantes" de determinadas actividades (p. ej., distintos sistemas de riego para un mismo cultivo en nuestro caso) que entre actividades diferentes, o el de Cortignani y Severini (2009), que posibilita la calibración de alternativas no observadas en el año base, (p. ej., las alternativas de secano en nuestro caso). Todos estos desarrollos se basan en procedimientos de calibración que utilizan un valor marginal de la tierra en el escenario base. Por este motivo el empleo de estas variantes de la PMP para

la simulación de escenarios es sólo recomendable en aquellos casos en que el valor marginal de la tierra (renta de la tierra) no se vea afectado de manera significativa (no tiene sentido que funciones objetivo calibradas en base a la renta de la tierra del escenario base se utilicen para simular escenarios donde dicha renta es radicalmente diferente). Desgraciadamente, este no es el caso de la tarifación del agua de riego, instrumento que supone la adición de un coste lineal a cada uno de los cultivos regadío, y que por tanto provoca la disminución de la renta de la tierra. Por este motivo, se ha tenido que descartar el uso de los desarrollos de la PMP arriba comentados para esta investigación, optándose por el enfoque estándar de la PMP como mejor opción disponible.

Maximización de una Función de Utilidad Multiatributo (MAUF)

Este método de PM asume que el comportamiento de los agricultores trata de maximizar una *Función de Utilidad Multiatributo* (MAUF en inglés) en la que condensan todos los criterios que estos productores consideran relevantes (Romero y Rehman, 2003). Este enfoque multicriterio se supone igualmente más realista que la simple maximización del beneficio, pues se trata de un modelo más general.

Para la aplicación de este enfoque a nuestro caso de estudio se asume que los principales criterios que integran la función de utilidad de los agricultores (Gómez-Limón y Berbel, 2000; Gómez-Limón *et al.*, 2004; Gutiérrez-Martín y Gómez-Gómez, 2011) son:

- La *maximización del beneficio*:

$$MBT = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} MB_{i,j}\cdot \vec{x}_{i,j} \qquad [7]$$

- La *minimización del riesgo* medido como la varianza del margen bruto (VAR) durante un período de 7 años (2007-2013). Así, el riesgo se calcula como:

$$VAR = \vec{x}_{i,j}^{\,t}[cov]\vec{x}_{i,j} \qquad [8]$$

donde $[cov]$ es la matriz de varianzas-covarianzas de los márgenes brutos de los cultivos por hectárea en el período considerado.

- La *minimización de la mano de obra total* (MOT) empleada en la explotación, considerada como *proxy* de la complejidad de gestión. Matemáticamente este atributo se calcula como:

$$MOT = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} MO_{i,j}\cdot \vec{x}_{i,j} \qquad [9]$$

donde $\mathrm{MOT}_{i,j}$ es la cantidad de mano de obra demanda de cada alternativa i, j.

La formulación matemática concreta de la función de utilidad se ha obtenido siguiendo la metodología propuesta por Sumpsi *et al.* (1996) basada en una función de utilidad aditiva:

$$MAUF = \sum_{a=1}^{l} w_a\, u_a(f_a) \qquad [10]$$

donde $\mathrm{u}_a(f_a)$ es la expresión matemática de la utilidad parcial asociada al atributo a, y w_a es la ponderación o peso otorgado a dicho atributo a, cumpliéndose que:

$$\sum_{a=1}^{l} w_a = 1 \qquad [11]$$

Para la determinación operativa de la MAUF característica del comportamiento de los regantes, se han considerado funciones de utilidad parcial monoatributo [$u_a(f_a)$] lineales, normalizadas en todos los casos para tomar valores entre 0 (menor utilidad posible) y 1 (mayor utilidad posible). Para ello se ha empleado la expresión $u_a = \frac{f_a(\vec{x}_{i,j}) - f_{a*}}{f_a{}^{*} - f_{a*}}$ para los atributos del tipo "más es mejor", y la expresión $u_a = \frac{f_{a*} - f_a(\vec{x}_{i,j})}{f_{a*} - f_a{}^{*}}$ para los atributos de tipo "menos es mejor", donde $f_a{}^{*}$ y f_{a*} son los valores ideales y anti-ideales, respectivamente, de cada atributo en la correspondiente matriz de pagos. Así las funciones monoatributo de los criterios asociadas a MBT, VAR y MOT han quedado como sigue:

$$u_{MBT} = MBTn = \frac{MBT(\vec{x}_{i,j}) - MBT_*}{MBT^* - MBT_*} \quad [12]$$

$$u_{VAR} = VARn = \frac{VAR_* - VAR(\vec{x}_{i,j})}{VAR_* - VAR^*} \quad [13]$$

$$u_{MOT} = MOTn = \frac{MOT_* - MOT(\vec{x}_{i,j})}{MOT_* - MOT^*} \quad [14]$$

Puede evidenciarse, que todas las $u_a(f_a)$ así obtenidas son del tipo "más es mejor", por lo que $VARn$ debe interpretarse como el riesgo evitado y $MOTn$ como la complejidad de gestión evitada.

Siguiendo el método propuesto por Sumpsi *et al.* (1996), el valor de las ponderaciones w_a se obtiene a partir de un modelo auxiliar de programación por metas ponderadas, que trata de reproducir con exactitud el comportamiento observado de los productores. Así, finalmente se obtiene una función de utilidad del tipo:

$$MAUF = w_1 \cdot MBTn + w_2 \cdot VARn + w_3 \cdot MOTn \quad [15]$$

Debe indicarse en cualquier caso, que la forma funcional de $MAUF$ de será diferente para cada explotación tipo. Efectivamente, este enfoque de PM permite detectar diferencias en las ponderaciones de los diferentes atributos en base a la disparidad de los planes de cultivos observados en el escenario base. Esta circunstancia se ha esgrimido igualmente como una ventaja singular del mismo, que justifica la obtención de soluciones más realistas.

