itea

información técnica económica agraria

REVISTA DE LA ASOCIACIÓN INTERPROFESIONAL PARA EL DESARROLLO AGRARIO



Volumen 111

Número 2

Junio 2015

AIDA

www.aida-itea.org

itea

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

2015 - AÑO XLX Vol. 111 N.º 2 http://dx.doi.org/10.12706/itea	**DIRECCIÓN Y REDACCIÓN** Avda. Montañana, 930 50059 ZARAGOZA (ESPAÑA) Tel.: 34-976 716305 Fax.: 34-976 716335 E-mail: cmmarin@aragon.es	Depósito legal: Z-577-82 ISSN: 2386-3765 INO Reproducciones, S.A. Pol. Malpica, calle E, 32-39 (INBISA II, nave 35) 50016 Zaragoza

DIRECTOR: Clara Mª Marín, CITA de Aragón. España
SUBDIRECTOR: Pilar Andreu, EEAD Zaragoza. España
EDITORES CIENTÍFICOS: Alicia Cirujeda, CITA de Aragón. España
Azucena Gracia, CITA de Aragón. España
Ramón Isla, CITA de Aragón. España
Albina Sanz, CITA de Aragón. España
EDITOR TÉCNICO: Mireia Blanco, CITA de Aragón. España

COMITÉ DE REDACCIÓN: Alfonso Abecia, Universidad de Zaragoza. España
Javier Álvarez, Universitat de Lleida. España
Jorge Álvaro, EEAD Zaragoza. España
Carlos Calvete, CITA de Aragón. España
Fernando Escriu, CITA de Aragon. España
Cristina Mallor, CITA de Aragón. España
Juan A. Marín, EEAD Zaragoza. 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, DGA, 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.

Suscripciones y Distribución: ITEA publica anualmente cuatro volúmenes. El precio de la suscripción para 2015 es de 42 €. Se acepta el intercambio con otras revistas. E-mail: jmoreno@aragon.es



Foto y texto: Alicia Cirujeda

La espuela de caballero (*Delphinium* spp.) es una planta considerada mesícola, es decir, acompañante de cultivos de cereal. En tiempos anteriores a la revolución verde eran unas especies muy presentes y que podían producir serios problemas de competencia. En la actualidad, en cambio, son consideradas raras, ya que son sensibles a la mayoría de herbicidas utilizados y no pueden competir con las variedades de cereal mejoradas capaces de aprovechar de forma óptima el abonado químico. No obstante, las condiciones climáticas de esta pasada campaña agrícola le han sido muy propicias y se les ha podido ver en muchos lugares. También en cultivos de cereal ecológico como el de la fotografía en Fuentes Calientes (Teruel) han sido muy abundantes y han teñido los campos con su particular coloración.

Despedida de tres miembros de la junta de AIDA

En la Asamblea General Ordinaria de la Asociación Interprofesional para el Desarrollo Agrario del 20 de mayo de 2015, D. Emilio Manrique, D. Pere Albertí y D. Rafael Socias i Company expresaron su deseo de dejar de pertenecer a la Junta Directiva de AIDA al haber alcanzado la edad próxima a la jubilación. Desde la Revista ITEA queremos agradecer a los tres la dedicación y el trabajo realizados durante sus años de pertenencia a AIDA y a su Junta Directiva. Su actividad desinteresada ha permitido que la revista creciera en calidad a lo largo de todos estos años.

Cuarenta años no son nada,
aunque más de media vida
pero al ser socio de AIDA
no han sido carga pesada.
Ir de jornada en jornada,
del uno al otro confín,
siempre buscando un buen fin
pues no hay que llegar al colmo
de pedir peras al olmo
cuando lo que da es serrín.

Otros han de dar el callo
pues cambia la situación:
cayó la jubilación
en la que ahora me hallo.
Y como no soy vasallo
más que de mi fiel labor,
doy el paso sin rubor
y al ver que el almendro crece
la etapa que ahora amanece
puede incluso ser mejor.

D. Rafael Socias i Company

Sumario

Producción Vegetal

Eficacia del insecticida triflumuron en el control de las moscas del champiñón.
Effectiveness of the insecticide triflumuron in the control of mushroom flies.
M.J. Navarro y F.J. Gea 99

Efecto del volumen de suelo húmedo en riego localizado para el cultivo del avellano (*Corylus avellana* L.).
*Effect of wet soil volume in microirrigation for hazelnut production (*Corylus avellana *L.).*
J.R. Gispert, F. Ramírez de Cartagena, J.Mª Villar y M. Rovira 109

Producción Animal

Impacto de la prolificidad en la política de reemplazamiento de cerdas reproductoras.
Impact of prolificity on sow replacement policies.
Y. Fernández, C. Bono, D. Babot y L.M. Plà 127

Evolución a lo largo del ciclo de puesta del contenido de ácidos grasos omega-3 en huevos enriquecidos de producción ecológica.
Evolution of the omega-3 fatty acid content in enriched organic eggs throughout the laying period.
M. Tor, M. Llovera, J.A. Moreno y E. Angulo 142

Economía Agraria

Evaluación económica de las estrategias de mitigación de gases de efecto invernadero en sistemas de producción de patata.
Economic evaluation of strategies for mitigating greenhouse gas emissions in potato production systems.
J. Cayambe, A. Iglesias, S. García de Jalón, C. Chuquillanqui y P. Riga 154

Impacto de la crisis en las cooperativas de vino: desempeño y estrategias en Castilla-La Mancha.
Impact of the crisis period on the coop-wineries: performance and strategies in Castilla La Mancha.
J.S. Castillo-Valero, K. Simon-Elorz y M.C. García-Cortijo 174

Eficacia del insecticida triflumuron en el control de las moscas del champiñón

M.J. Navarro* y F.J. Gea

Centro de Investigación, Experimentación y Servicios del champiñón (CIES). c/ Peñicas s/n. 16220 Quintanar del Rey, Cuenca, España

Resumen

Se ha valorado la eficacia del insecticida triflumuron para el control de las moscas del champiñón *Megaselia halterata* (Diptera: Phoridae) y *Lycoriella auripila* (Diptera: Sciaridae). También se ha evaluado el efecto de este insecticida sobre la producción del champiñón, midiendo el rendimiento durante tres floradas y la precocidad en la cosecha. Los ensayos de eficacia se han realizado permitiendo la infestación natural con moscas de las unidades de cultivo antes de la cobertura, registrando el descenso en el número de adultos de primera generación capturado en placas adhesivas. Este ensayo se ha repetido dos veces con diferentes presiones de infestación.

Los resultados muestran que la aplicación del insecticida triflumuron, a las dos dosis empleadas (0,5 y 1 g m^{-2} de ingrediente activo (i.a.)), no produce pérdida de rendimiento ni retraso en la cosecha. En cuanto a la eficacia en el control de moscas, el descenso en el número de esciáridos capturados supera el 90% en todos los casos ensayados, lo que se traduce en una alta eficacia del triflumuron en el control de *L. auripila* a las dos dosis empleadas. Por el contrario, no se ha detectado descenso en el número de fóridos recuperados, independientemente de la dosis de insecticida, lo que demuestra la ineficacia del triflumuron en el control de *M. halterata*.

Palabras clave: *Agaricus bisporus*, Dípteros, *Megaselia halterata*, *Lycoriella auripila*, Control químico.

Abstract
Effectiveness of the insecticide triflumuron in the control of mushroom flies

The effectiveness of the insecticide triflumuron for controlling the flies *Megaselia halterata* (Diptera: Phoridae) and *Lycoriella auripila* (Diptera: Sciaridae), which frequently infect *Agaricus* mushroom crops, was assessed. Two assays, which involved natural infestation by flies from the cultivation blocks before casing, were carried out. The decrease in the number of first generation adults following application of the insecticide was recorded by sticky traps. The assay was repeated twice with different infestation loads.

The possible effect of triflumuron on the *Agaricus* crop was also evaluated by recording the yield in three successive flushes and the earliness of the harvest.

The results show that triflumuron, at both doses used (0.5 and 1 g m^{-2} active ingredient (a.i.)), does not reduce the yield or delay harvesting. The number of sciarids trapped fell by more than 90% compared with a control, confirming the effectiveness of the insecticide for controlling *L. auripila* at both doses applied. However, the number of phorids retrieved remained unchanged, regardless of the insecticide dose, so that triflumuron cannot be considered useful for controlling *Megaselia halterata.*

Key words: *Agaricus bisporus*, Diptera, *Megaselia halterata*, *Lycoriella auripila*, Chemical control.

* Autor para correspondencia: mjnavarro.cies@dipucuenca.es

http://dx.doi.org/10.12706/itea.2015.007

Introducción

El cultivo de champiñón, *Agaricus bisporus* (Lange) Imbach, tiene una amplia implantación a nivel mundial. En España, la producción de champiñón durante el año 2012 ascendió a 134.676 toneladas, lo que le convierte en el cuarto país productor europeo. Esta producción se localiza principalmente en dos Comunidades Autónomas, La Rioja y Castilla-La Mancha, con 70.109 y 59.251 toneladas, respectivamente (MAGRAMA, 2013).

Entre las principales plagas de los hongos cultivados destacan algunas especies de moscas fóridas y esciáridas que ocasionan tanto daños directos como indirectos: las larvas se alimentan del micelio en desarrollo e incluso de los carpóforos ya formados, por lo que afectan al rendimiento productivo, mientras que los adultos son utilizados como vectores por otras plagas y enfermedades, como el ácaro *Brennandania lambi* y el hongo *Lecanicillium fungicola* (Binns *et al*., 1979; Clift y Toffolon, 1981; White, 1981; Clift y Larsson, 1987; Navarro *et al*., 2010). La abundancia de moscas en el interior de un local de cultivo y el nivel de daños ocasionados por los mismos están directamente relacionados con la población presente en las etapas iniciales del ciclo: momento de la siembra y días inmediatamente posteriores (Binns *et al*., 1979). Otro momento también propicio para la infestación por estos dípteros ocurre aproximadamente quince días después, cuando se procede a la aplicación de la mezcla de materiales de cobertura sobre el compost incubado (Scheepmaker *et al*., 1997a; Navarro *et al.*, 2004). En las explotaciones castellano-manchegas de champiñón se han identificado al fórido *Megaselia halterata* (Diptera: Phoridae) y al esciárido *Lycoriella auripila* (Diptera: Sciaridae) como las principales plagas de moscas, con un claro predominio del fórido frente al esciárido, tanto en número de individuos (proporción 4:1), como en estacionalidad, ya que los fóridos están presentes en las explotaciones durante todo el año, mientras que los esciáridos se encuentran principalmente en primavera (Navarro *et al*., 2000; 2004).

La principal recomendación para la lucha contra las moscas del champiñón es la utilización de barreras físicas en los accesos y en las aperturas de ventilación, para la exclusión de los adultos desde la entrada del sustrato de cultivo en la explotación hasta el inicio de la inducción de la fructificación (Finley *et al*., 1984; Navarro *et al*., 2004). Así, eliminando la posibilidad de desarrollo de estos dípteros en los sustratos durante las primeras etapas del ciclo, en las que las temperaturas son más elevadas, se retrasa la aparición de la primera generación desarrollada íntegramente en el interior de las explotaciones, e incluso se puede evitar la aparición de una segunda generación, que sería aún más dañina (Cantelo, 1983 y 1985). Las barreras físicas recomendadas son: la supresión de las grietas de los muros de los locales de cultivo, la instalación de tubos de luz negra sobre una superficie impermeable tratada con algún insecticida de contacto, la desinfección de las cajas de recolección y de las demás herramientas utilizadas en los cultivos, y la instalación de filtros antiesporas, o en su defecto mallas "antitrips", en las entradas y salidas de aire de los locales de cultivo (Grupo de Trabajo Fitosanitario del Champiñón y otros Hongos Cultivados, 1997; Coles, 2002). También se recomienda la instalación de trampas adhesivas para el seguimiento de las poblaciones de dípteros en las explotaciones (Cantelo, 1980).

Sin embargo, el sistema más frecuentemente utilizado en el control de las moscas del champiñón ha sido la aplicación de tratamientos insecticidas. En la segunda mitad del siglo pasado la relación de principios activos recomendados en los países productores de champiñón era muy extensa –malation, diazinon, metopreno, permetrina, diclorvos, clorpirifos, deltametrin, carbofuran, bendiocarb, ciro-

mazina, diflubenzuron, triflumuron, azadiractina– con diferente eficacia de los mismos sobre *M. halterata*, *Bradysia tritici* (Coq.) y *L. mali* (Cantelo, 1983 y 1985; Geels y Rutjens, 1992; Keil y Barlett, 1995; Baba y Sandhu, 1996; Erler *et al*., 2009). Sin embargo, la aplicación de insecticidas ha mostrado en muchas ocasiones un efecto negativo sobre el cultivo, como por ejemplo el descenso de rendimiento y el retraso en la cosecha de cepas sensibles al diazinón, disminución de la producción de hasta el 15% debido a la aplicación de diflubenzuron en cobertura, o descensos de rendimiento atribuidos a la aplicación de clorpirifos (Cantelo *et al*., 1982; Richardson y Grewal, 1991; Geels y Rutjens, 1992; Grewal *et al*., 1992; Scheepmaker *et al*., 1998a; Erler *et al*., 2009; Shamshad, 2010). Este efecto negativo de los principios activos, junto con la aparición de resistencia a los insecticidas en estas plagas (Bartlett y Keil, 1997; Scheepmaker *et al*., 1997b) y la posibilidad de acumulación de residuos en el champiñón (Navarro y Gea, 2006) provocó la retirada de muchos de ellos. Ante esta situación, la investigación en la lucha contra las plagas del champiñón buscó alternativas en los organismos de control biológico. Entre ellos destacan los trabajos desarrollados con nematodos entomopatógenos (Richardson, 1987; Richardson y Grewal, 1991), principalmente con *Steinernema* spp., resaltando la eficacia de *S. feltiae* (Filipjev) en el control de esciáridos, pero no así en el de los fóridos del champiñón (Scheepmaker *et al*., 1995, 1997b y 1998b). Recientemente se ha estudiado la eficacia de algunos aceites esenciales extraídos de plantas, destacando, en los bioensayos realizados, los de anís, rábano picante, ajo, comino, menta y tomillo rojo como larvicidas de esciáridos (Park *et al*., 2006, 2008), mientras que otros (extracto de neem y de orégano) se han mostrado eficaces en el control de *M. halterata* en cultivo (Erler *et al*., 2009).

El proceso de revisión de principios activos llevado a cabo por la Unión Europea ha limitado el número de insecticidas disponibles en los países productores de champiñón (Directiva 91/414/CEE). Actualmente, de los principios activos eficaces contra las moscas del champiñón únicamente malation, clorpirifos, deltametrin, ciromazina, diflubenzuron, triflumuron y azadiractina se encuentran incluidas en el Registro Único Europeo. Por lo que respecta a España, los insecticidas autorizados en el cultivo de champiñón son: deltametrin (2,5%, [EC] P/V, 1,5% [EW] P/V), azadiractin (3,2%, [EC] P/V), diflubenzuron (25%, WP) y ciromazina (75%, [WP] P/P). Los dos primeros se han mostrado eficaces como tratamiento preventivo para las moscas adultas, mientras que los dos últimos son larvicidas eficaces en el control de los esciáridos (Gea y Navarro, 2002 y 2008; Shamshad *et al*., 2008; Shamshad 2010; Erler *et al*., 2011), pero no de fóridos (Cantelo, 1985; Grewal *et al*., 1993).

En este momento, los cultivadores de champiñón españoles no disponen de un medio eficaz para controlar a los fóridos (Gea y Navarro, 2008), principal mosca-plaga en sus explotaciones. El triflumuron ha demostrado ser eficaz frente a los esciáridos del champiñón (Shamshad *et al*., 2009; Erler *et al*., 2011), pero, que tengamos conocimiento, no hay publicaciones que aporten datos sobre su eficacia frente a los fóridos. En este trabajo se pretende evaluar la eficacia del triflumuron en el control de las dos especies de moscas consideradas plagas del cultivo del champiñón en España, junto con el posible efecto del insecticida sobre la producción de *A. bisporus*.

Material y métodos

Los ensayos se plantearon utilizando dos formulados de triflumuron, Alsystin 25% WP y Alsystin SC 480 (Bayer CropScience SL), y contrastándolos con un formulado de diflubenzuron, Dimilin 25% WP (UniRoyal Chemical), que es el insecticida más ampliamente utilizado en la comarca de La Manchuela (nor-

este de la provincia de Albacete y sureste de la provincia de Cuenca). El ensayo de influencia sobre rendimiento se hizo con el formulado de polvo mojable, mientras que los ensayos de eficacia en el control de las moscas se realizaron con el formulado de suspensión concentrada.

Valoración del efecto del triflumuron sobre el rendimiento y la precocidad en la producción de champiñón

Se utilizaron dos dosis de triflumuron y una dosis de diflubenzuron aplicadas mediante riego a la mezcla de cobertura (suelo mineral y turba, 4:1). El ensayo se desarrolló en una sala de cultivo experimental (85 m^3), siguiendo las prácticas habituales utilizadas en las explotaciones de champiñón de la comarca (Navarro *et al*., 2004).

El ensayo consistió en el cultivo de 144 paquetes de sustrato Fase II, es decir, bloques compactos de 20 kg aprox. de compost, con unas dimensiones de 60 x 40 x 18 cm, inoculados al 1% con micelio de champiñón sobre grano de centeno de la variedad Amycel XXX. Se realizaron 4 tratamientos de 36 paquetes cada uno: C, control, tratado con agua; D, 4 g m^{-2} de Dimilin 25 WP; A2, 2 g m^{-2} de Alsystin 25 WP; y A4, 4 g m^{-2} de Alsystin 25 WP. Los 36 paquetes se dividieron en 6 repeticiones, con 6 paquetes por repetición, para cada tratamiento, distribuidas al azar en el interior del local de cultivo (dimensiones: 15 x 3 x 2,5 m). Transcurrida la etapa de incubación (14-18 días), sobre la superficie del paquete se aplicó el material de cobertura (mezcla de suelo mineral y turba, en una proporción 4:1) con un espesor de 3-3,5 cm (8 L aproximadamente por paquete). La aplicación de los insecticidas se realizó 2 días después de la cobertura. Tras 15-20 días, se inició la cosecha diaria de los champiñones, que se prolongó durante tres floradas (aproximadamente 21 días). Para valorar el efecto de los insecticidas sobre la producción de champiñón se consideraron los datos de rendimiento y la precocidad en la producción, es decir el tiempo que transcurre entre la cobertura y la cosecha de la primera florada, ponderando la producción media diaria de esta florada. Así mismo se constató la posible formación de manchas o anomalías atribuibles a la aplicación de los insecticidas evaluados.

Valoración de la eficacia del triflumuron en el control de las moscas del champiñón

Se realizaron dos ensayos (dos ciclos de cultivo) para valorar la eficacia de dos dosis del insecticida triflumuron 48% (Alsystin SC 480). Las dosis fueron de 1 y 2 ml por m^2 de superficie de cultivo. Como testigo positivo se utilizó diflubenzuron 25% (Dimilin 25 WP), a razón de 4 g m^{-2}. También se usó un testigo infestado de dípteros y tratado con agua. Ambos ensayos siguieron idéntica metodología, aunque el tamaño de la población de moscas utilizadas en la infestación de cada ensayo fue distinto.

Los ensayos se llevaron a cabo en las instalaciones del Centro de Investigación, Experimentación y Servicios (C.I.E.S.) del champiñón, en Quintanar del Rey (Cuenca). Por un lado, se utilizó un local de cultivo, llamado cultivo de infestación, de dimensiones: 13 x 2,60 x 2,60 m, y por otro, dos cabinas visitables IBERCEX, con unas dimensiones de 3,70 x 2,10 x 2,60 m. Cada uno de los ensayos se desarrolló en una de las cabinas visitables (Cabinas 1 y 2), en las que se ubicaron 24 cubetas de sustrato por cabina. Cada cubeta contenía 6 kg de sustrato (compost Fase III), con una superficie de 870 cm^2. Al día siguiente del inicio del ensayo I, las 24 cubetas de la Cabina 1 se trasladaron al cultivo de infestación, en el que se había permitido la proliferación de las moscas. Se hizo coincidir el traslado de las cubetas de la Cabina 1 con la cosecha de la primera florada en el cultivo

infestación, momento en que habitualmente se detecta una elevada presencia de moscas en el cultivo. Se registró la población de moscas en este local de infestación durante los dos días (48 horas) que permanecieron las cubetas en el local mediante la captura de adultos en placas adhesivas amarillas. Tras los dos días, las cubetas se reubicaron de nuevo en la Cabina 1. Al día siguiente se aplicó la mezcla de cobertura (turba Euroveen®) sobre el sustrato incubado e infestado, y cada cubeta se cubrió individualmente con una estructura cúbica con las caras fabricadas con malla antitrips (37 x 37 x 26 cm), estructura que permaneció hasta la finalización del ensayo. Del interior del cubo se colgó una trampa adhesiva amarilla para la captura de moscas. Las 24 cubetas se clasificaron en 4 tratamientos, con 6 repeticiones por tratamiento: CI, control infestado y sin tratamiento insecticida; D, control positivo: infestado y con aplicación de 4 g m^{-2} de Dimilin 25 WP; A1, aplicación de 1 ml m^{-2} de Alsystin SC 480 y A2, aplicación de 2 ml m^{-2} de Alsystin SC 480. La aplicación de los tratamientos fitosanitarios se realizó, mediante un único riego, tres días después de aplicar la cobertura sobre el compost. El cultivo se realizó de la manera habitual y se prolongó hasta que el número de individuos capturados en las placas se hubo estabilizado, momento en que se retiraron las placas y se dio por concluido el ensayo. Posteriormente se procedió, en el laboratorio, al recuento e identificación, bajo lupa binocular, de las moscas capturadas en las placas adhesivas. Por otro lado se anotó puntualmente cualquier anomalía, mancha o malformación detectada en el champiñón recolectado.

El segundo ensayo (cabina 2) se inició una semana después del primero, con el fin de hacer coincidir el traslado de las 24 cubetas con compost Fase III con la cosecha de la segunda florada en el local de infestación, etapa en la que habitualmente se detecta menor número de moscas en los locales de cultivo. El resto del ensayo se desarrolló de igual modo que el ensayo anterior. Con este planteamiento, se pretendía valorar la eficacia del triflumuron frente a dos poblaciones de infestación de diferente tamaño. Las poblaciones de fóridos y esciáridos (presión de infestación) registradas en el cultivo de infestación en los dos periodos en que las cubetas se expusieron a la infestación natural por moscas fueron: 584 fóridos y 139 esciáridos por día en el Ensayo I, y 388 fóridos y 29 esciáridos por día en el Ensayo II.

Análisis estadístico

Se realizó el análisis de varianza (ANOVA) de los datos, utilizando el paquete informático Statgraphics Plus v.4.1 (Statistical Graphics Corp., Princenton, N.J., EE.UU.). En los valores de recuentos de moscas, con la excepción de los fóridos del Ensayo I, los datos fueron transformados utilizando la función log (x+1), con el fin de cumplir con los requisitos de normalidad y homocedasticidad requeridos para la realización del ANOVA. Para el establecimiento de diferencias significativas se utilizó el test de Tukey-HSD, al 5% de probabilidad.

Resultados

Valoración del efecto del triflumuron sobre el rendimiento y la precocidad en la producción de champiñón

No se encontraron diferencias significativas en las producciones de los distintos tratamientos (Tabla 1), ni en la primera florada ($F_{3,20}$= 0,26; p = 0,8520), ni en la segunda ($F_{3,20}$ = 0,15; p = 0,9266), ni en la tercera ($F_{3,20}$= 1,03; p = 0,3996), ni en la producción total ($F_{3,20}$= 0,11; p = 0,9512), alcanzándose, en lo que respecta a esta última, valores superiores a los 20 kg m^{-2} en todos los casos. En ningún caso se apreciaron manchas o anomalías atribuibles a la aplicación de los insecticidas.

Tabla 1. Rendimiento de champiñón y precocidad (valor medio y desviación estándar) en los distintos tratamientos[1]
Table 1. Yield of mushroom crop and earliness (mean and standard deviation) in the different treatments

	Rendimiento (kg m^{-2})				
Tratamiento	1ª Florada	2ª Florada	3ª Florada	Total	Precocidad (día)
C	6,5 ± 0,5	10,8 ± 0,7	3,5 ± 0,7	20,9 ± 0,8	23,7 ± 0,1
D	6,3 ± 0,8	10,4 ± 1,3	4,2 ± 1,0	20,9 ± 1,2	23,8 ± 0,1
A2	6,4 ± 0,6	10,7 ± 1,5	4,1 ± 0,6	21,2 ± 1,9	23,7 ± 0,1
A4	6,2 ± 0,4	10,5 ± 1,4	4,1 ± 0,8	20,8 ± 1,5	23,8 ± 0,1

[1]C: control, solo agua; D: aplicación de 4 g m^{-2} de Dimilin 25 WP; A2: aplicación de 2 g m^{-2} de Alsystin 25% WP; A4: aplicación de 4 g m^{-2} de Alsystin 25% WP.

La aplicación de los insecticidas no afectó tampoco a la precocidad de la producción, con valores de 23,7-23,8 días en todos los tratamientos ($F_{3,19}$= 0,76; p = 0,5304) (Tabla 1).

Valoración de la eficacia del triflumuron en el control de las moscas del champiñón

Control de Megaselia halterata

En el Ensayo I (presión de infestación de 584 fóridos y 139 esciáridos por día), no se detectaron diferencias estadísticamente significativas en el número de fóridos capturados en los distintos tratamientos ensayados ($F_{3,20}$ = 0,31; p = 0,8213), aunque se aprecia un descenso próximo al 25% en el tratamiento A2 (2 ml m^{-2} de Alsystin SC 480) con respecto a CI (control infestado) (Tabla 2). En el Ensayo II (presión de infestación de 388 fóridos y 29 esciáridos por día), tampoco se encontraron diferencias significativas entre las capturas registradas en los distintos tratamientos ($F_{3,20}$ = 0,91; p = 0,4525), aunque en este caso el menor número de capturas corresponde al tratamiento CI (control infestado) (Tabla 2).

Control de Lycoriella auripila

En el Ensayo I (presión de infestación de 584 fóridos y 139 esciáridos por día), el valor medio de capturas de moscas esciáridas en el tratamiento CI (control infestado) fue significativamente superior ($F_{3,20}$ = 87,99; p = 0,0000) al obtenido en todos los tratamientos insecticidas (A1, A2 y D), que registraron más de un 99% de reducción de emergencia de esciáridos (Tabla 2). En el Ensayo II (presión de infestación de 388 fóridos y 29 esciáridos por día), también se detectaron diferencias significativas entre el valor del control infestado y los valores de capturas de los tres tratamientos insecticidas ($F_{3,19}$ = 92,23; p = 0,0000), registrándose en éstos reducciones similares (97%) a las del ensayo anterior (Tabla 2).

Tabla 2. Número de fóridos y esciáridos capturados en los diferentes tratamientos aplicados[1] en los dos ensayos realizados[2] (valor medio y desviación estándar)
Table 2. Total numberof phorids and sciarids captured for each of the treatments in both assays (mean and standard deviation)

	Tratamiento	Fóridos	Esciáridos	
Ensayo I	CI	512,7 ± 219,3	649,8 ± 137,5	b
	D	577,8 ± 437,8	4,0 ± 5,0	a
	A1	503,8 ± 476,6	5,0 ± 4,1	a
	A2	388,5 ± 143,2	2,3 ± 1,5	a
Ensayo II	CI	666,7 ± 365,7	143,5 ± 91,0	b
	D	915,2 ± 986,3	2,4 ± 1,3	a
	A1	846,7 ± 571,5	2,3 ± 2,0	a
	A2	1.110,0 ± 439,2	2,7 ± 0,8	a

[1]CI: control infestado tratado únicamente con agua; D: aplicación de 4 g m^{-2} de Dimilin 25 WP; A1: aplicación de 1ml m^{-2} de Alsystin SC 480 WP; A2: aplicación de 2 ml m^{-2} de Alsystin SC 480 WP.

[2]Ensayo I: presión de infestación de 584 fóridos y 139 esciáridos por día. Ensayo II: presión de infestación de 388 fóridos y 29 esciáridos por día.

Dentro de cada columna, y para cada ensayo, valores seguidos por letras distintas indican diferencias significativas según el test de Tukey ($p < 0.05$).

Discusión

En este trabajo se muestran los resultados de la valoración de la eficacia y el efecto sobre la producción de champiñón del triflumuron, aplicado para el control de las moscas *Megaselia halterata* (Wood) y *Lycoriella auripila* Winnertz (Diptera: Phoridae y Sciaridae), contrastándolo con el diflubenzuron, insecticida actualmente autorizado en España y ampliamente utilizado en la comarca de La Manchuela.

Los resultados muestran que el Alsystin 25% WP no produce ningún efecto tóxico sobre el cultivo de champiñón, al no detectarse ni descensos ni anomalías en la producción con ninguna de las dos dosis aplicadas. Estos resultados concuerdan con los descritos por Shamshad *et al*. (2009) y Erler *et al*. (2011), quienes tampoco observaron descensos de producción asociados a la aplicación de triflumuron en cobertura.

Por otra parte, también se ha observado que, al igual que el diflubenzuron 25% WP, el Alsystin SC 480 se muestra altamente eficaz en el control de *L. auripila*, independientemente de la presión de infestación. Estos resultados están en consonancia con los obtenidos por Shamshad *et al*. (2009) en Australia, quienes describen un excelente control de las poblaciones del esciárido *Bradysia ocellaris* (Comstock) tras la aplicación en cobertura de triflumuron 25% WP (dosis de aplicación: 20 mg kg^{-1}). Los resultados también concuerdan con los obtenidos por Erler *et al*. (2011) en Turquía, que encuentran reducciones del 78% en la emergencia de adultos de *Lycoriella ingenua* (Dufour) aplicando triflumu-

ron 48% a una dosis de 1g m^{-2}. Considerando que ambos insecticidas tienen las mismas características toxicológicas y ecotoxicológicas, es de resaltar que los resultados obtenidos con la dosis más baja de triflumuron (0,5 g de i.a. por m^2) son similares a los de los otros dos tratamientos, en los que la concentración de ingrediente activo, tanto del triflumuron como del diflubenzuron, fue del doble. La reducción de la dosis de aplicación encajaría con los principios generales de la gestión integrada de plagas recogidos en la Normativa de uso sostenible de productos fitosanitarios (R.D. 1311/2012).

En cuanto al efecto sobre los fóridos, la aplicación de Alsystin 480 SC no produjo ningún control sobre las poblaciones de *M. halterata*, independientemente de la presión de infestación y de la dosis de aplicación del triflumuron. Que tengamos conocimiento, no hay trabajos publicados que aporten información sobre la eficacia del triflumuron frente a los fóridos. Sin embargo, sí existen referencias sobre la falta de eficacia frente a estos dípteros de otros insecticidas como el diflubenzuron (Grewal *et al*., 1993; Gea y Navarro, 2008), o sobre la eficacia del insecticida clorpirifos, con descensos de poblaciones de *M. halterata* en Turquía de hasta el 72% (Erler *et al*., 2009). También se han mostrado ineficaces en el control de estos dípteros los nematodos entomopatógenos (Scheepmaker *et al*., 1995, 1997b y 1998b; Navarro y Gea, 2014) y la bacteria *Bacillus thuringiensis* var. *israelensis* (BTI) (Keil, 2002). Por otra parte, más recientemente se ha descrito la utilidad de aceites esenciales extraídos de plantas en el control de los fóridos (Erler *et al*., 2009).

Por lo tanto, a la vista de los resultados se puede concluir que el triflumuron no es eficaz en el control de *Megaselia halterata* (Wood) (Diptera: Phoridae). Por el contrario, en el caso de ser autorizado en España, sí podría ser empleado como medio de control de *Lycoriella auripila* Winnertz (Diptera: Sciaridae) en las explotaciones de champiñón.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el convenio de colaboración entre el CIES del champiñón y la empresa Bayer Crop-Science S.L.

Bibliografía

Baba ZA, Sandhu, GS (1996). Efficacy of diflubenzuron and neem seed powder and cake for the control of *Bradysia tritici* (Coq.) Infesting button mushrooms. Journal of Insect Science 9 (2): 133-136.

Bartlett GR, Keil BOC (1997). Identification and characterization of a permethrine resistence mechanism in populations of the fungus gnat *Lycoriella mali* (Fitch) (Diptera: Sciaridae). Pesticide Biochemistry and Physiology 58: 173-181.

Binns ES, Gurney B, Wyatt IJ, White PF (1979). Populations of the phorid fly *Megaselia halterata* on an experimental mushroom unit over four years. Ann. Appl. Biol. 92: 159-171.

Cantelo WW (1980). Control of mushroom flies without chemicals. Mushroom News 28 (3): 9-17.

Cantelo WW (1983). Control of a mushroom-infesting fly (Diptera: Sciaridae) with insecticides applied to the casing layer. Journal of Economic Entomology. 76 (6): 1433-1436.

Cantelo WW (1985). Control of *Megaselia halterata*, a phorid fly pest of commercial mushroom production, by insecticidal treatment of the compost or casing material. Journal of Entomological Science 20 (1): 50-54.

Cantelo WW, Henderson D, Argauer RJ (1982). Variation in sensitivity of mushroom strains to diazinon compost treatment. Journal of Economic Entomology 75: 123-125.

Clift AD, Larsson SF (1987). Phoretic dispersal of *Brennandania lambi* (Kraczal) (Acari: Tarsonemida: Pygmephoridae) by mushroom flies (Diptera: Sciaridae and Phoridae) in New South Wales, Australia. Experimental and Applied Acarology 3: 11-20.

Clift AD, Toffolon RB (1981). Distribution of larvae of *Lycoriella agarici* Loudon (Diptera: Sciaridae) within mushroom beds in commercial culture of *Agaricus bisporus* and *Agaricus bitorquis* in New South Wales. Journal of The Australian Entomological Society 20: 229-2324.

Coles PS (2002). Specific control techniques. Exclusion in Pennsylvania mushroom integrated pest management. State College: The Pennsylvania State University, 92 p.

Erler F, Polat E, Demir H, Cetinc H, Erdemira T. (2009). Control of the mushroom phorid fly, *Megaselia halterata* (Wood), with plant extracts. Pest Management Science 65: 144-149.

Erler F, Polat E, Demir H, Catal M, Tuna G (2011). Control of mushroom sciarid fly *Lycoriella ingenua* populations with insect growth regulators applied by soil drench. Journal of Economic Entomology 104 (3): 839-844.

Finley RJ, Wuest PJ, Royse DJ, Snetsinger RJ, Tetrault R, Rinker DL (1984). Mushroom flies. Mushroom Journal 139: 240-247.

Gea FJ, Navarro MJ (2002). Valoración de la fitotoxicidad y de la actividad biológica del Align® contra dípteros en el cultivo de champiñón. Phytoma 138: 50-52.

Gea FJ, Navarro MJ (2008). Insecticidas químicos, biológicos y nematodos entomopatógenos aplicados para el control de dípteros en el cultivo de champiñón: efecto fitotóxico y actividad biológica. En: Avances en la Tecnología de la Producción comercial del champiñón y otros hongos cultivados (Eds. Patronato de Desarrollo Provincial), Cuenca (España), pp. 237-246.

Geels FP, Rutjens AJ (1992). Bendiocarb and diflubenzuron as substitute insecticides for endosulfan in commercial mushroom growing. Annals of Applied Biology 120: 215-224.

Grewal PS, Richardson PN (1993). Effects of application rates of *Steinernema feltiae* (Nematoda: Steinernematidae) on control of the mushroom sciarid fly *Lycoriella auripila*. Biocontrol Science and Technology 3: 29-40.

Grewal PS, Richardson PN, Collins G, Edmondson RN (1992). Comparative effects of *Steinernema feltiae* (Nematoda: Steinernematidae) and insecticides on yield and cropping of the mushroom *Agaricus bisporus*. Annals of Applied Biology 121: 511-520.

Grupo de trabajo fitosanitario del champiñón y otros hongos comestibles (1997). Plagas y enfermedades del champiñón y setas cultivadas. Nuevo ácaro del champiñón *Brennandania lambi* (Krczal). Ed. Dirección General de Sanidad de la Producción Agraria. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid, 8 p.

Keil CBO, Bartlett GR (1995). Azatin for control of *Lycoriella mali* in *Agaricus* mushroom production. Mushroom News 43 (4): 10-13.

Keil, CBO (2002). Field trials of the Gnatrol WDG formulation of *Bacillus thuringiensis* var. *israelensis* for control of mushroom flies in Pennsylvania & California. Mushroom News 50 (4): 12-19.

MAGRAMA 2013. Disponible en: http://www.magrama.gob.es/estadistica/pags/anuario /2013-Avance/AE_2013_13_06_44_02.pdf

Navarro MJ, Gea FJ (2006). Estudio de la fitotoxicidad del insecticida diflubenzuron en el cultivo de champiñón. Estudio del nivel de residuos. Boletín de la Asociación Española de Cultivadores de Champiñón 48: 32-34.

Navarro MJ, Gea FJ (2014). Entomopathogenic nematodes for the control of phorid and sciarid flies in mushroom crops. Pesquisa Agropecuária Brasileira 49 (1): 11-17.

Navarro MJ, Escudero A, Gea FJ, López-Lorrio A, García-Morrás JA, Ferragut F (2000). Determinación y abundancia estacional de las poblaciones de dípteros (Diptera: Phoridae y Sciaridae) en los cultivos de champiñón en Castilla-La Mancha. Boletín de Sanidad Vegetal Plagas 26 (4): 1-11.

Navarro MJ, Gea FJ, Escudero-Colomar LA (2010). Abundance and distribution of *Microdispus lambi* (Krczal) (Acari: Microdispidae) in Spanish mushroom crops. Experimental and Applied Acarology 50: 309-316.

Navarro MJ, Gea FJ, Ferragut F (2004). Biología y control del ácaro micelióFago *Brennandania lambi* (Krczal) en los cultivos de champiñón de Castilla-La Mancha. Ed. MAPA. Madrid, 203 p.

Park IK, Choi KS, Kim DH, Choi IH, Kim LS, Back WC, Choi JW, Shin SC (2006). Fumigant activity of plant essential oils and components from horseradish (*Armoracia rusticana*), anise (*Pimpinella anisum*) and garlic (*Allium sativum*) oils against *Lycoriella ingenua* (Diptera: Sciaridae). Pest Management Science 62: 723-728.

Park IK, Kim JN, Lee YS, Lee SG, Ash YJ, Shin SC (2008). Toxicity of plant essential oils and their Components against *Lycoriella ingenua* (Diptera: Sciaridae). Journal of Economic Entomology 101: 139-144.

Richardson PN (1987). Susceptibility of mushroom pests to the insect-parasitic nematode *Steinernema feltiae* and *Heterorhabditis heliothidis*. Annals of Applied Biology 111: 433-438.

Richardson PN, Grewal PS (1991). Comparative assesment of biological (Nematoda: *Steinernema feltiae*) and chemical methods of control for the mushroom fly *Lycoriella mali* (Diptera: Sciariidae). Bioconontrol Science and Technology 1: 217-228.

Scheepmaker JWA, Geels FP, van Griensven LJLD (1995). Control of the mushroom sciarid (*Lycoriella auripila*) and the mushroom phorid (*Megaselia halterata*) by entomopathogenic nematodes. En: Science and Cultivation of Edible Fungi. (Ed. Elliot T). Rotterdam: Balkema. 491-498.

Scheepmaker JWA, Geels FP, Smits PH, van Griensven LJLD (1997a): Location of inmature stages of the mushroom insects pest *Megaselia halterata* in mushroom-growing medium. Entomologia Experimentalis et Applicata 83: 323-327.

Scheepmaker JWA, Geels FP, Smits PH, van Griensven LJLD (1997b). Control of the mushroom pests, *Lycoriella auripila* (Diptera: Sciaridae) and *Megaselia halterata* (Diptera: Phoridae) by *Steinernema feltiae* (Nematoda: Steinernematidae) in field experiments. Annals of Applied Biology 131: 359-368.

Scheepmaker JWA, Geels FP, Smits PH, van Griensven LJLD (1998a). Influence of *Steinernema feltiae* and diflubenzuron on yield and economics of the cultivated mushroom *Agaricus bisporus* in Dutch mushroom culture. Biocontrol Science and Technology 8: 269-275.

Scheepmaker JWA, Geels FP, Rutjens AJ, Smits PH, van Griensven LJLD (1998b). Comparison of the efficacy of entomopathogenic nematodes for the biological control of the mushrooms pests *Lycoriella auripila* (Sciaridae) and *Megaselia halterata* (Phoridae). Biocontrol Science and Technology 8: 277-288.