Adaptación de los modelos a la PAC-2015

Las observaciones de las decisiones de los regantes en el año base se corresponden con el año 2013, decisiones que estuvieron condicionadas por la PAC aplicada en ese año (PAC-2013). Sin embargo, debe tenerse en cuenta que la simulación del comportamiento futuro de los regantes requiere la consideración del nuevo marco normativo de la PAC, resultante de la última reforma de esta política europea y que ha entrado en vigor en 2015 (PAC-2015).

Esta circunstancia ha obligado a considerar dos escenarios distintos de política agraria. Así, las calibraciones de las funciones objetivo de los modelos PMP y MAUF se han realizado considerando el escenario PAC-2013, teniendo en cuenta las subvenciones acopladas (S_i) existentes entonces, así como las restricciones arriba indicadas.

Sin embargo, simular el comportamiento de los regantes frente a la tarifación del agua de riego ha exigido la consideración del escenario actual de la PAC (PAC-2015). Para ello se han tenido que adaptar los modelos empleados para la calibración, al objeto de actualizar el nivel de subvenciones acopladas y tener en cuenta las novedades en relación al nuevo "pago verde", tal y como se describe a continuación:

- Las explotaciones mayores de 15 ha deben dedicar al menos un 5% de la explotación a superficies de interés ecológico o SIE (barbecho, cultivos fijadores de nitrógeno y forestadas). Así, si $a_k \geq 15$, entonces debe cumplirse que $SIE \geq 0{,}05 \cdot a_k$.
- Las explotaciones entre 10 y 30 ha deben tener al menos dos cultivos diferentes, siendo el cultivo principal menor del 75% de la superficie de la explotación. Así, si $10 \leq a_k \leq 30$, entonces debe verificarse que $\sum_{j=1}^{m} \vec{x}_{i,j} \leq 0{,}75 \cdot a_k$ para todo i.
- Las explotaciones mayores de 30 ha tienen que tener al menos tres cultivos diferentes, donde el cultivo principal debe ocupar menos del 75%, y la suma de los dos cultivos principales tiene que ser menor del 95%. Así, si $a_k > 30$, entonces ha de cumplirse, además de $\sum_{j=1}^{m} \vec{x}_{i,j} \leq 0{,}75 \cdot a_k$ para todo i, y que $\sum_{j=1}^{m} \vec{x}_{i,j} + \sum_{j=1}^{m} \vec{x}_{i',j} \leq 0{,}95 \cdot a_k$ para todo $i \neq i'$.

Resultados

En primer lugar se han obtenido las funciones de utilidad para cada una de las explotaciones tipo consideradas por el método MAUF, resultando las funciones que se muestran a continuación:

$$\text{Expl. tipo 1: } MAUF_1 = 0{,}766 \cdot MBTn + 0{,}234 \cdot VARn \quad [16]$$

$$\text{Expl. tipo 2: } MAUF_2 = 0{,}775 \cdot MBTn + 0{,}225 \cdot VARn \quad [17]$$

$$\text{Expl. tipo 3: } MAUF_3 = 0{,}848 \cdot MBTn + 0{,}122 \cdot VARn + 0{,}030 \cdot MOTn \quad [18]$$

Observando las diferentes MAUF se evidencia como el margen bruto tiene en todos los casos una importancia relativa muy superior al resto de los criterios. La similitud de comportamiento (MAUF) puede explicarse por la relativa homogeneidad de las explotaciones (clima, edafología, tamaño y técnicas de cultivo) y titulares (edad, formación, etc.) de la zona regable analizada, tal y como se comentaba en la sección dedicada a la descripción del caso de estudio.

Los modelos construidos para cada explotación tipo han permitido obtener, para cada nivel de la tarifa volumétrica del agua (parametrización de P_w desde 0,00 a 1,00 €/m^3), los correspondientes planes de cultivos óptimos como primeros resultados. A partir de esta información sobre el previsible comportamiento de los regantes ante cada escenario de precios del agua, se han podido obtener una serie de variables de interés para la toma de decisión política: el margen bruto total generado por la actividad agraria, la recaudación pública derivada de la tarifación y el nivel de bienestar económico derivado del uso del agua en la agricultura (indicadores económicos), el empleo generado por el regadío (indicador social) y el uso del agua para riego (indicador ambiental). El análisis de la evolución de estos indicadores a medida que se incrementa la tarifa del agua, sin duda, resulta de utilidad para la evaluación *ex-ante* de este instrumento económico, de cara a su adecuado diseño y gestión.

El efecto aislado de la reforma de la PAC

El primer resultado a reportar es el del previsible impacto de la reforma de la PAC-2015. Para ello se comparan el valor de los indicadores de interés político antes comentados en el escenario base (año 2013) con los simulados para un escenario PAC-2015 con precio del agua nulo, tal y como se muestra en la Tabla 2.

En esta tabla puede observarse cómo la última reforma de la PAC apenas va a afectar a la agricultura de la zona regable analizada. De hecho, las variaciones esperadas en el margen bruto, la demanda de mano de obra o el uso de agua de las diferentes explotaciones tipo son inferiores al 1% respecto a la situación actual. Estos resultados se explican por dos motivos. Primero, porque las condiciones de rotación obligatoria establecidas por el *greening* ya se cumplían previamente a la reforma y, por tanto, no ha sido necesario hacer cambios en los planes de cultivo por este motivo. Segundo, porque la estrategia a seguir por las explotaciones de la zona analizadas para el cumplimiento de la superficie de interés ecológico (SIE), que implica dedicar al menos un 5% de sus tierras a barbecho, cultivos fijadores de nitrógeno (leguminosas como la alfalfa), pastos o a superficie forestada, va a consistir en arrendar tierra de secano fuera de la zona regable para dedicarlas a barbecho o a pastos.

Estos resultados evidencian por tanto que la última reforma de la PAC no condiciona el potencial del impacto de la tarifación del agua de riego.