Shamshad A (2010). The development of integrated pest management for the control of mushroom sciarid flies, *Lycoriella ingenua* (Dufour) and *Bradysia ocellaris* (Comstock), in cultivated mushrooms. Pest Management Science 66: 1063-1074.

Shamshad A, Clift AD, Mansfield S (2008). Toxicity of six commercially formulated insecticides and biopesticides to third instar larvae of mushroom sciarid, *Lycoriella ingenua* Dufour (Diptera: Sciaridae), in New South Wales, Australia. Australian Journal of Entomology 47 (3): 256-260.

Shamshad A, Clift AD, Mansfield S (2009). Effect of compost and casing treatments of insecticides against the sciarid *Bradysia ocellaris* (Diptera: Sciaridae) and on the total yield of cultivated mushrooms, *Agaricus bisporus*. Pest. Management Science 65 (4), 375-380.

White PF (1981): Spread of the mushroom disease *Verticillium fungicola* by *Megaselia halterata* (Diptera: Phoridae). Protection Ecology 3: 17-24.

(Aceptado para publicación el 1 de septiembre de 2014)

Efecto del volumen de suelo húmedo en riego localizado para el cultivo del avellano (*Corylus avellana* L.)

J.R. Gispert[1], F. Ramírez de Cartagena[2,*], J.Mª Villar[3] y M. Rovira[1]

[1] Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries (IRTA). Mas de Bover. Ctra Reus – El Morell, Km 3,8 43120 Constantí (Tarragona). España
[2] Departament d'Enginyeria Quimica, Agrària i Tecnologia Agroalimentària. Universitat de Girona. Campus Montilivi, 17071 Girona. España
[3] Departament de Medi Ambient i Ciències del Sòl. Universitat de Lleida. Av. Alcalde Rovira Roure, 191, 25198 Lleida. España

Resumen

Se determinó el comportamiento productivo, vegetativo y la calidad del fruto en avellano (*Corylus avellana* L.), como respuesta a 4 volúmenes de suelo húmedo que recibieron la misma cantidad de agua de riego, 3 de ellos (VSH-6, VSH-15, VSH-33%) generados mediante riego por goteo y 1 (VSH-70%) con difusores, expresados en términos de volumen potencial de exploración radicular. El experimento se realizó sobre el cultivar 'Pauetet', en una finca comercial en Tarragona (España). El volumen de suelo húmedo más reducido (6%) generó la producción menor de avellana en cáscara. Asimismo el mayor porcentaje de volumen de suelo húmedo (70%), generado mediante riego por microdifusión, dio lugar a manifestaciones de estrés hídrico debido a los bajos contenidos de agua del suelo y probablemente mayor evaporación, siendo las producciones en cáscara similares a las alcanzadas con el volumen de suelo húmedo del 6%. La mayor producción de avellana en cáscara y el mayor crecimiento vegetativo de los brotes se alcanzaron con un porcentaje de suelo húmedo del 33%. De acuerdo con los resultados obtenidos en los parámetros productivos y de calidad sería recomendable el riego por goteo para obtener un porcentaje mínimo de volumen de suelo húmedo del 33%.

Palabras clave: productividad del agua, gestión del riego, riego por goteo, riego por difusión.

Abstract
Effect of wet soil volume in microirrigation for hazelnut production (*Corylus avellana* L.)

The productive and vegetative behaviour and fruit quality of hazelnut (*Corylus avellana* L.) was determined in response to 4 wet soil volumes receiving the same amount of water irrigation, 3 of them (6, 15, 33%) generated by drip irrigation and 1 (70%) with microsprayers, expressed in terms of potential root exploration volume. The experiment was conducted on the cultivar 'Pauetet' in a commercial farm in Tarragona (Spain). The smaller volume of wet soil (6 %) generated the lower production of hazelnut in shell. Also the highest percentage of wet soil volume (70%) generated by microsprayer irrigation showed water stress due to the low water content of the soil and, probably, a higher evaporation of the soil surface, with hazelnut in shell productions like those achieved with the volume of 6% wet soil. In-

* Autor para correspondencia: francisco.ramirez@udg.edu
http://dx.doi.org/10.12706/itea.2015.008

creased production of the hazelnut in shell and the greater vegetative shoot growth were achieved with a percentage of 33% wet soil volume. According to the results obtained in the production and quality parameters it would be advisable the drip irrigation for a minimum percentage of 33% wet soil volume.

Key words: water productivity, irrigation management, drip irrigation, micro-sprayer irrigation.

Introducción

La producción de avellana en cáscara a nivel mundial alcanzó, en 2012, las 914.447 t (FAOSTAT, 2014a), con Turquía como principal país productor (660.000 t). La Unión Europea (UE), con 118.172 t representa el 13% de la producción mundial, donde Italia y España son los principales países productores (84% de la UE). Durante muchos años, España fue el cuarto país productor mundial de avellanas, después de Turquía, Italia y EE. UU. (Tous *et al*., 2001). No obstante, actualmente ocupa el octavo lugar con 13.900 t en 2012 (FAOSTAT, 2014a), debido a la importante presencia de otros países: Azerbaiyán, Georgia, Irán y China. La producción mundial de avellana en cáscara alcanzó en 2011 un valor de 2.242 millones de USD (Dólar americano), en Europa 476 millones de USD y en España de 41 millones de USD (FAOSTAT, 2014b).

En España, la superficie dedicada a este cultivo en 2013 era de 14.777 ha de las cuales el 90% estaban en Cataluña (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2013). En los países mediterráneos, las variedades que se cultivan son las tradicionales y son las mismas desde hace tiempo. La innovación está relacionada con el manejo de nuevas técnicas de cultivo (Fideghelli y De Salvador, 2009). A nivel mundial las áreas geográficas con mayor producción de avellana, corresponden a regiones de abundante pluviometría, a menudo superior a 1000 mm/año (Giresun, Trebisonda en Turquía; Nápoles, Viterbo y Alba en Italia, Oregón en EE. UU.). La provincia de Tarragona en España es una excepción, con cerca de 500 mm de lluvia/año (Germain y Sarraquigne, 2004). El avellano requiere una pluviometría anual cercana a los 800 mm, bien distribuidos, para poder producir buenos resultados productivos en ausencia de riego (Romisondo *et al*., 1988, Tous y Rovira, 2004, Rovira y Aletà, 2012). Otros autores indican necesidades superiores a 1000 mm (Silva *et al*., 2005, Grau, 2009).

La escasez de agua para el riego, endémica en el área de cultivo de Cataluña (Noreste de España) y la mayoría de las zonas mediterráneas, no ha propiciado una adecuada cultura para dar respuesta a las necesidades hídricas de ese cultivo. Sin embargo, a mediados de los años 60, cuando irrumpen en la agricultura los sistemas de microirrigación, empieza a considerarse un uso más eficiente del agua aplicada. Actualmente, el 67% de las plantaciones de avellano en Cataluña se encuentra en régimen de regadío (Baiges *et al*., 2012).

Girona *et al.* (1994), indican la alta sensibilidad de esta especie a las reducciones del riego durante el verano, siendo la falta de agua en este período el motivo del importante descenso en la producción de grano por hectárea al reducirse el tamaño de la cáscara. El avellano es una especie con un comportamiento anisohídrico, tal como se deduce de los trabajos de Girona *et al*. (1994) y Marsal *et al*. (1997). Por este motivo, Gispert *et al*. (2005), indican la necesidad de regar desde abril a septiembre para obtener una buena respuesta productiva y de calidad del grano, además, si el riego se aplica sólo en verano o si se reduce en más del 50% la dotación de riego en esta estación, la calidad del grano se ve afectada.

En el diseño de los sistemas de riego localizado el establecimiento del volumen de suelo húmedo (VSH) adecuado es crítico para

conseguir un rendimiento del cultivo y una eficiencia de aplicación del agua óptimos. En este sentido, Cohen *et al*. (1992) presentan como factor negativo para la buena productividad del avellano el escaso número de emisores (1 a 2 por árbol) en más de la mitad de explotaciones de Tarragona (España) y la escasa superficie de suelo mojado que ello representa. Gispert *et al*. (1996), para una aplicación anual de riego de 4.000 m^3/ha, aconsejan una superficie húmeda del suelo de alrededor del 40-60% del área sombreada por el avellano, a una profundidad de 30-40 cm, como adecuada para conseguir una buena respuesta vegetativa y productiva. Asimismo, De Salvador y Monastra (1997) indican la necesidad de humedecer un amplio volumen de suelo, mediante microaspersión, para obtener una adecuada respuesta fisiológica y productiva del avellano.

La forma y dimensiones del VSH dependen del caudal del irrigador, del volumen de emisión, de las características del suelo y del contenido inicial del agua. Bennett (2002) indica la gran diferencia de formas que se producen en el volumen de suelo húmedo al variar la frecuencia de aportación del agua de riego en almendros, observando que aumenta el tamaño del VSH al incrementar la frecuencia del riego por el movimiento lateral del frente húmedo en los períodos de descanso entre pulsos consecutivos. Bresler *et al.* (1971) y Bresler (1978) señalan que el caudal del emisor influye en la forma del volumen de suelo húmedo, aumentando el radio y disminuyendo la profundidad a medida que aumenta el caudal de emisión. En las ecuaciones simplificadas de Schwartzmass y Zur (1986) para calcular el radio y la profundidad mojada, también la profundidad disminuye y el radio aumenta a medida que aumenta el caudal de emisión y disminuye la conductividad hidráulica saturada. Keller y Bliesner (1990), Angelakis *et al*. (1993) en dos suelos de distinta textura, Gispert y García (1994) en un suelo de textura franca y Gispert (2008), observan el mismo comportamiento del caudal de emisión. Sin embargo, en los resultados obtenidos por Arbat *et al*. (2003) en un suelo Typic Calcixerepts (Soil Service Staff, 2010) utilizando goteros de 2, 4, 8,5 y 25 L h^{-1}, el caudal del emisor tuvo menos importancia sobre el radio y profundidad mojada que la presencia de distintos horizontes edáficos o que el contenido de agua inicial del suelo. El código Drip-Irriwater (Arbat *et al.* 2013) permite determinar de manera simple y rápida las dimensiones del volumen de suelo húmedo y sus contenidos de agua en condiciones de riego por goteo.

Se concluye que el avellano es sensible a la falta de agua en determinados períodos fisiológicos de su cultivo y a un número reducido de emisores. También se constata que los estudios realizados durante la última década (Bignami *et al*., 2009 y 2011) en relación con el riego del avellano que permitan mejorar la eficiencia en el uso del agua son muy escasos.

El objetivo planteado en el presente trabajo fue determinar la respuesta productiva, vegetativa y de calidad del fruto del avellano para distintos porcentajes de volumen de suelo húmedo.

Materiales y métodos

Parcela experimental

El estudio se realizó en una parcela tradicional de avellano en Alcover (Tarragona, España). La experiencia se realizó durante 4 años consecutivos (1992-1995) en una parcela de 3.766 m^2 de avellano (*Corylus avellana L*.) de 21 años de edad con una densidad de plantación de 361 árboles ha^{-1} (4,71 x 5,88 m) de la variedad 'Pauetet' con polinizador 'Gironell', variedades que constituyen la base de la producción en Cataluña (Tous *et al*., 2001).

Los avellanos, formados en mata tradicional con diversos pies, como es habitual en las plantaciones de Tarragona (Tous *et al*., 2001; Baiges *et al*., 2012), fueron podados de igual forma durante todo el período experimental y presentaban un volumen medio de copa de 56 m^3. El porcentaje de ocupación respecto al marco de plantación era del 76%.

El suelo se caracteriza por la presencia de gravas alóctonas a una profundidad media de 40-60 cm que limitan el crecimiento radicular y favorecen su desarrollo predominantemente horizontal, con un buen drenaje y permeabilidad. De acuerdo con el Soil Survey Staff (2010) el suelo se clasificó como Typic Xerorthents, con una profundidad efectiva de las raíces de unos 60 cm, y características muy similares en todo el perfil respecto a pH (7,8-7,9), $CE_{1:5}$ (0,50-0,70 dS/m a 25°C), materia orgánica (1,4-2,0%), textura USDA (franco-limosa), caliza activa (4-5%) y contenido volumétrico de agua medio (29,4% a -20 kPa; 13,7% a -1500 kPa).

Para el estudio se consideraron únicamente las campañas 1992, 1994 y 1995, puesto que en el verano de 1993 una fuerte tormenta ocasionó el arrastre por escorrentía de las avellanas ya caídas en el suelo, mezclando los frutos de los diferentes tratamientos imposibilitando el conteo.

El promedio anual de lluvia y de evapotranspiración de referencia (ET_0), durante el período de experimentación (1992, 1994, 1995), fue de 488 mm y 1095 mm, respectivamente. La media mensual de las temperaturas máximas para este período varió entre 3,2 °C (enero) y 29,4 °C (agosto).

Programa de riego

Las necesidades de agua de riego se calcularon semanalmente, considerando la evapotranspiración del cultivo (ET_c) (Allen *et al*., 1998) a partir de la evapotranspiración de referencia (ET_0), según el método de Penman-Monteith, corregida por el coeficiente de cultivo (K_c) y el coeficiente de reducción (K_e), este último considera el porcentaje de ocupación del cultivo respecto al marco de plantación. La ET_o se obtuvo de la Estación Agrometeorológica del Centro Mas de Bover (IRTA), situada a unos 5 km de la parcela experimental.

Los coeficientes de cultivo (K_c) empleados fueron aquellos considerados para el avellano en el centro Mas de Bover y que corresponden, mensualmente, a los siguientes valores entre marzo y septiembre [marzo (0,30), abril (0,40), mayo (0,60), junio (0,65), julio (0,85), agosto (0,75) y septiembre (0,63)]. El K_e se consideró igual a 1 al ocupar el cultivo una superficie superior al 70% del marco de plantación (Fereres, 1981). La lluvia efectiva fue establecida como el 80% de la lluvia total (Doorenbos y Pruitt, 1988). Las necesidades totales de riego fueron finalmente determinadas aplicando una eficiencia de riego de 0,90 de acuerdo a la uniformidad de riego obtenida en la misma parcela.

Con el fin de aplicar la misma dosis de agua en todos los tratamientos, se estableció el criterio de considerar un tiempo de riego distinto para cada tipo de emisor (4, 8, 24 y 50 L h^{-1}) y mantener la misma frecuencia de riego semanal en cada tratamiento. La frecuencia de riego se estableció según los requerimientos hídricos de la semana anterior.

Tratamientos de riego

Se establecieron 4 porcentajes de VSH, 6, 15, 33 y 70% del volumen total de suelo que podía ser explorado por las raíces del cultivo (volumen potencial de exploración radicular, VPER) mediante tres tipos de goteros autocompensantes (4, 8 y 24 L h^{-1}) y un tipo de difusor (50 L h^{-1}). Para cada tipo de gotero se instalaron 2 laterales de riego por fila de avellanos y 10 goteros /árbol (5 a cada lado), el difusor se estableció mediante un lateral de riego por fila y 1 difusor /árbol. Atendiendo

los criterios de localización de los goteros respecto al tronco, indicados por diversos autores (Jiménez *et al*., 1977; Nuñez-Aguilar *et al*., 1980; Fernández *et al*., 1991), la experiencia se planteó manteniendo, para cada uno de los dos laterales de goteros en cada fila, un desplazamiento horizontal de 1,5 m del centro de cada avellano. El lateral para los difusores se situó a lo largo de la fila de avellanos y el difusor a 1,5 m del centro de cada árbol.

Variando el tiempo de riego en función del caudal suministrado por cada tipo de emisor se aplicó el mismo volumen de agua. Asimismo y en función del número de emisores por árbol se suministró una dosis de riego de 177 L/árbol en todos los casos (Tabla 1) variando su frecuencia semanal en función de la demanda evapotranspirativa de cada semana.

El diseño experimental fue planteado en 4 bloques al azar y 3 repeticiones para cada porcentaje de VSH. Cada una de las 16 parcelas elementales consistía de 3 árboles consecutivos controlados y un árbol guarda entre bloques. Un total de 68 avellanos estuvieron implicados en este experimento, 48 de los cuales fueron controlados.

Tabla 1. Volumen de agua de riego aportado para cada árbol (L) mediante los distintos emisores, radio mojado (cm) y área mojada (m^2) a 30 cm de profundidad, para los distintos emisores y volúmenes aplicados al finalizar cada riego

Table 1. Volume of irrigation water given to each tree (L) by the different emitters, wet radius (cm), and wetted area (m^2) at 30 cm depth for different emitters and applied volumes after each irrigation

Emisor	Goteros		Difusor	
Caudal emisor (L h^{-1})	4	8	24	50
Tiempo (h)	4,42	2,21	0,73	3,53
Volumen emisor (L)	17,7	17,7	17,7	176,8
Emisores (árbol^{-1})	10	10	10	1
Volumen (L árbol^{-1})	177	177	177	176,8
Radio mojado (cm)	29	38	53	235
Área mojada (m^2)	0,26	0,45	0,88	17,35

Determinación y manejo del VSH en las pruebas de campo

Para determinar la forma y tamaño del VSH formado por cada emisor, se utilizó el denominado 'Equipo Medidor de Volumen de Suelo Húmedo (EMVSH)' (Gispert, 2008) basado en la metodología de prospección geoeléctrica de Wenner, que evalúa la resistividad eléctrica con corrección por temperatura del suelo. La prueba de campo, previa al establecimiento de la experiencia, consistió en establecer 3 repeticiones de los 3 tipos de goteros (4, 8 y 24 L h^{-1}) y 1 tipo de difusor (50 L h^{-1}), variando el tiempo de riego en función del caudal suministrado por cada uno de ellos y aplicar el mismo volumen de agua para cada tipo de emisor (177 L). Las lecturas de resistividad eléctrica se consideraron para una temperatura del suelo alrededor de 20 °C. El

contorno del VSH se localizó cuando se observó un incremento de resistividad de 2000 Ωm que correspondían a descensos en el contenido de humedad alrededor del 3%, siendo el contenido volumétrico medio del agua en el suelo del 21,5% al inicio de las pruebas.

La presencia de una capa de grava alóctona a 60 cm de profundidad impidió definir exactamente la profundidad máxima alcanzada por el VSH generado por cada tipo de emisor. Al efecto se consideró para todos los emisores (4, 8, 24 y 50 L h^{-1}) una profundidad de referencia del frente de humedad de 60 cm. Para los distintos tiempos de riego los valores alcanzados por un emisor en relación al radio y área mojada se indican en la Tabla 1 y los contenidos de agua a varias profundidades y distancias del emisor se presentan en la Tabla 2. Para estimar el VPER se consideró el cilindro de suelo situado debajo de la copa del árbol, que tiene por base la proyección de esta copa y por altura la profundidad estimada de las raíces. Se realizaron un total de 10 mediciones aleatorias para determinar el radio medio de proyección de la copa (2,59 m). La

Tabla 2. Contenido volumétrico de agua (%) medido a distintas profundidades y distancias horizontales al eje de proyección vertical bajo el emisor, a la finalización del riego después de la aportación de los volúmenes indicados en la Tabla 1

Table 2. Volumetric water content (%) measured at different depths and horizontal distances at projection vertical axis under the emitter, at the end of irrigation after the contribution of the volumes shown in Table 1

Profundidad (cm)	Distancia al eje vertical (cm)	Caudal (L/h)			
		4	8	24	50
10	0	30,8	32,0	34,3	26,4
	20	25,1	28,2	28,7	
	50	20,9	19,8	22,2	
	100				23,6
	200				22,1
30	0	28,8	29,1	29,8	23,9
	20	23,2	26,9	29,6	
	50	20,0	20,7	24,4	
	100				23,2
	200				23,8
50	0	26,1	25,3	23,1	23,0
	20	21,3	24,1	23,9	
	50	18,7	19,9	19,0	
	100				21,1
	200				20,0

profundidad radicular considerada fue de 0,60 m que se evaluó por medio de tres muestreos aleatorizados; bajo la copa de tres avellanos, mediante catas de 0,60 m de profundidad y 1 m de ancho. El área sombreada del avellano (21 m^2) se obtuvo asumiendo una forma circular y considerando el radio de proyección de la copa. El VPER (12,6 m^3) se obtuvo como producto del área sombreada por la profundidad radicular. En la Tabla 3, para los diversos goteros y difusor utilizados, se muestran los VSH expresados en porcentaje, calculados a partir de la relación 100 x VSH (m^3)/VPER (m^3).