Tabla 2. Impacto previsible de la reforma de la PAC-2015
Table 2. Feasible impact of PAC-2015 reform

	Explot. tipo 1	Explot. tipo 2	Explot. tipo 3	Zona regable
PAC-2013				
Margen bruto (€/ha)	3.140	2.269	1.820	2.678
Mano de obra (h/ha)	34,07	20,95	27,09	28,64
Uso de agua (m^3/ha)	5.774	5.176	5.502	5.531
Nº cultivos en la rotación	7	9	4	9
Superficie 1er cultivo (%)	35,8	32,6	41,1	28,5
Superficie 2º cultivo (%)	29,3	28,2	39	24,4
Alfalfa regadío (%)	0,6	4,5	0,0	1,9
SIE† en superficie de secano arrendada (%)	0,0	0,0	0,0	0,0
SIE total (%)	0,6	4,5	0,0	1,9
PAC-2015				
Margen bruto (€/ha)	3.129	2.267	1.807	2.670
Mano de obra (h/ha)	34,12	20,96	27,14	28,67
Uso de agua (m^3/ha)	5.773	5.176	5.502	5.531
Nº cultivos en la rotación	8	10	5	10
Superficie 1er cultivo (%)	35,8	32,6	41,1	28,5
Superficie 2º cultivo (%)	29,3	28,2	39,0	24,4
Alfalfa regadío (%)	0,6	4,5	0,0	1,9
SIE† en superficie de secano arrendada (%)	4,4	0,5	5,0	3,1
SIE total (%)	5,0	5,0	5,0	5,0
Impacto PAC				
Margen bruto (€/ha)	-0,4%	-0,1%	-0,7%	-0,3%
Mano de obra (h/ha)	+0,1%	0,0%	+0,2%	+0,1%
Uso de agua (m^3/ha)	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Nº cultivos en la rotación	+14,3%	+11,1%	+25,0%	+11,1%
Superficie 1er cultivo (%)	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Superficie 2º cultivo (%)	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Alfalfa regadío (%)	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
SIE† en superficie de secano arrendada (%)	+4,4%	+0,5%	+5,0%	+3,1%
SIE total (%)	+4,4%	+0,5%	+5,0%	+3,1%

† Superficie de interés ecológico.

Las curvas de demanda de agua

La presentación de resultados comienza con el análisis de la evolución del uso del agua para valores crecientes de la tarifa volumétrica de agua, a través de las correspondientes curvas de demanda, tal y como se evidencia en la Figura 1. En dicha figura pueden observarse ciertas diferencias en función tanto del método de PM empleado como de la explotación tipo analizada. En cuanto al método, se evidencia cómo las curvas derivadas a partir de la PMP y la MAUF experimentan cambios de pendiente más suaves, frente a la brusquedad en los cambios de la curva derivada de la maximización del beneficio. Esta circunstancia se debe a la mayor sensibilidad de la PMP y la MAUF a la hora simular escenarios, circunstancia que permiten considerar estos resultados más próximos al comportamiento real de los agricultores.

En relación con las explotaciones tipo, se observa cómo para tarifas bajas (entre 0,0 y 0,2 €/m^3) la explotación representativa del clúster 1 es en todos los casos la que presenta una mayor demanda de agua, seguida por la explotación tipo 3 y, por último, por la explotación tipo 2. Sin embargo, el comportamiento de cada una de ellas difiere a medida que se incrementa la tarifa de agua. Así, se observa como los "*Agricultores conservadores extensivos*" (explotación tipo 3) son los más reactivos a la tarifación, en la medida que son los que más reducen su consumo de agua cuando su precio sube, haciendo que para tarifas superiores a 0,3 €/m^3 su consumo sea prácticamente nulo. Por el contrario, los "*Grandes regantes profesionales*" (explotación tipo 1) se muestran más reticentes a reducir su consumo, demandando cantidades significativas de agua hasta niveles de la tarifa de 0,9 €/m^3. La diferencia en este com-

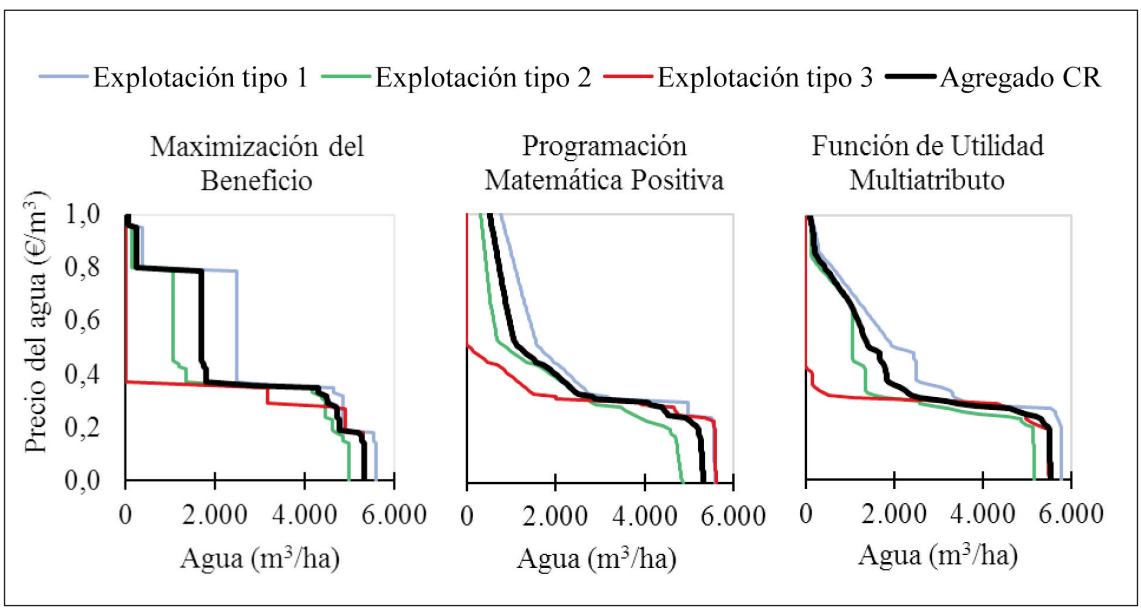


Figura 1. Curvas de demanda de agua correspondientes a los tres métodos de programación matemática.
Figure 1. Irrigation water demand corresponding to the three mathematical programming methods.