Tabla 3. Área mojada (A_m), área mojada respecto al área sombreada (A_s) y volumen de suelo húmedo (VSH) expresado en unidades de capacidad y en porcentaje, para el diferente número de emisores usado en el estudio

Table 3. Wet area (A_m), wet area regarding the shaded area (A_s) and wet soil volume (VSH) expressed in units of capacity and percentage, for the different number of emitters used in this study

Caudal emisor (L h^{-1})	Nº emisores -n-	A_m (m^2)	A_m / A_S (%)	VSH (m^3)	VSH (%)
4	10	2,64	12,53	0,80	6
8	10	4,53	21,50	1,90	15
24	10	8,82	41,86	4,10	33
50	1	17,34	82,29	8,78	70

Producción

En la cosecha se determinó la producción total, pesando individualmente la carga de cada uno de los 3 árboles que constituían una parcela elemental, para cada uno de los distintos porcentajes de VSH y en las 4 repeticiones, para la totalidad de la parcela experimental.

Crecimiento vegetativo

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. Así pues, fueron evaluados un total de 16 árboles, uno de cada parcela experimental. Se consideró la forma de la copa similar a un elipsoide con diferentes radios (altura vertical de la copa, anchura horizontal en el sentido de la fila de árboles, anchura horizontal perpendicular a la fila). Las medidas horizontales fueron realizadas usando una cinta plegable de 5 m (Lufkin Ultralok), y para la vertical una mira plegable de 8 m (Telefix). La media de los radios permitió calcular el volumen de copa.

En cada porcentaje de VSH se controló el crecimiento de 2 brotes anuales de cada uno de los 3 árboles (sobre el eje Norte-Sur) que constituían la parcela elemental de cada una de las 4 repeticiones (24 brotes por porcentaje de VSH).Esos brotes fueron medidos en su evolución a lo largo del período primaveral (abril, mayo, junio) durante las campañas 1994 y 1995.

Parámetros de calidad del fruto

Los parámetros de calidad fueron evaluados en muestras de frutos recogidos en el mes de

septiembre, período de recolección. Se efectuó el control del peso de un fruto (g) (1992 y 1994) y el rendimiento en grano (%) (1992, 1994 y 1995).

Ambos parámetros se evaluaron a partir de una muestra de 60 avellanas recogidas de la cosecha correspondiente a 3 árboles de cada parcela elemental. De esta muestra se determinó el peso en cáscara, peso en grano, frutos vacíos y frutos dañados (ej. podredumbre).

El peso de un fruto de avellana se calculó por la relación entre el peso total del grano (g) de la muestra y el número de frutos (60 avellanas). Asimismo, el rendimiento en grano (%) se calculó al establecer la relación entre el peso total del grano de la muestra respecto a su peso en cáscara.

Productividad del agua de riego

La productividad del agua (P_a) fue definida por la relación entre la producción total de producto vendible (P, kg/ha) respecto al volumen de agua aplicada mediante riego (U, m^3/ha),

$$Pa = \frac{P}{U}$$

Análisis estadístico

Los resultados fueron analizados estadísticamente usando el programa SAS (SAS, Inst., 1996), estructurando los tratamientos en 4 bloques al azar y en cada uno de ellos cuatro porcentajes de VSH (6, 15, 33 y 70%) con tres repeticiones por bloque y porcentaje.

Este modelo permitió analizar el efecto de cada porcentaje de VSH sobre la producción de avellana y la comparación entre los cuatro porcentajes.

El modelo estadístico empleado fue:

$$Y_{ijk} = \mu + A_j + VSH_k + e_{ijk}$$

donde,

Y_{ijk}: observación del árbol i-ésimo del año j-ésimo sometido al volumen de suelo húmedo k-ésimo (VSH_k)

μ: valor medio de la variable observada

A_j: efecto año (1992, 1994,1995)

VSH_k: efecto del volumen de suelo húmedo (6, 15, 33 y 70%)

i = 1, 2, 3, 4

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

Características y desarrollo de los VSH

Las distintas descargas de los emisores (4, 8 y 24 L h^{-1}) y el difusor (50 L h^{-1}) generaron diferencias en la posición del frente de humedad en los distintos VSH formados. En este sentido, se observa que una mayor descarga en el emisor generó un mayor radio mojado (Tabla 1), lo cual coincide con un comportamiento ya observado por otros autores (Bresler, 1978; Keller y Bliesner, 1990; Angelakis *et al*., 1993, Gispert y García, 1994; Gispert, 2008). Asimismo, el contenido volumétrico de agua en el suelo presentó, por una parte, valores crecientes a medida que aumentó la descarga del emisor y por otra parte, mostró un gradiente disminuyendo desde el interior del VSH hacia la periferia (Tabla 2), lo cual coincide con las observaciones de Gispert y García (1994) y Gispert (2008).

Evapotranspiración, pluviometría y volumen de agua de riego aplicado

La evapotranspiración media anual durante el período experimental (marzo a septiembre) se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4. Evapotranspiración de referencia (ET_o), pluviometría efectiva (P_e) y pluviometría total (P_t) durante el período experimental (marzo a septiembre) en 1992-1995
Table 4. Reference evapotranspiration (ET_o), effective precipitation (P_e), and total precipitation (P_t) during the experimental period (March to September) in 1992-1995

	1992	1994	1995	Media y desviación típica
ET_o (mm)	913,2	868,9	831,4	871,2 ± 40,9
P_e (mm)	370,1	170,9	159,7	233,6 ± 118,4
P_t (mm)	462,7	213,7	199,6	292,0 ± 148,0

La dosis de riego para los cuatro porcentajes de VSH fue muy similar, tal como se indica en la Tabla 5, alcanzando un valor medio para el período estudiado de 282 mm. Esta aportación de agua de riego es muy similar a la indicada en otros trabajos en avellano (Tous *et al*., 1987 y Cristofori *et al*., 2010), en Cataluña e Italia, respectivamente.

Producción de avellana

En la Tabla 6, se observan los valores medios obtenidos del período analizado, resultando que el porcentaje más bajo de suelo húmedo (6%) generó de forma significativa una producción en cáscara inferior al resto de los tratamientos. No hubo diferencias significativas entre los tratamientos VSH-15%, VSH-33% y VSH-70%.

El tratamiento VSH-70% que inicia el período experimental (1992) con una alta producción en cáscara al final del período (1995) llega a la producción menor, muy similar al tratamiento VSH-6%.

La mayor defoliación observada durante los años 1994 y 1995, sobre el suelo debajo los avellanos que se regaron por difusión (VSH-

Tabla 5. Volumen de agua de riego aplicado (L/árbol) para 4 porcentajes distintos de volumen de suelo húmedo (VSH), durante el período 1992 a 1995
Table 5. Volume of irrigation water applied (L/tree) for 4 percentages of VSH during the period 1992 to 1995

VSH (%)	1992	1994	1995	Media y desviación típica
6	4830	10505	8906	8080 ± 2926
15	4820	10510	8911	8080 ± 2935
33	4849	10525	8930	8101 ± 2927
70	4825	10508	8909	8081 ± 2931
Media y desviación típica	4831 ± 13	10512 ± 9	8914 ± 11	8085 ± 2498

Goteo (VSH-6%,VSH-15%,VSH-33%) y difusión (VSH-70%).

Tabla 6. Producción de avellana en cáscara (kg/ha) y productividad del agua (P_a, kg avellana en cáscara/m^3 agua de riego aplicada) durante los 3 años de estudio (1992, 1994 y 1995), para los distintos porcentajes de volumen de suelo húmedo (VSH)
Table 6. Production of hazelnut in shell (kg/ha) and water productivity (Pa, kg hazelnut in shell/m^3 irrigation water applied) during the 3 years of study (1992, 1994 and 1995), for different percentages of wet soil volume (VSH)

	Producción de avellana en cáscara (kg/ha)			
VSH (%)	1992	1994	1995	Media
6	3754,4 c	3429,0 b	2238,2 c	3140,7 b
15	4295,9 bc	4259,8 a	3176,8 b	3910,8 a
33	3754,4 c	4332,0 a	3862,7 a	3983,0 a
70	5631,6 a	3682,2 ab	2310,1 c	3874,6 a
Media	4359,0 a	3925,8 b	2896,9 c	3727,7
	P_a (kg avellana en cáscara/m^3 agua de riego)			
VSH (%)	1992	1994	1995	Media
6	2,15 b	0,90 b	0,70 b	1,25 b
15	2,47 ab	1,12 a	0,99 ab	1,53 ab
33	2,14 b	1,14 a	1,20 a	1,49 ab
70	3,23 a	0,97 ab	0,72 b	1,64 a
Media	2,50 a	1,03 b	0,90 b	1,48

Dentro de cada variable, valores en una misma columna con diferente letra difieren ($P < 0,05$) con relación al porcentaje de VSH. Dentro de cada variable, para las medias anuales, valores en una misma fila con diferente letra difieren ($P < 0,05$) entre años.

Goteo (VSH-6%, VSH-15%, VSH-33%) y difusión (VSH-70%).

70%) respecto al resto de los tratamientos, ya marcó un mayor estrés del cultivo en esas condiciones de riego, lo cual no coincide con las conclusiones de otros trabajos realizados en Italia para esta especie (De Salvador y Monastra, 1997). Por otra parte, en la prueba de campo realizada (Tabla 2) también se observa que los contenidos de agua alcanzados en el VSH del emisor por difusión son más bajos en relación con los goteros, como consecuencia de aplicar el agua en pulverización sobre una amplia superficie y posiblemente hubo una mayor pérdida de agua por evaporación directa desde el suelo. La baja resistencia al estrés que posee el avellano (Natali *et al*., 1988; Bignami y Natali, 1992; Mingeau *et al*., 1994; Tombesi, 1994) que reduce sensiblemente su capacidad productiva (Girona *et al*., 1994), puede ser la causa más probable de la menor producción alcanzada por el porcentaje VSH-70%, respecto a VSH-15% y VSH-33%, durante la mayoría de años (1994 y 1995).

Sin embargo, el tratamiento más insatisfactorio, desde el punto de vista productivo, fue VSH-6%, significativamente inferior al resto por el menor VSH generado. También el go-

tero de 4 L h^{-1}, que corresponde a ese porcentaje, fue el que presentó un menor contenido volumétrico medio de agua, respecto a los otros goteros (8 y 24 L h^{-1}) al finalizar la prueba de campo (Tabla 2). Debe descartarse la influencia en los resultados de pérdidas por percolación profunda diferenciadas en el tratamiento VSH-6% que por emitir un caudal menor requirió mayor tiempo de riego. En efecto, atendiendo a los valores de contenido de agua mostrados en la Tabla 2 para el caso de VSH-6% (emisor 4 L h^{-1}), al final del riego, solo son un 3% superiores a VSH-33% (emisor 24 L h^{-1}) para la profundidad de 50 cm por debajo del emisor, mientras que a 10 cm de profundidad VSH-6% son un 3,5% inferiores a VSH-33%, por lo que la tendencia durante el periodo de redistribución iría en el sentido de compensarse los contenidos de agua.

Al comparar las producciones en cáscara obtenidas en las diferentes campañas (1992, 1994 y 1995), se observa que la producción estuvo muy influenciada por la pluviometría anual. Así pues en 1992, año con elevada pluviometría total entre marzo y septiembre se alcanzó la mayor producción en cáscara, mientras que en 1995 con escasa pluviometría (Tabla 4), se obtuvo la menor producción (Tabla 6). Al ser el avellano un cultivo más adecuado para un hábitat más húmedo (Farquhar *et al*., 1980), con elevada humedad relativa y primaveras lluviosas, tuvo una respuesta más favorable en el año 1992 por la lluvia primaveral (283,6 mm) que en 1995 en que la primavera fue más seca (93,4 mm). A pesar del agua aportada por el riego, en este último año el avellano sufrió más debido a los elevados déficits de presión de vapor de la atmósfera. El avellano, en estas circunstancias meteorológicas, manifiesta síntomas de estrés aun aplicando los riegos requeridos según su ETc.

Asimismo, hay que hacer mención a las diferencias del riego estacional entre años con cantidades que oscilan entre 4831 L/ árbol (1992) y 10512 L/árbol (1994), como consecuencia de la variabilidad pluviométrica de estos años (Tabla 4).

Crecimiento vegetativo

Los valores que se presentan en la Tabla 7 permiten apreciar la existencia de diferencias significativas entre porcentajes de VSH, para 1994

Tabla 7. Longitud total (mm) del brote anual del avellano durante los años 1994-1995, para los distintos porcentajes de volumen de suelo húmedo (VSH)
Table 7. Total length (mm) of hazelnut annual shoot during 1994-1995 for different percentages of wet soil volume (VSH)

	Longitud total del brote anual (mm)		
VSH (%)	1994	1995	Media
6	105,2 bc	67,3	86,3 bc
15	127,3 ab	67,2	97,3 b
33	154,3 a	84,8	119,5 a
70	92,0 c	60,6	76,3 c
Media	119,7 a	70,0 b	94,8

Valores en una misma columna con diferente letra difieren ($P < 0,05$) con relación al porcentaje de VSH. Valores en la fila de las medias con letra diferente difieren ($P < 0,05$) entre años.
Goteo (VSH-6%, VSH-15%, VSH-33%) y difusión (VSH-70%).

y en el promedio de todo el período analizado (1994 y 1995). El porcentaje VSH-33% destacó significativamente respecto a los otros tratamientos. Asimismo VSH-70% es el que genera menor crecimiento vegetativo al igual que ocurrió con la producción de avellana en cáscara.

Las diferencias vegetativas observadas entre años (1994 y 1995), mantienen un paralelismo respecto a la aportación pluviométrica anual. En 1995, año de escasa lluvia (Tabla 4) se produjo el menor crecimiento vegetativo (70,0 mm), siendo en 1994, con mayor pluviometría (Tabla 4), cuando el brote anual tuvo un crecimiento significativo superior (119,7 mm).

El fruto es el sumidero principal de carbohidratos (Bloom *et al*., 1985), lo cual va en detrimento del desarrollo fisiológico de otros órganos de la planta como brotes anuales, desarrollo del tronco y en último lugar la raíz (Grossman y Dejong, 1994). Por todo ello, otra posible causa que originó un menor crecimiento vegetativo durante 1995 puede ser la alternancia productiva, después del año 1994, con buena cosecha (3926 kg/ha), que redujo la acumulación de reservas generando un descenso de cosecha y de crecimiento vegetativo el año siguiente.

Parámetros de calidad

Peso de 1 grano de avellana

Según se observa en la Tabla 8 el grano de avellana alcanzó su mayor peso al establecer un porcentaje de suelo húmedo del 33%, especialmente durante 1992 en que la diferencia fue significativa respecto a los otros porcentajes de VSH. Los VSH del 6% y el 70% de VSH obtienen una respuesta muy similar respecto al peso del grano. Sin embargo, los motivos que explicarían tal comportamiento son diferentes.

Tabla 8. Peso (g) de 1 grano de avellana durante los años 1992 y 1994, para los diferentes porcentajes de volumen de suelo húmedo (VSH)
Table 8. Average kernel weight (g) during the years 1992 and 1994, for different percentages of wet soil volume (VSH)

	Peso de 1 grano de avellana (g)		
VSH (%)	1992	1994	Media
6	0,70b	0,52 b	0,61 c
15	0,75 b	0,65 ab	0,70 b
33	0,84 a	0,73 a	0,78 a
70	0,62 c	0,53 b	0,58 c
Media	0,73 a	0,61 b	0,67

Valores en una misma columna con diferente letra difieren (P < 0,05) con relación al porcentaje de VSH. Valores en la fila de las medias con letra diferente difieren (P < 0,05) entre años.
Goteo (VSH-6%, VSH-15%, VSH-33%) y difusión (VSH-70%).

En el caso de VSH-6% el comportamiento productivo fue consecuencia del escaso volumen de suelo mojado proporcionado, que se manifestó con mayor intensidad en 1994 por ser un año más seco. En cambio, el mal comportamiento de VSH-70% no es atribuible al escaso VSH generado sino al sistema de aportación del riego por difusión y al bajo contenido volumétrico de agua en el suelo que ese sistema ocasionó, generando defoliación prematura del cultivo y estrés altamente perjudicial.

Al comparar entre años se observa que en 1992 tanto la precipitación ocurrida entre marzo y septiembre como la precipitación en primavera fueron muy superiores a la de 1994, permitiendo alcanzar un mayor peso del grano. La influencia del agua primaveral como factor favorable para la calidad del grano ya fue observada por Gispert *et al*. (2005) en un estudio experimental sobre avellano.

Rendimiento en grano

La Tabla 9**,** muestra la existencia de diferencias significativas entre porcentajes de VSH. Al considerar en su totalidad los valores medios del período experimental (1992-1995) se observa que los tratamientos VSH-33% y VSH-15% son superiores en rendimiento en grano respecto al tratamiento VSH-6%. Estos datos de rendimiento de avellana de la variedad 'Pauetet', son similares a los indicados por otros autores (IRTA, 1997; Germain y Sarraquigne, 2004), con un valor del 48%.

Al igual que sucedió para la media de los años 1992 y 1994 en que el mayor peso de 1 grano de avellana se producía para el tratamiento VSH-33%, para el rendimiento en grano también se alcanza el máximo valor para el mismo porcentaje de suelo húmedo (33%) que con el tratamiento VSH-15% superan de forma significativa el rendimiento obtenido con el porcentaje más reducido (VSH-6%).

Las condiciones meteorológicas del año influyen en el rendimiento productivo del grano al variar el contenido de frutos vacíos o podridos. Durante los años húmedos, si no se hace un buen secado del fruto en cáscara, suelen incrementarse los problemas de granos podridos por mohos. Asimismo, durante los

Tabla 9. Rendimiento en grano (%) de los frutos de avellana durante los años 1992, 1994 y 1995, para los diferentes porcentajes de volumen de suelo húmedo (VSH)
Table 9. Grain yield (%) of fruit hazelnut during the years 1992, 1994 and 1995, for different percentages of wet soil volume (VSH)

	Rendimiento en grano (%)			
VSH (%)	1992	1994	1995	Media
6	46,79 ab	44,82 c	50,55 b	47,56 b
15	48,92 a	48,15 ab	49,48 c	48,83 a
33	47,75 a	49,94 a	48,88 c	49,17 a
70	42,96 b	46,64 bc	51,53 a	48,21 ab
Media	46,60 b	47,39 b	50,11 a	48,44

Valores en una misma columna con diferente letra difieren (P < 0,05) con relación al porcentaje de VSH. Valores en la fila de las medias con letra diferente difieren (P < 0,05) entre años.
Goteo (VSH-6%, VSH-15%, VSH-33%) y difusión (VSH-70%).

años secos, las mermas suelen ser ocasionadas por una mayor presencia de avellanas vacías que se desprenden fácilmente del involucro antes de alcanzar su madurez y, también, tienen un menor desarrollo en cáscara. Así pues, durante la campaña de 1992, que fue más lluviosa se observó un menor porcentaje de frutos vacíos (3%) en las muestras analizadas, mientras que durante 1995, año más seco, ese porcentaje aumentó sensiblemente (7%).

La evolución del peso en grano por árbol para los distintos porcentajes de VSH se indica en la Figura 1 para los distintos años, evidenciándose una progresiva adaptación de la respuesta productiva del cultivo al incremento del porcentaje de VSH a medida que avanza el período experimental. Este mismo comportamiento fue observado por Gispert *et al.* (2013) en olivos regados por goteo. En el año 1992 existe un cierto desorden productivo que se va modificando durante los siguientes años, sobretodo al final del período experimental en que el porcentaje comprendido entre 15 y 33% de VSH generan la mayor respuesta productiva.

Productividad del agua de riego

La Tabla 6 muestra importantes diferencias entre los valores de productividad del agua de riego por años, siendo ésta máxima en el año 1992 y significativamente distinta a la del resto de años, puesto que 1992 fue el año de mayor producción de avellana, mayor preci-

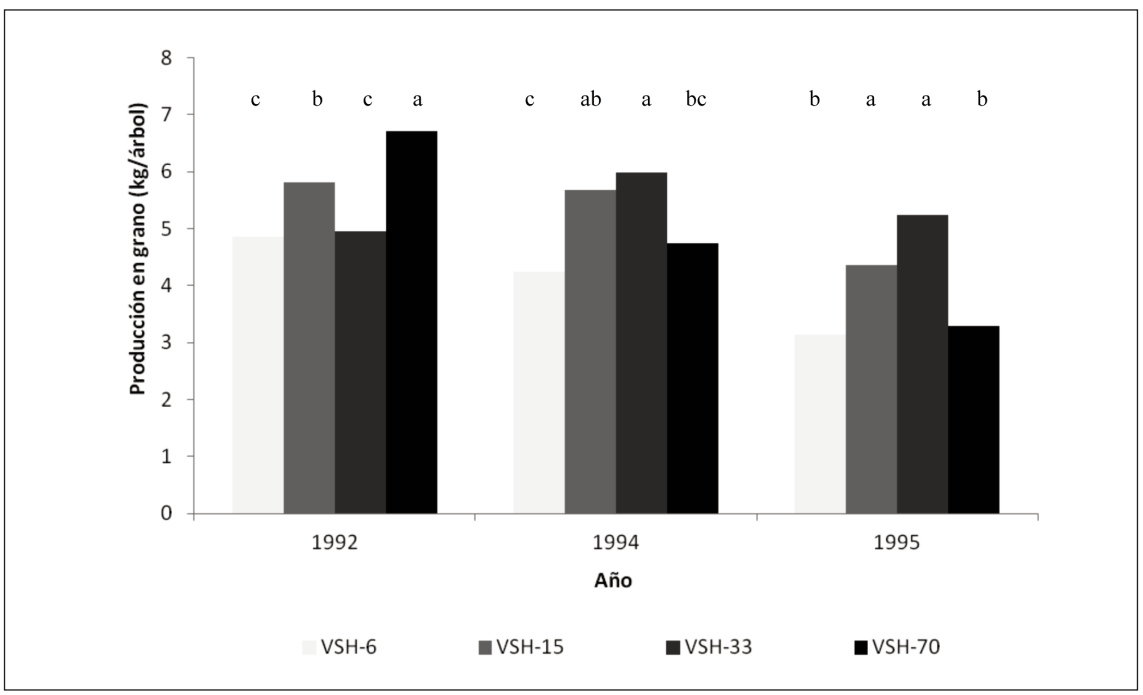


Figura 1. Efecto del porcentaje de VSH sobre la producción en grano (kg/árbol) a lo largo del período experimental (1992, 1994 y 1995). Goteo (VSH-6%, VSH-15%, VSH-33%) y difusión (VSH-70%).

Figure 1. Effect of the VSH percentage on the production of grain (kg /tree) throughout the experimental period (1992, 1994 and 1995). Drip (VSH-6%, VSH-15%, VSH-33%) and micro-sprayer (VSH-70%).

pitación y menor volumen de agua de riego aplicado. Considerando el conjunto de los años de ensayo, aunque el VSH-33 presentó el menor valor de productividad del agua de riego éste no fue significativamente distinto del correspondiente a los restantes volúmenes de suelo húmedo obtenidos con goteo. El valor medio considerando conjuntamente los 4 porcentajes de VSH, en el período experimental (1992-1995), fue similar al obtenido por Tombesi y Rosati (1997) en trabajos realizados en Italia.

Conclusiones

El menor porcentaje de volumen de suelo húmedo ensayado (VSH-6%), normalmente utilizado en las explotaciones comerciales de avellano de Tarragona, generó de forma significativa una producción en cáscara inferior al resto de los tratamientos estudiados (VSH-15%, VSH-33% y VSH-70%), a pesar de recibir la misma cantidad de agua de riego. Las posibles causas de este comportamiento hay que atribuirlas al menor contenido volumétrico medio de agua en el suelo y al menor volumen de suelo húmedo a disposición del sistema radicular.

La aplicación del agua de riego por difusión generó el mayor porcentaje de suelo húmedo (VSH-70%), pero con menor contenido de agua en el suelo, probablemente por una mayor evaporación desde su superficie, ocasionando manifestaciones de estrés hídrico como defoliación prematura y producciones en cáscara similares a las obtenidas con el porcentaje más bajo de suelo húmedo (VSH-6%).

El mayor crecimiento vegetativo se alcanzó con el porcentaje del 33%, sin embargo no se correspondió con una diferencia significativa en mayor producción en cáscara (kg/ha) respecto de los tratamientos de VSH-15%, VSH-33% y VSH-70%.

A lo largo del experimento se observó una progresiva adaptación de la respuesta productiva del cultivo al incremento del porcentaje de VSH.

En relación con los parámetros de calidad, la mejor respuesta del cultivo en relación al peso de 1 grano de avellana (g) correspondió al tratamiento VSH-33%, mientras que los porcentajes VSH-6% y VSH-70% generaron pesos menores.

El mayor rendimiento en grano (%) se obtuvo para porcentajes de suelo húmedo del 15 al 33% los cuales fueron significativamente superiores al alcanzado por VSH-6%.

Se recomienda, para las condiciones en que se realizó el ensayo y atendiendo a los parámetros productivos y de calidad del fruto obtenidos, la utilización del riego por goteo frente al riego por difusión y la utilización de porcentajes de VSH mínimos del 33%, que además no difieren significativamente en la eficiencia en el uso del agua de riego respecto de los tratamientos con VSH inferior.

Agradecimientos

El trabajo fue posible gracias a la financiación del Departamento de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Generalitat de Catalunya y la colaboración del personal técnico, Sr. Jesús Gil y Sr. Àngel Companys, de la Oficina Comarcal de l'Alt Camp (Tarragona) para los trabajos de campo.

Bibliografía

Arbat G, Barragán J, Puig-Bargués J, Poch R, Ramírez de Cartagena F (2003). Evaluación de los modelos numéricos de flujo de agua en el suelo HYDRUS-2D y SIMDAS en riego localizado. Estudios de la Zona No Saturada del Suelo. Vol. VI, pp. 279-288.

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

Allen RG, Pereira LS, Raes D, Smith M (1998). Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. Irrigation and drainage 56. UN FAO, Rome, Italy, 299 p.

Angelakis A, Rolston D, Kadir T, Scott V (1993). Soil water distribution under trickle source. Journal of Irrigation and Drainage Engineering 119 (3): 484-500.

Baiges F, Ferré IR, Puig V, Secanell P, Gonzalez C, Gil J (2012). Caracterización de las explotaciones con cultivo de avellano en Cataluña. Fruticultura 21: 4-11.

Bennett Ch (2002). Developing a good almond root system with drip irrigation. Australian Nutgrower Sept-Nov: 12-18.

Bignami C, Natali S (1992). Relazioni idriche e fotosintesi di alcune specie da frutto. Atti delle Giornate Scientifiche della Società di Ortoflorofrutticoltura Italiana, Ravello (Italia), 8-10 Abril 1992: 174-175.

Bignami C, Cristofori V, Ghini P, Rugini E (2009). Effects of irrigation on growth and yield components of hazelnut (*Corylus avellana* L.) in Central Italy. Acta Horticulturae 845: 309-314.

Bignami C, Cristofori V, Bertazza G (2011). Effects of water availability on hazelnut yield and seed composition during fruit growth. Acta Horticulturae 922: 333-340.

Bloom A J, Chapin F S, Mooney HA (1985). Resource limitation in plants- an economic analogy. Annual Review of Ecological Systems 16: 363-392.

Bresler E, Heller J, Diner N, Ben-Asher A, Brand A, Goldberg D (1971). Infiltration from a trickle source. II. Experimental data and theoretical predictions. Soil Science Society of America Proceedings, 35: 683-689.

Bresler E (1978). Analysis of trickle irrigation with application to design problems. Irrigation Science 1, pp. 3-7.

Cohen M, Girona J, Poblet P, Fortuny J, Gené J (1992). El riego del avellano en 3 municipios representativos de Tarragona: Riudoms (Baix Camp), Alcover (Alt Camp) y Vila-Seca (Tarragonés). ITEA Vol. 88V, nº 1, pp. 31-45.

Cristofori V, Bignami C, Gasbarra S, Rugini E (2010). Irrigazione del nocciolo nel viterbese: sistema irrigui localizzati per una optimizzazione d'uso dell'acqua. ISSN 2038-8292. Corylus &Co, Anno I, numero 2: 31-38.

De Salvador FR, Monastra F (1997). Water regime and soil management in hazelnut trees: preliminary studies in pots. Acta Horticulturae 445: 255-262.

Doorenbos J, Pruitt WO (1988). Las necesidades de agua de los cultivos. Estudio FAO Riego y Drenaje 24. 194 p.

FAOSTAT (2014a). Production, Crops. Disponible en: http://faostat.fao.org/site/567/default.aspx#ancor, February, 2014.

FAOSTAT (2014b). Production, Value of agricultural production. Disponible en: http://faostat.fao.org/site/613/default.aspx#ancor, February, 2014.

Farquhar GH, Schulze ED, Küppers M (1980). Responses to humidity by stomata of Nicotiana glauca and Corylus avellana L. are consistent with the optimization of carbon dioxide uptake with respect to water loss. Australian Journal of Plant Physiology. 7: 315-327.

Fereres E (1981). Papel de la fisiología vegetal en la microirrigación. Recomendaciones para el manejo mejorado. Ponencia en IV Seminario Latinoamericano de microirrigación. Barquisimeto, Venezuela. 21- 27 Junio 1981. 23 p.

Fideghelli C, De Salvador FR (2009). World hazelnut situation and perspectives. Acta Horticulturae 845: 39-52.

Fernández JE, Moreno F, Cabrera F, Arrúe JL, Martín-Aranda J (1991). Drip irrigation, soil characteristics and the root distribution and root activity of olive trees. Plant and Soil 133: 239-251.

Germain E, Sarraquigne JP (2004). Le noisetier. Ctifl. París, Francia. 296 p.

Girona J, Cohen M, Mata M, Marsal J, Miravete C (1994). Physiological, growth and yield responses of hazelnut (*Corylus avellana* L.) to different irrigation regimes. Acta Horticulturae 351: 463-472.

Gispert JR, Ramírez de Cartagena F, Villar JM, Girona J (2013). Wet soil volume and strategy effects on drip-irrigated olive trees (cv. 'Arbequina'). Irrigation Science 31: 479-489.

Gispert JR (2008). Investigación para caracterizar el volumen de suelo húmedo (VSH) en riego localizado. Influencia del VSH en olivo (*Olea europaea* L.), manzano (*Malus domestica* BORK) y avellano (*Corylus avellana* L.). Tesis Doctoral. Universitat de Lleida, España. pp. 205-233.

Gispert JR, Tous J, Romero A, Plana J, Gil J, Company A (2005).The influence of different irrigation strategies and the percentage of wet soil volume on the productive and vegetative behaviour of the hazelnut tree (*Corylus avellana* L.). Acta Horticulturae 686: 333-341.

Gispert JR, Gil J, Company A (1996).La superficie mullada del sòl en el cultiu de l'avellaner. Catalunya Rural i Agrària 29: 29-37.

Gispert JR, García J (1994). El volumen húmedo del suelo. Aspectos agronómicos relacionados con la microirrigación (II). Riegos y drenajes, XXI/77: 16-28.

Grau P (2009). Manual de Avellano Europeo. Boletín INIA, 195. Chillan, Chile. 96 p.

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

IRTA (1997). Fichas Varietales 'Pauetet'. El Boletín de Crisol y Ceres de Frutos Secos 5: 23.

Jiménez A, Caballero F, Funes E (1977). Aplicación de isótopos a los problemas de la fertilización. Seminario Fertilización cultivos. CRIDA-06. Madrid, España.

Keller J, Bliesner RD (1990). Sprinkle and trickle irrigation. New Cork: Van Nostrand Reinhold, 662 p.

Marsal J, Girona J, Mata M (1997). Leaf Water Relation Parameters in Almond Compared to Hazelnut Trees during a Deficit Irrigation Period. Journal of the American Society for Horticultural Science. 122(4): 582-587.

Mingeau M, Ameglio T, Pons B, Rousseau P (1994). Effects of water stress on development growth and yield of hazelnut trees. Acta Horticulturae 351: 305-314.

Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA) (2013). Encuesta de superficies y rendimientos de cultivos (ESYRCE). Secretaria General Técnica. Madrid.

Natali S, Bignami C, Gonzales MJ (1988). Effetti dello stres idrico sul potenziale idrico fogliare, sulla traspirazione e sulla fotosintesi in *Corylus avellana* L. Irrigazione e drenaggio 3: 118-123.

Nuñez-Aguilar I, Arrúe-Ugarte JL, Moreno F, Martín-Aranda J (1980). Sustracción de humedad en la zona radicular del olivo (variedad manzanillo). Técnicas de seguimiento y primeros resultados obtenidos. Actas del VII Simposio de Bioclimatología del Centro Superior de Investigaciones Científicas. Avances sobre la investigación en Bioclimatología, Sevilla (España) Diciembre 1990: 515-524.

Romisondo P, Me G, Radicati L (1988). El cultivo moderno y rentable del avellano. Ed. De Vecchi. Barcelona, España. 126 p.

Rovira M, Aletà N (2012).*Corylus avellana* L. En: Producción y manejo de semillas y plantas forestales. Tomo I. (Ed. Pemán J, Navarro R, Nicolás JL, Prada MA, Serrada R.) MARM: 394-405.

SAS Institute (1996). SAS Software. SAS Inst., Cary, NC.

Schwartzmass M, Zur B (1986). Emitter spacing and geometry of wetted soil volume. Journal of Irrigation and Drainage Engineering 112 (3), 242-253.

Silva AP, Santos F, Santos A, Sousa V, Lopes A, Assunçao A, Mota B, Carvalho JL, Borges O (2005). A Aveleira. Projecto Agro 162. Vila Real, Portugal. 178 p.

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

Tombesi A, Rosati A (1997). Hazelnut response to water levels in relation to productive cycle. Fourth International Symposium on Hazelnut. Acta Horticulturae 445, 269-278.

Tombesi A (1994). Influence of soil water levels on assimilation and water use efficiency in hazelnut. Acta Horticulturae 351: 247-255.

Tous J, Rovira M, Plana J (1987). Cultivo del avellano. Fruticultura Profesional 11: 115-123.

Tous J, Rovira, M, Romero A (2001). Avellano. En: La Horticultura Española (SECH). Mundi Prensa: 275-278.

Tous J, Rovira M (2004). Situación y perspectivas agronómicas del cultivo del avellano. Vida Rural 201:41-45.

(Aceptado para publicación el 19 de agosto de 2014)

Impacto de la prolificidad en la política de reemplazamiento de cerdas reproductoras

Y. Fernández[1,2], C. Bono[3], D. Babot[1,4] y L.M. Plà[4,5,*]

[1] Departamento de Producción Animal. Universidad de Lleida. Avda. Rovira Roure, 191. 25198 Lleida
[2] Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Facultad de Ciencias Pecuarias. Escuela de Zootecnia. Panamericana Sur, km 1½ Riobamba, 060101 Chimborazo, Ecuador
[3] HERD - Centre for Herd-oriented Education, Research and Development, Department of Large Animal Sciences. University of Copenhagen. Grønnegårdsvej 2, DK-1870 Frederiksberg C, Dinamarca
[4] Agrotecnio Center, Universidad de Lleida. Av. Rovira Roure 191, 25198 Lleida
[5] Departamento de Matemática. Universidad de Lleida. C/ Jaume II 73, 25001 Lleida. http://www.udl.cat/usuaris/d4089492

Resumen

Se estimó la curva de prolificidad media de cinco poblaciones tipo de cerdas obtenidas a partir de una muestra de 53 granjas comerciales (24 españolas, 19 danesas y 10 cubanas) para compararlas y analizar posteriormente su impacto sobre la política óptima de reemplazamiento de cerdas reproductoras. Los parámetros de la curva de prolificidad de las cinco poblaciones mostraron diferencias (P<0,05) que permitieron asociar el tamaño de la camada al primer parto y el máximo tamaño de camada alcanzado con una prolificidad más elevada. En cambio, la pendiente con la que la prolificidad desciende con la edad no mostró diferencias entre las poblaciones. Posteriormente, se analizó el impacto de la prolificidad sobre la política óptima de reemplazamiento. Con ese propósito, se simuló la dinámica productiva de cinco granjas de cerdas con idénticos parámetros excepto en su prolificidad, para la que se consideró cada una de las curvas estimadas previamente. En cada caso se calculó la política óptima de reemplazamiento y se analizó la estructura censal e índices técnicos y económicos asociados. Los índices técnicos y económicos mostraron diferencias entre las cinco granjas (P<0,05). Así, se encontró que mientras el ritmo productivo era similar en todas las poblaciones, la longevidad y estructura censal variaba. Se apreció un acortamiento de la longevidad con prolificidad elevada y viceversa, asociado a una concentración de cerdas superior en la franja más productiva de entre 2 y 7 partos, sin aumentar necesariamente la tasa de reposición. También se demostró que los ingresos netos de las granjas analizadas dependían fundamentalmente de los lechones destetados por cerda y año, así como que una baja prolificidad conducía a reemplazamientos tardíos en relación directa con la amortización de los reproductores.

Palabras clave: Manejo reproductivo, remplazo óptimo, tamaño de camada, productividad.

Abstract
Impact of prolificity on sow replacement policies

The curve of averaged prolificity was estimated in five populations from a sample of 53 commercial farms (24 Spanish, 19 Danish and 10 Cuban). The aim of the paper is to compare the curves of prolificity and analyze the impact on the optimal replacement policy of sows. The parameters of prolificity curves showed

* Autor para correspondencia: lmpla@matematica.udl.cat
http://dx.doi.org/10.12706/itea.2015.009

differences among the five populations (P<0.05). As a result, an association between litter size in the first parity and maximum litter size with higher prolificity was observed. However, the slope described by the steady decline of prolificity with age did not show differences among populations. Later on, we analyzed the impact of prolificity on optimal replacement policies. For this purpose, production dynamics of five farms were simulated using identical parameters except on their prolificity. The prolificity in each simulated farm corresponded to the five estimates from previous populations. For each case, the optimal policy was calculated and corresponding herd structure, technical and economic indexes were analyzed. Indexes associated to each optimal policy revealed differences among farms (P<0.05). Hence, while the reproductive rhythm was similar, the longevity and herd structure were different. Longevity was shorter with higher prolificity and vice-versa. In fact, farms with higher prolificity concentrate more sows between 2 and 7 parities and without increasing culling rates. It was also demonstrated that net incomes in analyzed farms depended strongly on the number of piglets weaned per sow per year and that lower prolificity lead to later replacements in direct relationship with the amortization of sows.

Key words: Reproductive management, optimal replacement, litter size, productivity.

Introducción

La mejora de la gestión de las explotaciones de cerdas reproductoras se ha centrado en distintos aspectos generalmente relacionados con el control de los costes de producción. La metodología utilizada para investigar políticas óptimas de manejo reproductivo se ha basado habitualmente en la modelización matemática. En una revisión sobre el tema, Plà (2007) constata que el problema del reemplazamiento ha sido uno de los que ha recibido más atención por su impacto económico después de la alimentación, que sería el principal.

El problema del reemplazamiento consiste en determinar el momento óptimo de reemplazo de una cerda reproductora (Huirne *et al.,* 1988). El principal ingreso que genera una granja de cerdas reproductoras es el número de lechones que desteta siendo el componente económico más importante de la producción (Smith *et al*., 1983). El deterioro biológico con el paso del tiempo hace que la prolificidad de las cerdas decrezca tras haber conseguido su máximo en los primeros partos. Así, las cerdas se deberían reemplazar cuando su productividad esperada es inferior a la de una cerda de reemplazo. En el número de lechones destetados influye la supervivencia durante la lactación y la prolificidad o el tamaño de la camada al nacimiento; éste último utilizado también como alternativa en la medida del rendimiento económico (Martínez-Giner *et al.,* 2008). Por ello es habitual que los programas de mejora hagan hincapié en la selección por prolificidad en líneas maternas (Sørensen *et al*., 2000; Petry *et al*., 2004). En la bibliografía hay distintas opiniones en cuanto a si la prolificidad en diferentes partos debe ser considerada como medidas repetidas de la misma característica (Southwood y Kennedy, 1990; See *et al*., 1993; Crump *et al.,* 1997; Lourenço *et al.,* 2008) o como rasgos diferentes (Irgang *et al.*, 1994; Roehe y Kennedy, 1995; Rydhmer *et al.*, 1995; Barbosa *et al.*, 2008). En cambio, hay consenso general en que las cerdas muy jóvenes (primíparas) o muy viejas tienen rendimientos productivos inferiores al resto las cerdas adultas. Varios autores coinciden en identificar un patrón tipo para las curvas de prolificidad, con un crecimiento de la prolificidad en los primeros partos de las cerdas hasta alcanzar su máximo que se mantiene más o menos en una meseta durante los siguientes ciclos disminuyendo posteriormente de forma progresiva sobre todo después del séptimo u octavo parto (Daza *et al.,* 1993; Nocera y Fedalto, 2002). Así, Toft y Jørgensen (2002) propusie-

ron un modelo matemático para ajustar la curva de prolificidad de una cerda, que en buena medida respondía al patrón previamente identificado en la literatura. Otros aspectos que también inciden en el reemplazo son la amortización de los animales a lo largo de su vida productiva y la intensidad de su ciclo reproductivo que permitirá obtener más o menos partos por cerda y año.