portamiento puede justificarse en las diferencias existentes en la productividad del agua en los cultivos incluidos en sus respectivos planes. Así, mientras en la explotación tipo 3 predominan cultivos extensivos con bajo valor añadido (p. ej., remolacha, algodón o maíz), con una baja productividad del uso del agua (productividad media aparente de 0,33 €/m^3), la explotación tipo 1 tiene una orientación principalmente hortícola, cultivos de mayor valor añadido y elevada productividad del agua (productividad media aparente de 0,53 €/m^3).

Asimismo conviene indicar que, a pesar de las diferencias arriba señaladas, para todos los métodos de PM empleados, y para todas las explotaciones tipo, se ha identificado un patrón similar en las correspondientes curvas de demanda, diferenciándose claramente dos tramos:

- *Tramo inelástico* (para tarifas de 0,0 a 0,3 €/m^3). La reacción de los regantes ante incrementos en el precio del agua no se corresponde con disminuciones en la demanda. Este comportamiento se debe a que para estas tarifas, incluso los cultivos con menor productividad del agua (remolacha, algodón y maíz) proporcionan una rentabilidad mayor que las alternativas de secano, circunstancia que justifica que los agricultores se resistan a hacer cambios en sus planes de cultivos (sustitución de cultivos con elevadas necesidades hídricas por otros que tengan un menor consumo de agua).
- *Tramo elástico* (para tarifas superiores a 0,3 €/m^3). Para precios superiores a 0,3 €/m^3 la curva de demanda adquiere una forma más elástica, es decir, ante subidas adicionales de la tarifa, los agricultores cambian progresiva y rápidamente sus planes de cultivo hacia alternativas con menor consumo hídrico, disminuyendo así el consumo total de agua y el coste correspondiente al uso del recurso.

Análisis de impactos socioeconómicos

Siguiendo con el análisis de los resultados, en la Figura 2 se puede observar la evolución de los indicadores socioeconómicos seleccionados para el estudio (margen bruto, empleo generado, recaudación por tarifación y eficiencia económica asociada al uso del agua en el regadío) a medida que se incrementa la tarifa del agua. A este respecto conviene indicar que, como ocurría con la demanda de agua, los resultados obtenidos a partir de los tres métodos de PM empleados siguen el mismo patrón de comportamiento. Por este motivo en la Figura 2 se ha optado, en aras de la simplicidad, por representar únicamente los resultados derivados del método MAUF.

En líneas generales puede apreciarse como la tarifación progresiva del agua de riego supone una creciente pérdida de beneficios (medido por el margen bruto) por parte de los regantes, así como del empleo generado en el regadío (ver figuras 2a y 2b, respectivamente). Asimismo, se observa que la recaudación pública por la tarifación se incrementa a medida que aumenta la tarifa, hasta llegar a un nivel máximo que oscila entre 0,2 y 0,3 €/m^3 (ver Figura 2c), según los casos. Este punto de inflexión coincide con el cambio del tramo inelástico por el elástico antes descrito. Para tarifas superiores a este nivel, incrementos en el precio del agua se traducen en reducciones de la recaudación pública. Este hecho es importante destacarlo porque refleja que a partir de estos niveles de la tarifa del agua los regantes sustituyen rápidamente los cultivos de regadío por cultivos de secano, reduciendo de forma drástica la factura de agua como estrategia para afrontar el encarecimiento del uso del recurso.

En este sentido, puede observarse cómo durante el tramo inelástico (tarifas de 0,0 a 0,3 €/m^3), al no haber cambios en los planes de cultivos (no hay disminución en el uso del agua ni en el empleo), la pérdida de renta-

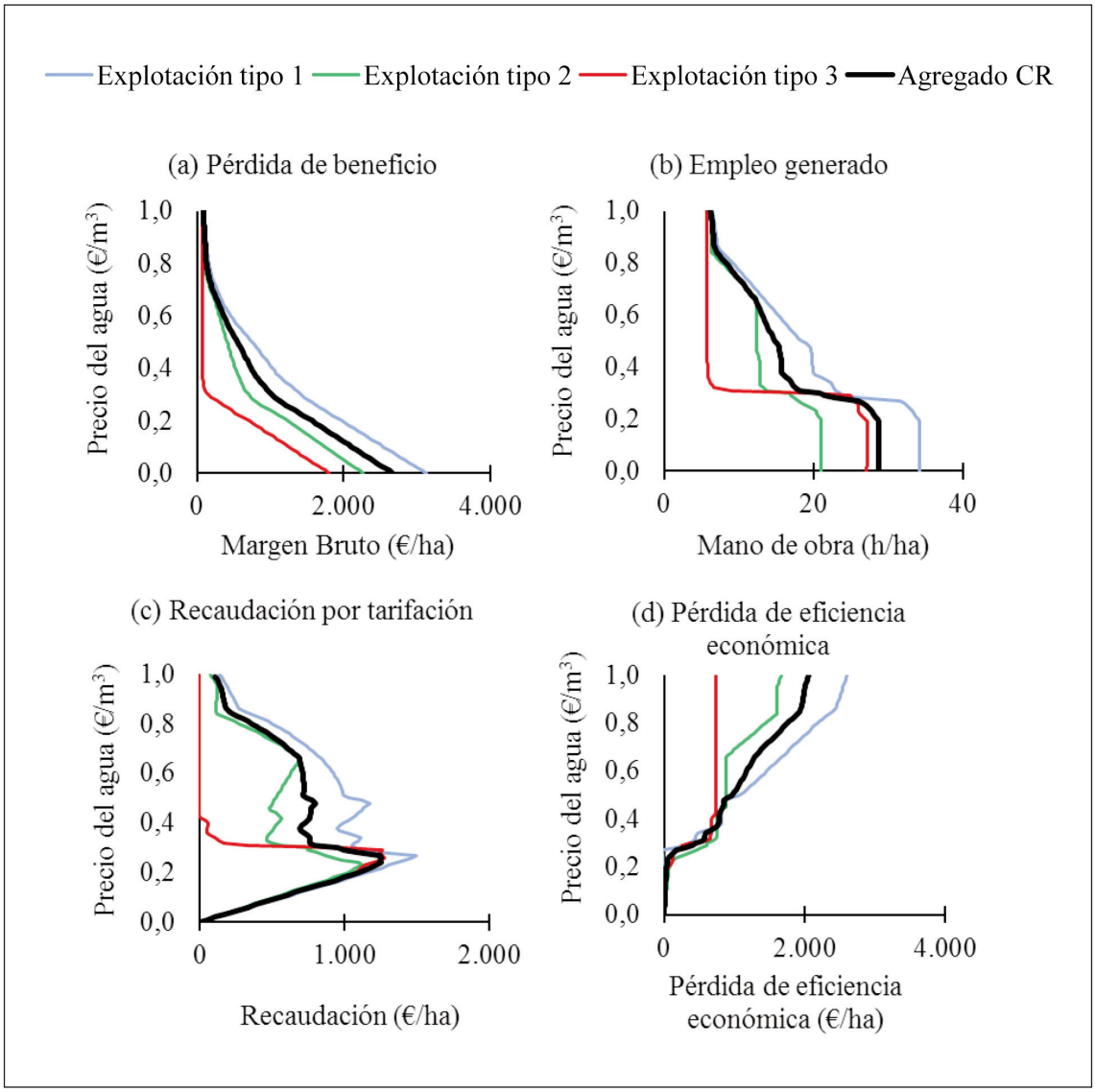


Figura 2. Impacto socioeconómico de la tarifación del agua de riego (método MAUF).
Figure 2. Socio-economic impact of irrigation water pricing (MAUF approach).

bilidad (margen bruto) por parte de los regantes equivale de manera exacta al incremento en la recaudación pública. Así, para estos niveles de precios del agua, la tarifación produce simplemente una transferencia de rentas desde el sector privado (productores de regadío) al sector público, sin que puedan significarse variaciones en el bienestar asociado al uso del agua de riego, cuantificado como suma del beneficio privado (margen bruto de las explotaciones) y público (recaudación). De esta manera, las pérdidas de efi-

ciencia económica, considerando conjuntamente la parte privada como la pública, son prácticamente nulas (ver Figura 2d).

Una vez alcanzado el tramo elástico (tarifas que provocan cambios en los planes de cultivo) se puede advertir cómo tanto el consumo de agua como el margen bruto de las explotaciones y la generación de empleo disminuyen de manera importante. Por su parte, como ya se ha comentado, la recaudación pública disminuye por la drástica disminución del uso del agua. En consecuencia, puede afirmarse que para tarifas del agua superiores a 0,3 €/m^3 se aprecia una pérdida creciente de bienestar social, en la medida que la tarifación supone una pérdida tanto para el sector privado (en términos de margen bruto) como público (en términos de recaudación). Así pues, como se aprecia en Figura 2d, tarifas elevadas generarían importantes pérdidas de eficiencia económica.

Para terminar este apartado, conviene indicar finalmente que si bien todas las explotaciones tipo analizadas reproducen el patrón de comportamiento arriba señalado, existen ciertas diferencias de detalle entre las mismas. En este sentido cabe señalar a la explotación tipo 1 ("*Grandes regantes profesionales*") como aquella que genera un mayor nivel de empleo y una mayor contribución a la recaudación por unidad de superficie, puesto que se trata de los regantes con cultivos más intensivos y de mayor valor añadido. Sin embargo, cuando la tarifa llega a niveles muy elevados (mayores de 0,5 €/m^3), haciendo inviables la mayoría de cultivos hortícolas, son igualmente los que provocan una mayor pérdida de eficiencia económica (disminución conjunta del margen bruto y la recaudación). Por su parte, la explotación tipo 3 ("*Agricultores conservadores extensivos*"), a partir de 0,3 €/m^3 deja de regar de manera abrupta (cuando los cultivos de la remolacha, el algodón y el maíz en regadío resultan inviables). No obstante, al tratarse de las explotaciones orientadas hacia las producciones de menor valor añadido, son las que evidencian una menor pérdida de eficiencia económica motivada por tarifas elevadas del agua de riego.

Discusión

En el presente trabajo se han aplicado tres métodos de PM diferentes para la simulación de impactos de la tarifación del agua de riego. Los resultados obtenidos han sido en buena medida coincidentes, mostrando el mismo patrón de comportamiento para cada explotación tipo analizada y para el conjunto de la zona regable. No obstante, como señalan Howitt *et al.* (1980), para la realización de este tipo de trabajos de simulación resultan más adecuados los métodos de PM no lineales, como la PMP o la MAUF empleados en este trabajo, ya que tales modelos presentan una aproximación más realista al comportamiento de los agricultores (las soluciones óptimas modifican los parámetros definitorios del escenario actual) que la maximización del beneficio mediante programación lineal.