Al final, a pesar de la cantidad de modelos propuestos para optimizar la política de reemplazamiento, su aplicación práctica ha sido limitada (Plà, 2007). En parte es debido a la falta de aplicaciones informáticas que los incorporen para su uso en la práctica, como apuntan Plà y Pomar (2008). También es debido a la complejidad del problema, que no permite establecer una política óptima de reemplazamiento general sino que va a depender en cada caso de los parámetros propios de cada explotación (Rodriguez *et al*., 2012). Por tanto, el objetivo principal del presente trabajo es determinar analíticamente el impacto que la prolificidad tiene sobre la política óptima de reemplazamiento de cerdas reproductoras. Para ello se pretende (1) estimar y comparar las curvas de prolificidad de diferentes explotaciones porcinas intensivas: españolas, danesas y cubanas, procedentes de diferentes orígenes genéticos, (2) calcular la política óptima de reemplazamiento de cinco granjas diferenciadas únicamente en la prolificidad (Kristensen, 2003) y (3) analizar los resultados de cada política óptima de remplazo a través de la estructura censal y de índices técnico-económicos.

Material y métodos

Datos utilizados en el estudio

La muestra utilizada para estimar diferentes curvas de prolificidad fue un total de 69 granjas de cerdas reproductoras, productoras de lechones, de las que se dispuso de los registros reproductivos individuales de cada una de las cerdas en activo durante 2012 y del historial de animales dados de baja en los dos años anteriores. Después de los primeros análisis individuales, se descartaron 16 explotaciones que no presentaban un buen ajuste al modelo de curva de prolificidad tal y como se presenta en la siguiente sección, quedando finalmente 53 granjas, de las cuales 24 eran españolas (Landrace x Large White), 19 granjas danesas (Landrace x Yorkshire) y 10 cubanas (Landrace x Large White). Atendiendo al origen, la genética y factores ambientales las 53 granjas se agruparon para estimar las curvas de prolificidad en base a los datos disponibles (Tabla 1). Las 24 granjas Españolas procedían de tres orígenes genéticos diferentes que se trataron como tres grupos distintos (referidos

Tabla 1. Muestra de estudio
Table 1. Sample of the study

Población	Procedencia	Clasificación	Granjas (n)	Cerdas activas (promedio)
P1	España	Prolificidad Baja	7	835
P2	España	Prolificidad Media	7	1043
P3	España	Prolificidad Alta	10	893
P4	Dinamarca	Prolificidad Danesa	19	714
P5	Cuba	Prolificidad Cubana	10	129

como P1, P2 y P3). Las granjas danesas disponían de la genética homogénea típica del país (referida como P4). Las granjas cubanas estaban localizadas en la provincia de Holguín, en la parte oriental de Cuba (P5) y con una productividad marcada por una genética heterogénea dentro de la misma raza, las elevadas temperaturas ambientales y también la situación socioeconómica del país que afecta al manejo y alimentación de los animales. Los datos fueron aportados por los respectivos equipos de investigación de cada uno de los autores participantes en el trabajo, integrados en la Universidad de Lleida (España), la Universidad de Copenhague (Dinamarca) y la Universidad de Holguín (Cuba). La identificación de las granjas se ha codificado para mantener la confidencialidad de los propietarios de los datos.

Estimación de las curvas de prolificidad

La estimación de las curvas de prolificidad se realizó para cada granja individualmente, para lo que se empleó el modelo de regresión desarrollado por Toft y Jørgensen (2002). En particular, los datos necesarios para el ajuste de la curva de prolificidad son el código del animal, el número de partos y el número de lechones nacidos vivos en cada parto (Bono *et al*., 2012).

El modelo para la curva de prolificidad puede ser descrito por una variable continua subyacente Y_{in} que se expresa como:

$$Y_{in} = \mu_n + M_{i(n)} + e_{in} \quad (1)$$

donde *i* representa el animal, *n* el orden de parto, μ_n el tamaño de camada medio de cada parto, el termino $M_{i(n)} \sim N(0, \sigma^2)$, representa el efecto de la cerda y $e_{in} \sim N(0, \tau^2)$ el término del error. El termino μ_n, corresponde a la curva media del tamaño de la camada por parto, *n*, para la granja (Figura 1). Dicha curva fue ajustada por Jørgensen (1992) quien consideró para el modelo la combinación de una curva gaussiana (parámetros θ_1 y θ_2) con una recta (parámetros θ_3 y θ_4):

$$\mu_n = \theta_3 - \theta_4 n - \theta_1 e^{-(n2-1)\theta_2} \quad (2)$$

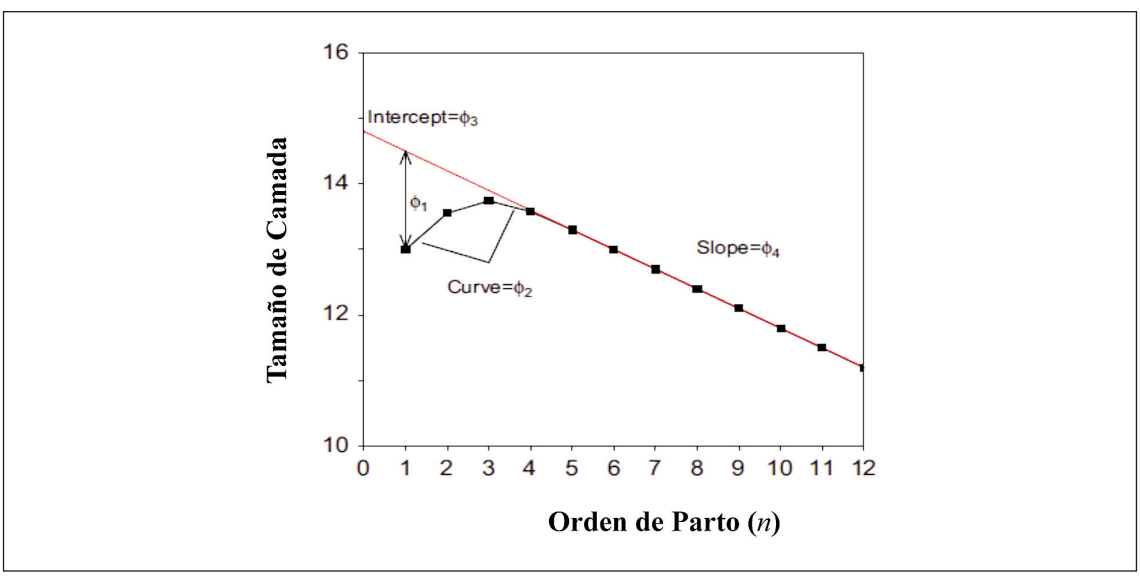


Figura 1. Representación paramétrica de μ_n.
Figure 1. Parametric representation of μ_n.

siendo: θ_1 el diferencial del tamaño de la camada al primer parto respecto la parte lineal de la curva, θ_2 refleja la curvatura de la función entre el primero y el máximo tamaño de camada, θ_3 sería el termino independiente de la recta, mientras que θ_4 representaría la pendiente o descenso más o menos sostenido del tamaño de camada por orden de parto (ver Figura 1). Con el objetivo de comparar las curvas de prolificidad media de las cinco poblaciones, se realizó un análisis de la varianza y la Prueba de Rangos Múltiples (Duncan), para cada uno de los cuatro parámetros que definen μ_n.

El efecto cerda se modeló según una serie temporal autoregresiva de primer orden:

$$M_{i(n)} = e^{-\alpha} M_{i(n-1)} + \eta_{in} \quad (3)$$

donde $\eta_{in} \sim N(0, (1-e^{-2\alpha})\ \sigma^2)$. El parámetro α representa la autocorelación entre partos de la misma cerda. De esta forma la curva de prolificidad queda determinada por los siete parámetros siguientes: θ_1, θ_2, θ_3, θ_4, τ^2, σ^2 y α.

Inicialmente se estimaron los siete parámetros para modelar la curva de prolificidad de cada explotación a partir de las cuales se calcularon las medias para cada una de las distintas poblaciones consideradas. Para los primeros cuatro parámetros: θ_1, θ_2, θ_3 y θ_4, se comprobó que cumplieran con el supuesto de normalidad, a través de la prueba de Anderson-Darling y de homogeneidad de la varianza, con la prueba de Fisher y a través de los gráficos de residuos contra valores ajustados y diagramas Q-Q para la normalidad. Como resultado previo, se desecharon las granjas que no cumplían con ambas condiciones, eliminándose 2 granjas de P1, 1 granja de P2, 5 granjas de P4, y 8 granjas de P5 quedando finalmente las 53 granjas que se presentaron en la Tabla 1.

Optimización de la política de reemplazamiento

Para estudiar el impacto de la prolificidad sobre la política óptima de reemplazamiento se utilizó el modelo descrito por Kristensen y Søllested (2004a). Dicho modelo permite calcular la política óptima de reemplazamiento y diferentes índices técnico-económicos a partir de la simulación de una granja de cerdas reproductoras con unos parámetros específicos. Con el fin de facilitar la comparación de los resultados y valorar mejor el impacto de la prolificidad en la política de remplazo se fijaron todos los parámetros de la granja a simular (Tabla 2) y únicamente se varió la curva de prolificidad que se había estimado previamente para cada una de las explotaciones participantes en el estudio. Mediante un análisis de la varianza y la Prueba de Rangos Múltiples (Duncan) se compararon las medias de los índices técnico-económicos obtenidos para las cinco granjas simuladas con prolificidad distinta.

Software utilizado en los análisis

Para los cálculos estadísticos, el análisis descriptivo, el ajuste de los parámetros de la curva de prolificidad: θ_1, θ_2, θ_3, θ_4, τ^2, σ^2 y α; análisis de la varianza y comparación de medias se utilizó el software R versión 3.0.2. El mismo software se utilizó para representar gráficamente y verificar algunos resultados, así como estudiar su bondad. Para la optimización de la política de reemplazamiento y el cálculo de resultados asociados se utilizó el programa MLHMP (Kristensen, 2003) basado en un modelo de decisión Markoviano (Kristensen y Jørgensen, 2000) que incluye un modelo dinámico lineal para la actualización de los parámetros a través del tiempo.

Tabla 2. Principales parámetros constantes del modelo
Table 2. Main constant parameters in the model

Parámetro	Valor	Parámetro	Valor
Ciclos reproductivos (n máximo)	12	Tasa de concepción (%)	
Cubriciones (n)		Base	0,921
Mínimo	1	Ciclo 1	0,963
Máximo	5	Ciclo 2	0,967
Tipos de machos alternativos (n)	1	Ciclo 3	1
Edad al destete (semanas)		Ciclo 4	0,987
Mínima	3	Ciclo 5	0,967
Máxima	5	Ciclo 6	0,976
Clases productivas potenciales (n)	21	Ciclo 7	1,015
Clase más pequeña	0	Ciclo 8	0,962
Clase más grande	19	Ciclo 9-16	0,800
Peso cerda (kg)		Precio pienso (€/kg)	
Ciclo 1	157	cubrición	0,27
Ciclo 2	181	gestación	0,27
Ciclo 3	205	lactación	0,27
Ciclo 4	219	lechones	0,40
Ciclo 5	236	Precio lechón vendido(€/animal)	33,38
Ciclo 6	252	Precio cerda reposición (€/animal)	228,40
Ciclo 7	259	Precio matadero (€/kg)	0,81
Ciclo 8	267	Precio inseminación artificial (€)	20,11
Ciclo 9-16	270	Repetición 1	-0,03
Consumo diario (kg/d)		Repetición 2	-0,06
en inseminación	3,75	Repetición 3	-0,09
en gestación, semana 1-4	2	Repetición 4	-0,12
en gestación, semana 5-12	2	Mortalidad lechones (%)	
en gestación, semana 13-16	3	primer parto	0,1
en gestación, últimos días	2,25	resto de partos	0,128
Consumo del lechón (kg/d)		Término constante	2,192
Semana 3	0,03	Efecto lineal de la paridad	0,297
Semana 4	0,12	Efecto cuadrático de la paridad	-0,022
Semana 5	0,6	Efecto lineal del tamaño de la camada	0,224
Factor de reducción del valor de	0,7	Efecto cuadrático del tamaño de camada	-0,008
las cerdas enfermas		Efecto lineal de la edad del destete	0,015

Fuente: Kristensen y Søllested (2004a[1]).

1. Cambio 1 € = 7,46 DKK.

Resultados y discusión

Curvas de prolificidad

En la Tabla 3 se observan los valores estimados para los parámetros θ_1, θ_2, θ_3 y θ_4, que definen el perfil de las curvas del tamaño de camada para cada una de las poblaciones consideradas. La comparación estadística de los resultados, a través del análisis de varianza, refleja diferencias entre poblaciones (P<0,01) en todos los parámetros. La Tabla 3 indica además la separación de medias entre poblaciones para cada parámetro.

El comportamiento de θ_1 (que se relaciona con el tamaño de la camada al primer parto) y la tendencia lineal del descenso posterior de la prolificidad (ver Figura 1), es superior en P4 (P<0,05), pero sin diferencias con P1 (P>0,05). Ambas poblaciones son las que muestran una mayor prolificidad media en sus explotaciones (Figura 2(f)). Esta correlación positiva con la prolificidad corroboraría resultados parecidos obtenidos por Quintanilla y Babot (2008) quienes mostraron la relación entre el tamaño de camada al primer parto y la prolificidad. En esta línea, el efecto de la primera camada ya se había considerado como criterio para la selección de reproductoras por tamaño de camada (Dewey *et al.,* 1995; See *et al.,* 1993). En el caso de θ_2, que define la curvatura de la prolificidad e influye en el tamaño de camada máximo que se puede alcanzar, el valor en la P4 vuelve a ser mayor (P<0,05). Una curvatura elevada representa un máximo en prolificidad más acusado que con valores menores. La peor curvatura, y por ende, una menor progresión hacia un máximo marcado en la curva de prolificidad se observa en P5 (ver Figura 2 (e) y (f)). Con valores intermedios a los de P4 y P5 se sitúan el resto de poblaciones, sin diferencias entre ellas (P>0,05). Resultados análogos presentados por Bono *et al*. (2012) demuestran que contra mayor es la curvatura mayor crecimiento tiene el tamaño de la camada en segundo y tercer parto. Los parámetros θ_3 y θ_4 definen la recta que representa el descenso de la prolificidad una vez alcanzado el máximo (Figura 1) y su interpretación aislada es difícil ya que se ven afectados por los valores previos de θ_1 y θ_2. El parámetro θ_3, (que se puede relacionar con la prolificidad potencial) es mucho mayor (P<0,01) para P4,

Tabla 3. Parámetros estimados para los cinco tipos de poblaciones (media ± error estándar)
Table 3. Estimated parameters for the five types of population

Parámetros	P1	P2	P3	P4	P5
θ_1	3,313 ^{ab}	2,314 ^{d}	2,525 ^{cd}	3,758 ^{a}	3,024 ^{bc}
	(±0,11)	(±0,11)	(±0,167)	(±0,19)	(±0,27)
θ_2	0,103 ^{ba}	0,129 ^{b}	0,117 ^{b}	0,323 ^{c}	0,052 ^{a}
	(±0,006)	(±0,004)	(±0,007)	(±0,024)	(±0,022)
θ_3	14,774 ^{b}	14,725 ^{b}	15,425 ^{b}	18,245 ^{c}	13,472 ^{a}
	(±0,2)	(±0,2)	(±0,23)	(±0,21)	(±0,26)
θ_4	0,459 ^{a}	0,343 ^{b}	0,353 ^{b}	0,289 ^{b}	0,292 ^{b}
	(±0,025)	(±0,026)	(±0,029)	(±0,029)	(±0,029)

En cada fila, letras diferentes reflejan diferencias entre poblaciones con un *P-valor* ≤ 0,05.

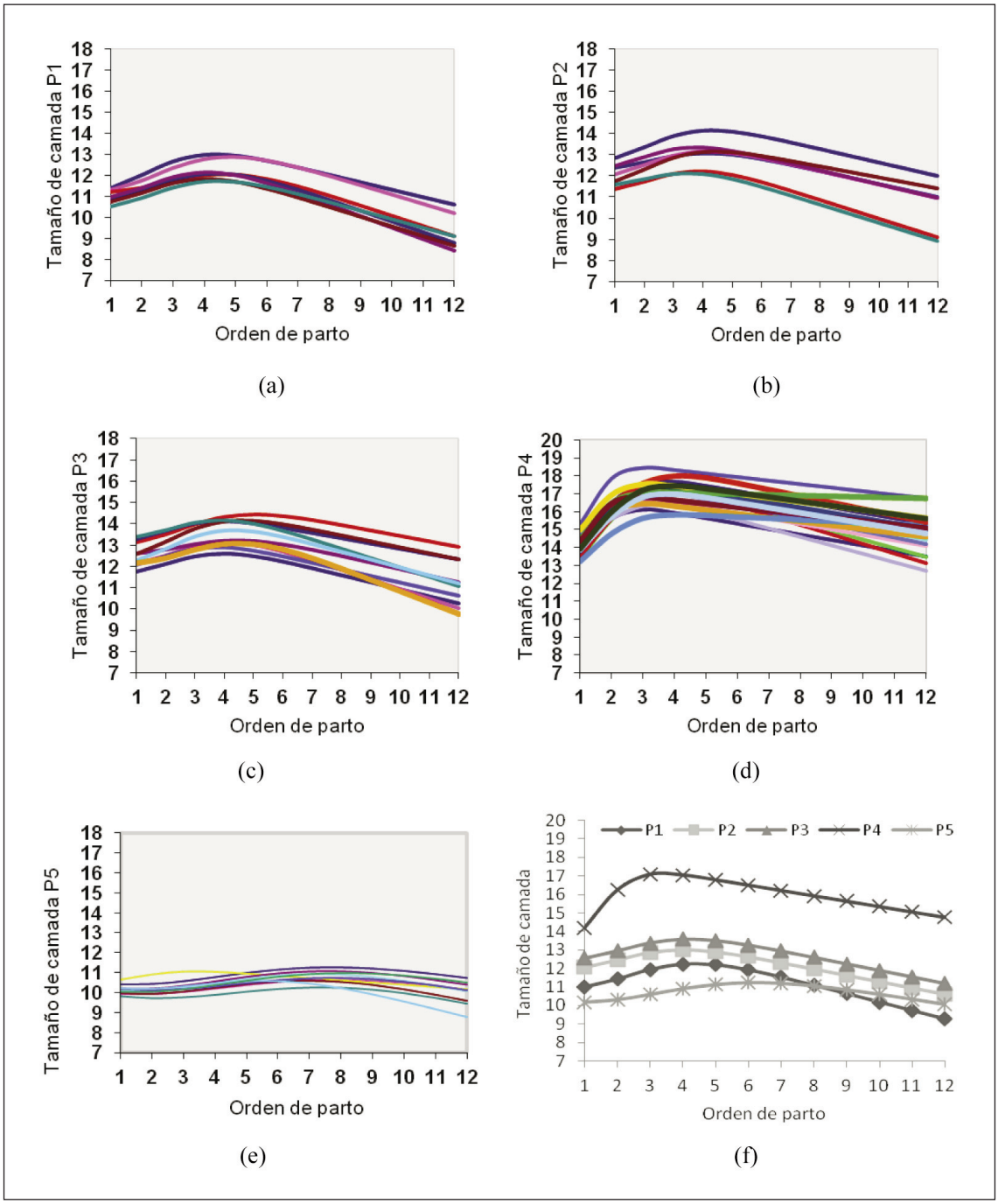


Figura 2. Curva de prolificidad de todas las granjas mostradas para cada población (a-e) y su curva promedio (f).