Asimismo, debe señalarse que la similitud de resultados obtenidos entre la PMP y la MAUF está motivada por el perfil comercial de todos los agricultores de la zona analizada (preponderancia del atributo del MBT respecto al resto de atributos en la metodología MAUF en todas las explotaciones tipo), por lo que esta evidencia no puede generalizarse para cualquier otra zona regable. Efectivamente, cuando el comportamiento de los agricultores objeto de estudio pueda considerarse próximo a la maximización del beneficio, PMP y MAUF serán enfoques de PM igualmente válidos para la simulación de los efectos de potenciales escenarios de política agraria, ya que las funciones objetivo a optimizar en ambos casos conducirán a resultados similares. No obstante, como señalan Gómez-Limón y Berbel (2000), Gómez-Limón y Riesgo

(2004) o Gutiérrez-Martín y Gómez-Gómez (2011), cuando éste no sea el caso, y existan grupos de agricultores con un comportamiento productivo significativamente diferente de la maximización del beneficio (p. ej., agricultores con alto grado de aversión al riesgo o la complejidad gerencial), parece que el enfoque MAUF sería el más adecuado ya que, a diferencia de la PMP, este enfoque de PM permite considerar el conjunto de criterios de gestión que tales productores tienen en mente a la hora de su toma de decisiones.

El análisis del efecto de la tarifación sobre la demanda de agua y otros indicadores económicos (rentas agrarias) y sociales (generación de empleo) han sido ampliamente estudiados. A continuación se comparan de manera crítica las evidencias reportadas en la literatura y los resultados obtenidos en este trabajo.

En un primer lugar, debe señalarse que la existencia de dos tramos diferenciados en las curvas de demanda de agua de riego, uno primero de carácter inelástico para tarifas bajas y otro elástico para precios más elevados, ya ha sido evidenciada en muchos trabajos realizados anteriormente (Varela-Ortega *et al.*, 1998; Gómez-Limón y Berbel, 2000; Gómez-Limón *et al.*, 2002; Molle y Berkoff, 2007; Wheeler *et al.*, 2008). Así, se encuentra un tramo inicial inelástico, en el que el agricultor conserva su plan de cultivos sin disminuir el uso de agua y un posterior tramo elástico donde se produce una sustitución de los cultivos más intensivos en el uso del agua por otros con menores requerimientos hídricos, incluso sustituyendo cultivos de regadío por otros de secano.

El análisis de la literatura existente y los resultados del presente estudio, evidencian cómo el mayor o menor intervalo de tarifas correspondiente al tramo inelástico depende de la productividad del agua (mayor productividad, mayor tramo inelástico), que en última instancia depende de las ventajas competitivas proporcionadas por las condiciones edafoclimáticas y el nivel tecnológico presente en la zona regable analizada. Así puede observarse cómo, en sistemas muy extensivos y poco modernizados (riego por superficie), como los sistemas cerealistas del Duero analizados en Gómez-Limón y Berbel (2000), el primer tramo inelástico termina en una tarifa del agua muy baja, inferior a 0,05 €/m^3. Por el contrario, en sistemas más intensivos y tecnificados (riego por goteo y aspersión), que incluyen cultivos hortícolas y frutales, como en este trabajo, el tramo inelástico se conserva hasta tarifas mucho mayores, superiores a los 0,25 €/m^3.

En cualquier caso, debe señalarse que la relativa amplitud del tramo inelástico de la curva de demanda obtenido en nuestro caso de estudio puede estar condicionado igualmente por el enfoque cortoplacista seguido en la modelización, ya que éste limita la capacidad de respuesta de los productores frente a la introdución de tarifas volumétricas (p. ej. al no posibilitar cambios en las técnicas de riego). Así, es probable que en un enfoque a más largo plazo, en el que se permitieran cambios en las técnicas de riego, el tramo inelástico se reduciría significativamente (Iglesias y Blanco, 2008).

En segundo lugar, este trabajo evidencia igualmente el impacto diferencial que tiene la tarifación sobre las explotaciones agrarias de una misma zona regable, en función de su orientación productiva y la rentabilidad de sus planes de cultivos. En este sentido, los resultados de este trabajo son coincidentes con las evidencias aportadas por Gómez-Limón y Riesgo (2004). Efectivamente, se puede apreciar cómo dentro de una misma zona regable, incluso en aquellas que emplea las tecnologías de riego más eficientes (Mejías *et al.*, 2004), coexisten explotaciones agrícolas con productividades del agua muy diferentes. Por ese motivo, la

respuesta de estas explotaciones frente a la tarifación es igualmente dispar.

Así, mientras que las explotaciones con producciones más extensivas (explotación tipo 3 en este trabajo) se muestran más reactivas a los cambios en el precio del agua de riego, modificando rápidamente su plan de cultivos en función de la tarifa aplicable, las explotaciones con planes de cultivos más intensivos (explotación tipo 1 en este trabajo, donde predominan los hortícolas) se muestran menos sensibles a la tarifación, y mantienen su plan de cultivos hasta elevadas tarifas, para las cuales ni siquiera los cultivos de mayor valor añadido son viables económicamente. Esta disparidad en el impacto de la tarifación deja entrever el gran potencial que tendrían los mercados de agua locales (entre regantes de una misma comunidad de regantes), donde los agricultores más conservadores (cultivos de bajo valor añadido) podrían ceder sus derechos en contextos de escasez a los más profesionales (cultivos de mayor valor añadido), tal y como señalan Rey *et al.* (2014) y Calatrava *et al.* (2015).

En tercer lugar, debe señalarse que el análisis de impactos socioeconómicos de la tarifación del agua de riego, en términos de pérdida de renta agraria, empleo y eficiencia económica, también ha sido reportado anteriormente por Varela-Ortega *et al.* (1998), Berbel y Gutiérrez (2006), Riesgo y Gómez-Limón (2006), Iglesias y Blanco (2008), y más recientemente por Kahil *et al.* (2016) y Pérez-Blanco *et al.* (2016). Tal y como se ha comentado en este trabajo, los trabajos antes citados evidencian que el incremento del precio del agua de riego produce cambios en los planes de cultivos que implican siempre pérdidas de rentas agrarias, así como una reducción del empleo directo generado por el sector de regadío, como consecuencia tanto del incremento de costes variables por el pago de la tarifa como por la sustitución de cultivos de elevado valor añadido y consumo de agua por otros menos rentables y con menores necesidades hídricas.

En cuanto a la recaudación pública proveniente de la tarifación, los trabajos anteriores señalan igualmente que, tras el tramo de demanda de agua inelástico, se produce una rápida disminución de la recaudación pública motivada por los drásticos cambios en los planes de cultivos. Efectivamente, cuando las tarifas superan un determinado límite, la demanda entra en un tramo elástico donde la reducción porcentual del consumo de agua es muy superior al incremento porcentual del precio del agua, lo que conduce a una disminución de la recaudación pública.

El comportamiento de la demanda de agua de riego evidenciado en este trabajo y corroborado por buena parte de la literatura existente, sugiere que la tarifación no resulta ser un instrumento tan efectivo como podría pensarse para la gestión tanto en aguas superficiales como subterráneas (Calatrava *et al.*, 2011; Kahil *et al.*, 2016). Efectivamente, para que la tarifación tenga un efecto disuasorio sobre el consumo, los precios a aplicar deben ser lo suficientemente elevados para alcanzar el tramo elástico. Sin embargo, una vez alcanzado este tramo que permite reducir el consumo, aparecen pérdidas de eficiencia económica, en la medida que las pérdidas de rentas agrarias y de empleo superan con creces la recaudación pública. Así, a pesar de lo que podría asumirse inicialmente en trabajos como el de Tsur *et al.* (2004), que señalan que con la tarifación se podría obtener una distribución más eficiente del agua para el regadío, los resultados obtenidos en este trabajo confirman que la tarifación no puede considerarse como el único instrumento económico dentro de la política de demanda orientada a fomentar un uso del agua en agricultura más racional y sostenible. Efectivamente, la tarifación es considerada menos efectiva que los mercados de agua (Cornish *et al.*, 2004) en este sentido, e incluso es

considerada como el peor de los instrumentos económicos posibles (Kahil *et al.*, 2016), no sólo en términos de beneficios ambientales y privados, sino también en términos de equidad y en cuanto al uso del agua. Por tanto, la tarifación debería considerarse en cualquier caso dentro de un paquete o "mix" de instrumentos económicos, que integre igualmente seguros agrarios (Massarutto, 2015) y mercados de agua. De manera semejante, la desalación también es considerada por otros autores como complemento a la tarifación de agua. En este sentido, Calatrava *et al.* (2011) proponen la combinación de una tasa sobre las extracciones de aguas subterráneas y la sustitución de éstas por agua desalada subvencionada que permita eliminar la sobreexplotación de los acuíferos compatibilizando la contención del coste presupuestario con la minimización del impacto sobre el sector agrario.

Finalmente, cabe comentar que el trabajo realizado debe complementarse en un futuro con nuevas investigaciones encaminadas al análisis del impacto de la tarifación en un contexto temporal más largo, que contemple la posibilidad de cambios estructurales en las explotaciones de regadío (sistemas de riego, tamaño). Sólo de esta manera se podrían cuantificar los impactos económicos, sociales y ambientales de la tarifación en el largo plazo, horizonte en el que se enmarcan los objetivos de DMA, encaminados a la preservación ambiental de las masas de agua y la compatibilidad de sus usos económicos.

Agradecimientos

Esta investigación ha sido financiada por el Ministerio de Economía y Competitividad (MINECO) y el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER), a través del Proyecto de Investigación AGL2013-48080-C2-1-R y de la Ayuda Predoctoral FPI asociada al mismo.

Bibliografía

Berbel J, Gómez-Limón JA (2000). The impact of water-pricing policy in Spain: An analysis of three irrigated areas. Agricultural Water Management 43: 219-238.

Berbel J, Gutiérrez C (2006). Sostenibilidad de la agricultura de regadío europea bajo la Directiva Marco de Aguas y la Agenda 2000. Fenacore, Córdoba, España. 138 pp.

Calatrava J, García-Valiñas M, Garrido A, González-Gómez F (2015). Water pricing in Spain: Following the footsteps of somber climate change projections. En: Water pricing experiences and innovations (Ed. Dinar A, Pochat V, Albiac-Murillo J), pp. 313-340. Springer, Dordrecht, Alemania.

Calatrava J, Guillem A, Martínez-Granados D (2011). Análisis de alternativas para la eliminación de la sobreexplotación de acuíferos en el Valle de Guadalentín. Economía Agraria y Recursos Naturales 11: 33-62.

Cornish G, Bosworth B, Perry CJ, Burke JJ (2004). Water charging in irrigated agriculture: An analysis of international experience. Food & Agriculture Organization, Roma. 98 pp.

Cortignani R, Severini S (2009). Modeling farm-level adoption of deficit irrigation using Positive Mathematical Programming. Agricultural Water Management 96: 1785-1791.

Dinar A (2000). The political economy of water pricing reforms. World Bank, New York. 404 pp.

Dinar A, Pochat V, Albiac J (2015). Water pricing experiences and innovations. Springer, Dordrecht, Alemania. 471 pp.

Gómez-Limón JA, Arriaza M, Berbel J (2002). Conflicting implementation of agricultural and water policies in irrigated areas in the EU. Journal of Agricultural Economics 53: 259-281.

Gómez-Limón JA, Berbel J (2000). Multicriteria analysis of derived water demand functions: A Spanish case study. Agricultural Systems 63: 49-72.

Gómez-Limón JA, Riesgo L (2004). Irrigation water pricing: Differential impacts on irrigated farms. Agricultural Economics 31: 47-66.

Gómez-Limón JA, Riesgo L, Arriaza M (2004). Multi-criteria analysis of input use in agriculture. Journal of Agricultural Economics 55: 541-564.

Grafton RQ, Chu L, Kompas T (2015). Optimal water tariffs and supply augmentation for cost-of-service regulated water utilities. Utilities Policy 34: 54-62.