Figure 2. Prolificity curve of all farms displayedby population (a-e) and their average curve (f).

en cambio, el parámetro θ_4 (que refleja el descenso paulatino del tamaño de la camada) únicamente difiere (P<0,01) en la población P1, con una pendiente más acusada con respecto al resto de poblaciones que muestran una pendiente similar. Los resultados de las curvas de prolificidad estimadas parecen indicar que las diferencias en prolificidad entre las poblaciones estudiadas se deben más a diferencias en el potencial prolífico del primer parto (θ_1) junto con la capacidad de incrementar el tamaño de la camada en el segundo y tercer parto (θ_2) que no al descenso paulatino durante el resto de la vida productiva (θ_3 y θ_4).

En la Figura 2 se presentan las curvas de tamaño de camada, de todos los rebaños, de cada una de las granjas incluidas en el estudio para cada población, así como las curvas promedios en la última gráfica (Figura 2, f). Se puede decir que el comportamiento dentro de cada población es bastante homogéneo, lo que se explica por la homogeneidad de la genética de los animales que las conforman, se observa un patrón parecido en todas las granjas de P1, P2, P3 y P4, con un incremento de la prolificidad de primer a segundo parto. Este incremento es mucho más marcado en la población P4 con el promedio de prolificidad más alto y en concordancia con los parámetros estimados previamente. Sin embargo, el comportamiento resulta más atípico para las granjas cubanas, P5, que muestran una curva de prolificidad por debajo de las anteriores. Si bien la línea genética en granjas cubanas es esperable que pueda explicar una menor prolificidad, el no observar apenas diferencias por orden de parto permite sospechar la concurrencia de otros motivos como deficiencias en el manejo, instalaciones deficientes o alimentación irregular del ganado.

Las curvas de tamaño de la camada al nacimiento, obtenidas como promedio de las curvas estimadas para cada granja dentro de población se muestran en la última gráfica (f) de la Figura 2. Estas reflejan un máximo en el tamaño de camada del tercer parto en la P4, mientras que para las poblaciones P1, P2 y P3 el incremento se alarga hasta el cuarto parto y en P5 más tardío, en el sexto. Estos resultados están de acuerdo con las afirmaciones de algunos autores sobre que el máximo tamaño de camada se alcanza habitualmente en el cuarto parto (Roehe y Kennedy, 1995; Noguera *et al.,* 2002a), aunque puedan registrarse diferencias entre distintas líneas comerciales (Moeller *et al.,* 2004), resultados similares son mencionados por Kristensen y Søllested (2004b).

El tamaño de la camada al primer parto es mayor en P4, con una diferencia superior a dos lechones sobre las restantes poblaciones. Este incremento se mantiene más o menos constante en los sucesivos partos. La relación entre el tamaño de la camada al primer parto y partos sucesivos ha sido estudiada por diferente autores. Por ejemplo, Roehe y Kennedy (1995) y Noguera *et al,* (2002b) encontraron que los valores de heredabilidad para el tamaño de camada en partos sucesivos tienen tendencias crecientes. También Hanenberg *et al.* (2001) encontraron un incremento ligero de los valores de heredabilidad hasta el sexto parto, en todos los casos los estudios se limitaron hasta el sexto parto. Irgang *et al*. (1994) obtuvieron tendencias similares para la raza Large White con un incremento progresivo de la media de lechones durante el primero, segundo y tercer parto. Otros autores, como Dagorn y Anmaitre (1979), Pinheiro *et al.* (2000), Nocera y Fedalto (2002) y Ribeiro *et al.* (2008), describen comportamientos muy similares en las curvas de prolificidad, independientemente de la raza y las condiciones de crianza. Carvalho *et al*. (2005) y Koketsu (2005) retrasan más el descenso de la prolificidad al observar un aumento en el número total de lechones nacidos hasta el quinto ciclo, comenzando a disminuir en el sexto parto.

Optimización de la política de reemplazamiento: Estructura censal

Los principales resultados derivados de la política óptima de reemplazamiento que se analizaron fueron la estructura censal de las cinco granjas simuladas con los mismos parámetros presentados en la Tabla 2, pero con la prolificidad estimada de la Tabla 3 derivadas de P1, P2, P3, P4 y P5 respectivamente (Figura 3) y un conjunto de índices técnicos y económicos (Tabla 4).

La estructura censal es importante ya que es sabido que las cerdas menos productivas son las primerizas y las más viejas. Dijkhuizen *et al*. (1986) y Stein *et al.* (1990), ya observaron que la mayor presencia en el rebaño de hembras jóvenes induce menores niveles de producción y un incremento de los días no productivos de la cerda. En la Figura 3 se aprecia como en el porcentaje de cerdas de primer parto de P4 y P5 tienen un valor bajo y muy similar. Sin embargo, la edad máxima de la población P4 es de 9 partos mientras que la

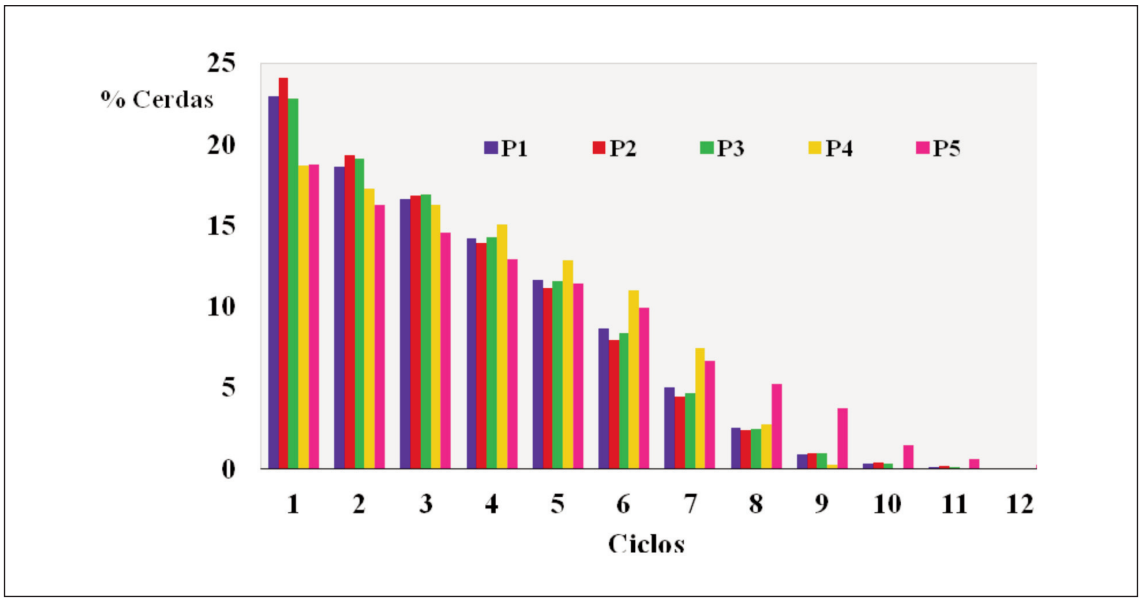


Figura 3. Estructura censal de las cinco granjas simuladas.
Figure 3. Herd structure of five simulated farms.

longevidad máxima de P5 es de 12 partos. En cambio para P1, P2 y P3 el número máximo de partos se sitúa en 10 y la distribución de cerdas por orden de parto presenta pequeñas variaciones entre dichas poblaciones. Estos resultados contrastan con reglas generales como las propuestas por Huirne *et al.* (1988), quienes plantean que la vida económica máxima de las cerdas resulta ser de 10 partos. Otros estudios más recientes afirman que en granjas de alta producción (como sería el caso de la P5), rara vez se permite que las cerdas permanezcan en la granja después de ocho ciclos y en general las cerdas se eliminan después de seis camadas (Waddell, 2010). Cabe recordar que los datos presentados en

Tabla 4. Rendimiento técnico y económico estimado en las cinco poblaciones simuladas
Table 4. Technical and economical indexes estimated in the five populations simulated

Índices		P1	P2	P3	P4	P5
Censo	Cerdas primera cubrición (%)	22,96 (±0,85)^{a}	24,11 (±0,83)^{a}	22,83 (±0,53)^{a}	18,71 (±0,68)^{b}	18,74 (±1,02)^{b}
	Cerdas entre 2º-7º parto (%)	74,88 (±0,90)^{b}	73,67 (±0,82)^{bc}	74,98 (±0,56)^{b}	79,97 (±0,83)^{a}	71,76 (±1,20)^{c}
	Tiempo de estancia (años)	1,76 (±0,07)^{b}	1,68 (±0,06)^{b}	1,77 (±0,04)^{b}	2,19 (±0,06)^{a}	2,2 (±0,12)^{a}
	Reposición al año (%)	57,14 (±2,1)^{a}	59,98 (±2,1)^{a}	56,8 (±1,3)^{a}	46,58 (±1,7)^{b}	46,57 (±2,5)^{b}
Ritmo	Partos (cerda en producción y año)	2,49 (±0,0003)^{a}	2,49 (±0,0003)^{a}	2,49 (±0,0003)^{a}	2,49 (±0,0004)^{a}	2,48 (±0,0007)^{b}
Reproductivo	Intervalo entre partos (días)	146,7 (±0,02)^{a}	146,7 (±0,02)^{a}	146,7 (±0,02)^{a}	146,7 (±0,02)^{a}	146,9 (±0,04)^{b}
Productividad	Destetados (cerda de baja)	46,67 (±1,68)^{b}	48,03 (±2,04)^{b}	52,08 (±1,69)^{b}	74,44 (±2,57)^{a}	51,2 (±2,78)^{b}
	Destetados (cerda y año)	26,47 (±0,38)^{c}	28,58 (±0,49)^{b}	29,39 (±0,35)^{b}	33,9 (±0,35)^{a}	23,21 (±0,09)^{d}
	Tamaño de la camada al destete (n)	10,64 (±0,15)^{c}	11,49 (±0,2)^{b}	11,81 (±0,14)^{b}	13,62 (±0,14)^{a}	9,34 (±0,04)^{d}
	Camadas por cerda de baja (n)	4,39 (±0,16)^{b}	4,18 (±0,14)^{b}	4,4 (±0,10)^{b}	5,45 (±0,16)^{a}	5,48 (±0,30)^{a}
Ingresos	Netos (€/ por cerda y año)	255 (±12,2)^{c}	322 (±16,5)^{b}	352 (±12,5)^{b}	513 (±12,5)^{a}	155 (±3,7)^{d}

En cada fila, letras diferentes reflejan diferencias entre poblaciones con un *p-valor* ≤ 0,05.

la Figura 3 corresponden a explotaciones con un mismo ritmo reproductivo donde el único parámetro que los diferencia es la curva de prolificidad. De esta forma se contradice la teoría sobre la existencia de una estructura ideal única para una población de cerdas reproductoras (o de un número de ciclos reproductivos máximo único para todas las explotaciones), demostrándose que la estructura óptima de una población depende del ritmo reproductivo, pero también de la productividad de los animales (Rodriguez *et al*., 2012).

Optimización de la política de reemplazamiento: índices técnicos y económicos

Para comprender mejor el impacto de la prolificidad sobre la política óptima de reemplazamiento se calcularon algunos índices técnicos equivalentes a los propuestos por Kristensen y Søllested (2004a). Los índices técnicos: destetados por cerda de baja, destetados por cerda y año y tamaño de la camada al destete, que se presentan en la Tabla 4 ponen de manifiesto diferencias (P<0,05) notables entre la productividad de P4 y P5 que corresponden a la mayor y menor prolificidad, respectivamente. En cambio, esos mismos índices son parecidos para P2 y P3 siendo para P1 menores. Los destetados por cerda de baja son iguales en todas las poblaciones, excepto para P4 donde es superior (P<0,05) debido a su mayor prolificidad. Los ingresos netos esperados por cerda y año para cada población se corresponde con el nivel de prolificidad de cada una de ellas, observándose una correlación directa, sin embargo entre P2 y P3 no se aprecian diferencias en este concepto.

En los índices relacionados con el censo y en el ritmo reproductivo no se encuentran diferencias entre las tres poblaciones españolas (P1, P2 y P3). En cuanto a los índices relacionados con el ritmo reproductivo, únicamente P5 muestra diferencias (P<0,05) con el resto

de poblaciones debido a la mayor longevidad de las cerdas que redunda en un menor número de partos por cerda y año.

En cuanto a los índices relativos al censo de P4 y P5, éstos son iguales excepto en el porcentaje de cerdas de 2º-7º parto. Es P4 quien concentra más animales en esa franja y P5, con una longevidad máxima mayor, presenta el valor menor para ese índice (Tabla 4) siendo el impacto de la curva de la prolificidad la única explicación del comportamiento. Estos resultados coinciden con las consideraciones de Acero (2011) y Babot y Quintanilla (2008), quienes plantean que las granjas productivas mantienen un 75% del censo entre los ciclos segundo y séptimo, es decir, evitan tener una mayor cantidad de cerdas primerizas y viejas que producen menores tamaños de camadas. Además, las cerdas primerizas tienen el intervalo destete-celo más largo que el resto de cerdas, aumentando los días improductivos lo que significa más pérdidas económicas por aumento de los gastos por cerda y año (Babot y Quintanilla, 2008). Koketsu (2005) observó que en poblaciones donde hay un mayor número de cerdas entre 2º y 6º parto hay más lechones destetados por cerda y año, más camadas por cerda y año, menos días improductivos y más partos por cerda y año.

En todas las poblaciones, el tiempo de estancia presenta un promedio de alrededor dos años en la explotación, por debajo de seis camadas (Tabla 4). Hay diferencias ($P<0,05$) entre poblaciones, siendo P4 y P5 las que mantienen en promedio más tiempo las cerdas en el rebaño, en coherencia con el número de camadas por cerda de baja y con una menor reposición. Estos resultados sugieren que el tener bajas tasas de reposición puede ser ventajoso en rebaños con potenciales prolíficos muy altos pero también en rebaños con bajo potencial prolífico que requieren un mayor periodo de amortización de sus animales.

Conclusiones

La curva de prolificidad estimada de diferentes explotaciones porcinas intensivas de diferentes orígenes genéticos ha permitido comprender mejor algunos parámetros técnicos en relación a la prolificidad. Así, un tamaño de camada de primer parto elevado y un tamaño de camada máximo también elevado son característicos de las poblaciones más prolíficas respecto a otras poblaciones menos productivas. Poblaciones menos prolíficas, además de presentar un tamaño de camada inferior en el primer parto, también alcanzan un tamaño de camada máximo inferior y más tardío en la vida productiva de los animales. En cambio, no se han observado diferencias apreciables en la tendencia con la que el tamaño de camada desciende en etapas maduras de la cerda reproductora.

En cuanto al impacto de la prolificidad en la política óptima de reemplazo de reproductoras porcinas, los resultados permiten extraer varias conclusiones: a) la prolificidad afecta a la estructura ideal de la población, en general, una prolificidad elevada está asociada a un porcentaje mayor de cerdas en las edades más productivas (de segundo a séptimo parto) que también influye en la edad productiva máxima; b) una prolificidad elevada va asociada a un acortamiento de la vida productiva máxima de las reproductoras, mientras que una prolificidad baja incide en un alargamiento de la vida productiva de las reproductoras que requieren más tiempo para amortizarse; c) los parámetros productivos y reproductivos de cada explotación condicionan su manejo óptimo, en particular el manejo del reemplazo depende del ritmo reproductivo, pero también de la productividad de los animales. Así, la reposición anual en rebaños con elevada y baja prolificidad puede ser igual, su porcentaje de cerdas de primera cubrición igual, el número de partos por cerda y año igual y su intervalo entre partos

igual, pero la productividad por parto y anual bien distintas, acorde con su prolificidad. De la misma forma que en este trabajo se ha demostrado la no existencia de una estructura ideal universal de cerdas reproductoras para todas las explotaciones, también se ha demostrado que no puede existir una política óptima de manejo única para cualquier granja. También se ha confirmado que los ingresos netos de los rebaños dependen fundamentalmente de los lechones destetados por cerda y año más que de la longevidad de las cerdas, lo que significa que altas tasas de reposición serían compensadas económicamente por la tasa de lechones destetados.

Agradecimientos

El presente trabajo se ha desarrollado en el marco del proyecto de investigación AGL2010 -20820 financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación. Los autores también quieren manifestar su agradecimiento al Profesor Anders R. Kristensen de la Universidad de Copenhague tanto por su apoyo en el uso del software MLHMP como a sus comentarios en versiones preliminares de este artículo.

Bibliografía

Acero P (2011). Planificación y manejo de la explotación de ganado porcino. Tomo VI. Edición: Consejería de Agricultura y Ganadería de Castilla y León. Valladolid. 110 p.

Babot D, Quintanilla R (2008). Decisiones de manejo en granjas y su influencia sobre la productividad: edad al primer parto, duración de la lactación y eliminación-renovación de animales. La gestión técnica de explotaciones porcinas en España. Ed. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación 87-108.

Barbosa L, Lopes P, Regazzi A (2008). Estimação de parâmetros genéticos em tamanho de leitegada de suínos utilizando análises de características múltiplas. Uma revisão. Revista Brasileira de Zootecnia 37: 1947-1952.

Bono C, Cornou C, Kristensen A (2012). Dynamic production monitoring in pig herds I: Modeling and monitoring litter size at herd and sow level. Livestock Science 149: 289-300.

Carvalho L, Sousa K, Bastos F (2005). Efeito da ordem de parto sobre a prolificidade da fêmea suína. In: Congresso Brasileiro dos Veterinários Especialistas em Suínos. Anais. Fortaleza. Ceará 214-215.

Crump R, Haley C, Thompson R (1997). Individual animal model estimates of genetic parameters for reproduction traits of Landrace pigs performance tested in a commercial nucleus herd. Journal of Animal Science 65: 285-290.

Dagorn J, Anmaitre A (1979). Sow culling: reasons for and effect on productivity. A review. Livestock Production Science 6: 167-177.

Daza A, Gutiérrez M (1993). Efecto de la estación y orden de parto sobre el tamaño de camada y mortalidad de lechones durante la lactancia. Archivos de Zootecnia 42: 339-346.

Dewey C, Martin S, Friendship R, Kennedy B, Wilson M (1995). Associations between litter size and specific sow-level management factors in Ontario swine. Preventive Veterinary Medicine 23: 101-110.

Dijkhuizen A, Morris R, Morrow M (1986). Economic optimization of culling strategies in swine breeding herds, using the "Porkchop" computer program. Preventive Veterinary Medicine 4: 341-353.

Hanenberg E, Knol E, Merks J (2001). Estimates of genetic parameters for reproduction traits at different parities in Dutch Landrace pigs. Livestock Production Science 69: 179-186.

Huirne R, Hendriks T, Dijkhuizen A, Giesen G (1988). The economic optimisation of sow replacement decisions by stochastic dynamic programming. Journal of Agricultural Economics 39: 426-438.

Irgang R, Favero J, Kennedy B (1994). Genetic parameters for litter size of different parities in Duroc, Landrace, and Large White sows. Journal of Animal Science 72: 2237-2246.

Jørgensen E (1992). Sow replacement: reduction of state space in dynamic programming models and evaluation of benefit from using the model. Dina Research Report 6: 1-21.

Koketsu Y (2005). Within-farm variability in age structure of breeding-female pigs and reproductive performance on commercial swine breeding farms. Theriogenology 63: 1256-1265.

Kristensen AR (2003). A general software system for Markov decision processes in herd management applications. Computers and Electronics in Agriculture 38, 199-215.

Kristensen AR, Jørgensen E (2000). Multi-level hierarchic Markov processes as a framework for herd management support. Annals of Operations Research 94, 69-89.

Kristensen A, Søllested T (2004a). A sow replacement model using Bayesian updating in a three-level hierarchic Markov process I. Biological model. Livestock Production Science 87: 13-24.

Kristensen A, Søllested T, (2004b). A sow replacement model using Bayesian updating in a three-level hierarchic Markov process: II. Optimization model. Livestock Production Science 87: 25-36.

Lourenço F, Dionello N, Medeiros G (2008). Estudos genéticos sobre a leitegada de suínos da raça Large White criados no Rio Grande do Sul. Uma revisão. Revista Brasileira de Zootecnia 37: 1959-1964.

Martínez-Giner M, Pena N, Casellas J, Balcells I, Fernández A (2008). El tamaño de camada es un carácter de gran importancia económica en porcino. Una revisión. Información Técnica Económica Agraria 104: 89-93.

Moeller SJ, Goodwin RN, Johnson RK, Marbry JW, Baas TJ, Robison OW (2004). The National Pork Producer Council Maternal Line Genetic Evaluation Program: A comparison of six maternal genetic lines for female productivity measures over four parities. Journal of Animal Science 82: 41-53.