Gutiérrez-Martín C, Gómez-Gómez CM (2011). Assessing irrigation efficiency improvements by using a preference revelation model. Spanish Journal of Agricultural Research 9: 1009-1020.

Hazell PBR, Norton RD (1986). Mathematical programming for economic analysis in agriculture. MacMillan Publishing Company, Nueva York, EE. UU. 400 pp.

Heckelei T, Britz W (2000). Positive Mathematical Programming with multiple data points: A cross-sectional estimation procedure. Cahiers d'Economie et Sociologie Rurales 57: 28-50.

Howitt RE (1995). Positive mathematical programming. American Journal of Agricultural Economics 77: 329-342.

Howitt RE, Watson WD, Adams RM (1980). A reevaluation of price elasticities for irrigation water. Water Resources Research 16: 623-628.

Iglesias E, Blanco M (2008). New directions in water resources management: The role of water pricing policies. Water Resources Research 44: W06417.

Kahil MT, Albiac J, Dinar A, Calvo E, Estevan E, Avella L, García-Mollá M (2016). Improving the performance of water policies: Evidence from drought in Spain. Water 8: 34.

Martínez-Álvarez V, García-Bastida PA, Martín-Gorriz B, Soto-García M (2014). Adaptive strategies of on-farm water management under water supply constraints in south-eastern Spain. Agricultural Water Management 136: 59-67.

Massarutto A (2015). Water pricing in Italy: Beyond full-cost recovery. En: Water pricing experiences and innovations (Ed. Dinar A, Pochat V, Albiac-Murillo J), pp. 201-230. Springer, Dordrecht, Alemania.

Medellín-Azuara J, Howitt RE, Harou JJ (2012). Predicting farmer responses to water pricing, rationing and subsidies assuming profit maximizing investment in irrigation technology. Agricultural Water Management 108: 73-82.

Mejías P, Varela Ortega C, Flichman G (2004). Integrating agricultural policies and water policies under water supply and climate uncertainty. Water Resources Research 40: W07S03.

Molle F, Berkoff J (2007). Irrigation water pricing: The gap between theory and practice. Cabi, Wallingford, Reino Unido. 346 pp.

Pérez-Blanco CD, Standardi G, Mysiak J, Parrado R, Gutiérrez-Martín C (2016). Incremental water charging in agriculture. A case study of the Regione Emilia Romagna in Italy. Environmental Modelling & Software 78: 202-215.

Rey D, Garrido A, Calatrava J (2014). The water markets in Spain: Moving towards 21st century mechanisms and approaches with 20th century regulations. En: Water markets for the 21st century: What have we learned? (Ed. Easter KW, Qiuqiong H), pp. 127-147. Springer, Nueva York, EE. UU.

Riesgo L, Gómez-Limón JA (2006). Multi-criteria policy scenario analysis for public regulation of irrigated agriculture. Agricultural Systems 91: 1-28.

Röhm O, Dabbert S (2003). Integrating agri-environmental programs into regional production models: An extension of Positive Mathematical Programming. American Journal of Agricultural Economics 85: 254-265.

Romero C, Rehman T (2003). Multiple criteria analysis for agricultural decisions. Elsevier, Amsterdam, Países Bajos. 186 pp.

Sumpsi JM, Amador F, Romero C (1996). On farmers' objectives: A multi-criteria approach. European Journal of Operational Research 96: 64-71.

Tsur Y, Dinar A, Doukkali RM, Roe T (2004). Irrigation water pricing: Policy implications based on international comparison. Environment and Development Economics 9: 735-755.

Varela-Ortega C, Sumpsi JM, Garrido A, Blanco M, Iglesias E (1998). Water pricing policies, public decision making and farmers' response: Implications for water policy. Agricultural Economics 19: 193-202.

Wheeler S, Bjornlund H, Shanahan M, Zuo A (2008). Price elasticity of water allocations demand in the Goulburn-Murray Irrigation District. Australian Journal of Agricultural and Resource Economics 52: 37-55.

(Aceptado para publicación el 13 de abril de 2016)

www.aida-itea.org
ASOCIACIÓN INTERPROFESIONAL
PARA EL DESARROLLO AGRARIO

itea
Información Técnica Económica Agraria

CONCESIÓN DEL PREMIO PRENSA AGRARIA 2016 DE AIDA

Presidente
Juan A. Marín

Secretaria
Clara Mª Marín Alcalá

Dª. Clara Mª Marín Alcalá, Directora de la revista ITEA, en calidad de Secretaria del Jurado para la concesión del Premio Prensa Agraria 2016 de la Asociación Interprofesional para el Desarrollo Agrario (AIDA).

Notifica que reunido el Jurado para la concesión del Premio Prensa Agraria 2016 el día 7 de febrero de 2017, en las instalaciones del Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA), del que forman parte el Presidente de AIDA que preside el Jurado, la Directora de la revista ITEA, el Director Gerente del CITA del Gobierno de Aragón, el Director del Instituto Agronómico Mediterráneo de Zaragoza, el Director de la Estación Experimental de Aula Dei y el Director del Instituto Pirenaico de Ecología, han decidido por unanimidad que el Premio Prensa Agraria 2016 ha recaído en **J. López-Marín, A. Gálvez, I. Porras y J.M. Brotons-Martínez** por su artículo publicado en la revista ITEA titulado **"Injerto en pimiento (*Capsicum annuum*): Beneficios y rentabilidad de su uso".**

Zaragoza 7 de febrero de 2017

EL PRESIDENTE DE AIDA
Juan A. Marín

PREMIOS DE PRENSA AGRARIA 2017 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 2017. 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:

NORMAS PARA LOS AUTORES (actualizado enero 2017)

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 3 meses 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 6 meses 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 30 páginas. Los apartados de una revisión serán los mismos que en artículos de investigación.

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 80 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 113
Número 1
Marzo 2017

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