Nocera P, Fedalto L (2002). A influência de fatores ambientais e de inseminação artificial sobre as características produtivas de suínos. Uma revisão. Archivos de medicina veterinaria 7: 159-172.

Noguera J, Varona L, Babot D, Estany J (2002a). Multivariate analysis of litter size for multiple parities with production traits in pigs: II. Response to selection for litter size and correlated response to production traits. Journal of Animal Science 80: 2548-2555.

Noguera J, Varona L, Babot D, Estany J (2002b). Multivariate analysis of litter size for multiple parities with production traits in pigs: I. Bayesian variance component estimation. Journal of Animal Science 80: 2540-2547.

Petry D, Holl J, Johnson R (2004). Responses to 19 generations of litter size selection in the NE Index line. II. Growth and carcass responses estimated in pure line and crossbred litters. Journal of Animal Science 82: 1895-1902.

Pinheiro M, Galvão R, Bezerra N, Espíndola G (2000). Características reprodutivas de suínos puros na região semi-árida do Rio Grande do Norte. I Tamanho da leitegada. Uma revisão. Revista Caatinga, 13: 19-26.

Plà L (2007). Review of mathematical models for sow herd Management. Livestock Production Science 106: 107-119.

Plà L, Pomar J (2008). Sistemas de ayuda a la toma de decisiones. La gestión técnica de explotaciones porcinas en España. Ed. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. 21-30 p.

Quintanilla R, Babot D (2008). Gestión de la producción y de la empresa porcina: parámetros implicados en el rendimiento técnico de las explotaciones porcinas. La gestión técnica de explotaciones porcinas en España. Ed. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. 31-55 p.

Ribeiro J, Carvalho L, Sousa K, Nepomuceno R (2008). Prolificidade de fêmeas suínas nacidade de fortaleza, Ceará, Brasil. Uma revisão. Archivos de Zootecnia 57: 537-540.

Roehe R, Kennedy B (1995). Estimation of genetic parameters for litter size in Canadian Yorkshire

and Landrace swine with each parity of farrowing treated as a different trait. Journal of Animal Science 73: 2959-2970.

Rodriguez S, Plà LM, Albornoz V (2012). Modelling tactical planning decisions through a linear optimization model in sow farms. Livestock Science 143: 162-171.

Rydhmer L, Lundeheim N, Johansson K (1995). Genetic parameters for reproduction traits in sows and relations to performance test measurements. Journal of Animal Breeding and Genetics 112: 33-42.

See M, Mabry J, Bertrand J (1993). Restricted maximum likelihood estimation of variance components from field data for number of pigs born alive. Journal of Animal Science 71: 2905-2909.

Smith C, Dickerson G, Tess M (1983). Expected relative responses to selection for alternative measures of life cycle economic efficiency of pork production. Journal of Animal Science 56: 1306-1314.

Sørensen D, Vernersen A, Andersen S (2000). Bayesian analysis of response to selection: a case study using litter size in Danish Yorkshire pigs. Genetics 156: 283-295.

Southwood O, Kennedy B (1990). Estimation of direct and maternal genetic variance for litter size in Canadian Yorkshire and Landrace swine using an animal model. Journal of Animal Science 68: 1841-1847.

Stein T, Dijkhuizen A, D'Allaire S, Morris R (1990). Sow culling and mortality in commercial swine breeding herds. Preventive Veterinary Medicine 9: 85-94.

Toft N, Jørgensen E (2002): Estimation of farm specific parameters in a longitudinal model for litter size with variance components and random dropout. Livestock Production Science 77: 175-185 p.

Waddell J (2010). Achieving 30 Pigs/Sow/Year Key differences exist in high producing farms. Presentation by Dr. Waddell at the 2010 Banff Pork Seminar.

(Aceptado para publicación el 6 de enero de 2015)

Evolución a lo largo del ciclo de puesta del contenido de ácidos grasos omega-3 en huevos enriquecidos de producción ecológica

M. Tor[1,*], M. Llovera[2], J.A. Moreno[1] y E. Angulo[1]

[1] Departament de Producció Animal. Universitat de Lleida. Av. Rovira Roure 191. 25198 Lleida
[2] Serveis Científico-Tècnics. Universitat de Lleida

Resumen

En este trabajo se estudia la puesta de gallinas en producción ecológica alimentadas con pienso enriquecido con un 4% de harina de pescado y 2,95% de aceite de soja hasta las 90 semanas de vida. Se caracteriza la calidad del huevo y se estudia la evolución de la composición de su grasa. Simultáneamente se evalúa la posibilidad de simplificar el método analítico para la composición de la grasa, omitiendo el paso de extracción de la grasa, previa a la transesterificación. Las características de los huevos estudiados se corresponden con los valores bibliográficos de producción ecológica, presentando un peso medio de 57,25 ± 0,41 g, un índice de forma de 80,42 ± 0,43, un grosor de cáscara de 379,33 ± 4,56 µm, un valor de unidades Haugh de 80,17 ± 0,88 y un color en la escala DSM de entre 2 y 3. Entre la semana 1 y la semana 70 de puesta, se observa un incremento cercano al 2,2% en el porcentaje de ácidos grasos polinsaturados y un decremento equivalente en el de los monoinsaturados. El contenido de ácidos grasos ω-3 aumenta de un 2,89 ± 0,06% al inicio de la puesta, hasta un 3,2 ± 0,06% a las 70 semanas. Con respecto al método de determinación de la grasa, la transesterificación directa de la grasa sobreestimó el contenido de ácidos grasos saturados y subestimó los monoinsaturados respecto al método convencional, en un 1%. Esta diferencia, aunque significativa, en un contexto de controles de rutina, no reviste relevancia. El contenido de ácidos grasos polinsaturados, ω-3 incluidos, no se ve afectado por el método analítico.

Palabras clave: Huevo, ácidos grasos, ácido docosahexaenoico, ácido eicosapentaenoico, transesterificación.

Abstract
Evolution of the omega-3 fatty acid content in enriched organic eggs throughout the laying period

The evolution of the fat quality of the eggs from organic production was studied. Hens were fed a diet enriched with 4% fish meal and 2.95% soy oil during the laying period, until 90 weeks of age. Simultaneously the possibility of simplifying the fat analysis method was evaluated by omitting the step of extraction prior to transesterification of the fat. The egg quality values obtained agree with the literature on organic production, having an average weight of 57.25 ± 0.41 g, a shape rate of 80.42 ± 0.43, a shell thickness of 379.33 ± 4.56 microns, a Haugh value of 80.17 ± 0.88 units and a DSM colour score of between 2 and 3. Between 1 and 70 lay weeks, an increase of about 2.2% in the percentage of polyunsaturated fatty acids was observed and a concomitant decrease in monounsaturated fatty acid percent-

* Autor para correspondencia: mtor@prodan.udl.cat
http://dx.doi.org/10.12706/itea.2015.010

age. The content of ω-3 fatty acids increased from 0.06 ± 2.89% at the start of laying period to 3.2 ± 0.06% at 70 weeks. Regarding the fat analysis method, the direct transesterification of the fat led to an overestimated content of saturated fatty acids and an underestimated content of monounsaturated fatty acid. This difference of 1%, although significant, is of no relevance within the context of routine checks. Any polyunsaturated fatty acid, ω-3 content included, was not affected by the analytical method.

Key words: Egg, fat composition, docosahexaenoic fatty acid, eicosapentaenoic fatty acid, transesterification.

Introducción

La producción ganadera ecológica está estrictamente regulada y únicamente permite el uso de materias primas de producción ecológica, evitando el uso de sustancias sintéticas. Al mismo tiempo pone especial énfasis en el bienestar animal, tanto en a las densidades de alojamiento como al acceso a espacios exteriores que deben tener los animales. El consumo de alimentos ecológicos está en expansión, sus consumidores les atribuyen unas mejores características nutricionales y organolépticas y los valoran como una buena vía para proteger el medio ambiente (Kouba, 2003). Sin embargo no siempre existen evidencias científicas suficientes que sustenten esta percepción.

Por otro lado, uno de los aspectos más negativos de los cambios en los hábitos alimentarios contemporáneos, ha sido el incremento en el consumo de grasas polinsaturadas con alto contenido en ácidos grasos ω-6, en detrimento de las que contienen ω-3. En la dieta occidental actual, el ratio ω-6/ω-3 se sitúa en valores de 10-20/1 en contraposición a valores cercanos a 1/1 que tenían las dietas de nuestros ancestros (Molendi-Coste *et al*., 2011). Existen numerosas recomendaciones en el sentido de disminuir dicho ratio en la dieta y las estrategias más inmediatas consisten en incluir alimentos ricos en grasas ω-3. El pescado o la semilla de lino, ricos en ácidos grasos ω-3 de cadena larga y ácido α-linolénico respectivamente, son dos alimentos candidatos frecuentes a incluir en la dieta, aunque presentan algunos inconvenientes, como son el alto contenido en metales pesados de algunos pescados o la presencia de factores antinutritivos de la semilla de lino (Carraro *et al*., 2012). Por todo ello, no siempre se consigue alcanzar el nivel recomendado de inclusión en la dieta. En este contexto, se ha incrementado el interés comercial por producir alimentos enriquecidos con ácidos grasos de cadena larga y esta quizás sea una buena solución, a largo plazo, para solventar el déficit crónico en ácidos grasos ω-3 de las dietas occidentales (Harris, 2007).

El huevo de gallina enriquecido en ácidos grasos ω-3 se comercializa actualmente con regularidad. Tiene la ventaja de ser un alimento ampliamente aceptado, que no suele tener restricciones de naturaleza social o religiosa, cuyo contenido de ácidos grasos polinsaturados puede ser modificado por la dieta (Fraeye *et al*., 2012). Se ha podido establecer una relación directa entre la composición de la grasa de la dieta y la composición de la grasa del huevo, de forma que el productor puede responder a la demanda del mercado o a nuevas directrices nutricionales (Baucells *et al*., 2000). Aun así, el tiempo necesario para la estabilización de los niveles de ácidos grasos ω-3 en el huevo puede ser variable (Petrovic *et al*., 2012) y por otro lado, muchos de los estudios realizados (Baucells *et al*., 2000; Carvalho *et al*., 2009; Petrovic *et al*., 2012) no abarcan el ciclo de puesta completo, sino que se han realizado antes de la quincuagésima semana de puesta. Por ello, parece interesante profundizar en la deposición

de los ácidos grasos ω-3 especialmente en los periodos inicial y final de la puesta.

En este trabajo se hace un seguimiento, a lo largo de un ciclo de puesta completo de 70 semanas, de la composición de la grasa del huevo en gallinas de producción ecológica con una alimentación enriquecida en ácidos grasos ω-3, a través de la incorporación de harina de pescado y aceite de soja en su dieta. Se pretende conseguir que los huevos alcancen el nivel mínimo establecido para la indicación "alto contenido en ácido docosahexaenoico (DHA)" (186 mg/100 g y 64 mg/ 100 kcal) cumpliendo los Reglamentos (UE) 116/ 2010 y 432/2012. En segundo lugar se evalúa el efecto de la transesterificación directa sobre la matriz, con el objetivo de simplificar la metodología de análisis de la composición de la grasa y facilitar así los controles analíticos de rutina.

Material y métodos

Este trabajo ha sido realizado en una granja ecológica comercial controlada por el Servicio de Certificación CAAE de Andalucía y Castilla La Mancha (ES-AN-00-AE). La normativa de producción ecológica asegura una densidad máxima en la zona cubierta de 6 gallinas/m^2 con acceso a zonas de aire libre de 4 m^2 por gallina, durante al menos 1/3 de su vida. La luz natural puede ser complementada hasta un máximo de 16 horas con un periodo de descanso nocturno continuo de al menos 8 horas. La zona cubierta de la explotación disponía de 2/3 partes de aseladero y el resto de la superficie cubierta con viruta de madera. Las naves estaban provistas de un nidal comunal longitudinal central escamoteable. Se usaron comederos circulares (4 cm/ gallina alojada) y bebederos de tetina con recuperador (1/10 gallinas alojadas).

La explotación controlada alojaba 3.000 gallinas Lohmann Brown con un ciclo de puesta largo, entre las 20 y 90 semanas de vida. El pienso y el agua se suministraron *ad libitum*. Se inició el suministro del pienso de puesta la semana 18 de vida y su formula porcentual se describe en la Tabla 1. Puesto que se suministró una dieta enriquecida en ácidos grasos ω-3, en la Tabla 2 se detalla la composición analítica del pienso, incluyendo el perfil de ácidos grasos, así como él de la harina de pescado utilizada en su formulación.

En la primera semana, a las 50 y a las 70 semanas de puesta se tomaron sendas muestras de 15 huevos elegidos aleatoriamente. Paralelamente, en la semana 20, se tomó una muestra adicional de 24 huevos para determinar las características generales de calidad del huevo. Sobre el huevo entero se determinó el peso, el índice de forma (IF) (relación porcentual de la máxima anchura respecto la distancia entre los dos polos del huevo) y los porcentajes en peso de cáscara, clara y yema. Sobre la cáscara se determinó el grosor mediante un micrómetro específico 4001-DIG (Baxlo Precisión, Polinya, España), con una sensibilidad de 1µm y provisto de contactos para superficies curvas. El color de la cáscara y el de la yema, se determinaron obteniendo las coordenadas L*, a*, b* en el espacio CIE-LAB mediante un colorímetro Konica Minolta CM-700d (Konica Minolta Sensing Inc., Osaka, Japón) con un diámetro de máscara de 8 mm, iluminante D65 y ángulo de observación de 10º. En el caso de la yema se utilizó como contenedor una cápsula de vidrio óptico cilíndrica de 34 mm de diametro (Hellma, Müllheim, Alemania). Se realizó una segunda determinación del color de la yema mediante el abanico colorimétrico de DSM (DSM Egg Yolk Color Fan, Heerlen, Holanda). Se determinó la consistencia de la clara obteniendo el valor de unidades Haugh (Haugh, 1937), midiendo la altura del albumen mediante un micrómetro Haugh (Baxlo Precisión, Polinya, España) con una sensibilidad de 0,1 mm. El mismo instrumento se utilizó para medir la

Tabla 1. Fórmula porcentual del pienso*
Table 1. Formula of the concentrate feed used during the laying period

Ingredientes	%
Cebada 6 carreras	20,00
Trigo blando	38,88
Soja 37-40%	23,64
Harina de pescado 60/9/20	4,00
Aceite de soja	2,95
DL Metionina	0,19
L-Lisina HCl	0,09
Covyzyme 50(1)	0,15
Covimix gallinas 10% ECO(2)	10,00
Covitsa Calcio Forte(3)	0,10

*Pienso fabricado bajo el amparo de la normativa de producción ecológica.

(1), (2) y (3), según marcas registradas y comercializadas por COVITSA, Lleida, España.

(1) Premezcla E-1604 enzimas: endo-1,4 β-xilanasa, EC 3.2.1.8 70 U/g y endo-1,3(4)-β-Glucanasa, EC 3.2.1.6 100 U/g.

(2) Por kg de pienso: vitamina A, 12.000 UI; vitamina D3, 2.000 UI; vitamina E, 20 mg; vitamina K3, 1 mg; vitamina B2, 3 mg; vitamina B6, 1 mg; vitamina B12, 0,020 mg; ácido pantoténico, 10 mg; ácido nicotínico, 25 mg; cloruro de colina, 300 mg; hierro, 30 mg; yodo, 0,81 mg; cobre, 4 mg; manganeso, 70 mg, zinc, 30 mg; selenio, 0,10 mg; cloruro de sodio, 3,45 g; fosfato monocálcico defluorado, 8,62 g.

(3) Por kg de pienso: vitamina D3, 1.000 UI; vitamina C, 0,30 UI; cloruro de colina, 75 mg; manganeso, 12,55 mg; zinc, 17,80 mg; selenio, 0,04; cobre, 1,5 mg; hierro, 1,75 mg, oxido de magnesio, 12,5 mg.

altura de la yema y calcular el índice de yema (expresado como la relación porcentual entre la altura y el diámetro de la yema). El contenido de materia seca de la clara y de la yema se determinó por secado de la muestra a 100-102ºC en estufa de aire forzado durante 24 horas. El contenido de proteína se determinó por el método Kjeldahl (AOAC, 2000) y el contenido de lípidos totales por el método Soxhlet (AOAC, 2000). El contenido de energía bruta se determino mediante una autobomba calorimétrica (Gallenkamp Autobomb CBA 305, Londres, Reino Unido).

Los análisis de composición de la grasa se realizaron con y sin extracción previa de la misma, ambos por triplicado. La extracción de los lípidos en frío se realizó mediante 50 mL de una mezcla de triclorometano/metanol, 1/1, v/v, sobre una muestra de yema liofilizada de 1g. La transesterificación de los ácidos gra-

Tabla 2. Composición analítica de pienso y materias primas
Table 2. Analytical composition of the raw material and fish meal

	Pienso enriquecido	Harina de pescado
Materia seca (%)	91,60	92,33
Proteína bruta (%)	17,58	66,36
Extracto etéreo (%)	10,46	12,14
Composición de ácidos grasos (%)		
C14:0	1,38	5,48
C14:1,cis-9	0,04	0,14
C16:0	19,48	20,66
C16:1,cis-9	2,17	6,03
C17:0	0,38	1,36
C18:0	9,28	6,05
C18:1,cis-9	39,46	31,81
C18:2,cis-9,12	22,57	4,45
C18:3,cis-9,12,15	2,19	1,45
C20:0	0,17	0,34
C20:1,cis-11	1,16	5,35
C20:2,cis-11,14	0,57	0,74
C20:4,cis-5,8,11,14	0,20	0,63
C20:5,cis-5,8,11,14,17	0,00	3,30
C22:1,cis-13	0,14	0,86
C22:6,cis-4,7,10,13,16,19	0,68	10,05
C24:0	0,06	0,14
C24:1,cis-15	0,08	1,16
Ácidos grasos saturados	30,75	34,03
Ácidos grasos monoinsaturados	43,05	45,35
Ácidos grasos poliinsaturados	26,21	20,62
Ácidos grasos poliinsaturados ω-6	23,34	5,82
Ácidos grasos poliinsaturados ω-3	2,87	14,80

sos, directamente sobre la yema o de la grasa previamente extraída, se realizó mediante 1 mL de una solución de trifluoruro de boro (BF_3) en metanol al 20% sobre un peso de muestra equivalente a un contenido de unos 25 mg de grasa a 80ºC durante dos horas. La recuperación de los esteres metílicos se llevó a cabo mediante dos lavados con 1 mL de hexano. Como patrón interno se utilizó 1 mg de 1,2,3-Tripentadecanoil-glicerol. El análisis de los ésteres metílicos de los ácidos grasos se realizó por cromatografía gas-líquido en columna capilar (SP2330; Supelco, Tres Cantos, Madrid, España) de 30 m, un detector tipo FID, utilizando como gas portador helio a un flujo de 1 mL/minuto (Muñoz *et al*., 2010). La identificación de los ácidos grasos se realizó por comparación de tiempos de retención respecto a un patrón externo (F.A.M.E. Mix, C4-C24, Sigma-Aldrich, St. Louis, EE.UU.).

Para el análisis estadístico de la composición de la grasa, se utilizó el del programa estadístico SAS (1996). Para la comparación de medias se utilizó el procedimiento MIXED, con un modelo que incluyó el método analítico y la semana de puesta como factores fijos y el huevo como factor aleatorio. Las correlaciones entre los dos métodos analíticos se determinaron mediante el procedimiento CORR.

Resultados y discusión

Calidad general del huevo

En la Tabla 3 se describen las características generales de calidad en el ciclo de puesta estudiado, tanto del huevo entero como de la cáscara, de la clara y de la yema. Existen estudios previos del efecto del sistema de cría ecológico sobre la calidad del huevo. Se ha descrito, en huevos ecológicos, una mayor consistencia del albumen, un color de yema menos intenso y una cascara más pesada que en huevos convencionales (Küçükyılmaz *et al*., 2012). Los valores de calidad obtenidos en el presente estudio, están dentro de los estándares de calidad aceptables, aunque son de destacar algunas de sus características. El peso del huevo es relativamente bajo (Tabla 3), situándose el

Tabla 3. Características generales de calidad del huevo en la vigésima semana de puesta (Media ± error estándar)
Table 3. General characteristics of egg quality in the twentieth week of laying

Huevo entero	
Peso (g)	57,27 ± 0,41
Índice de forma	80,42 ± 0,43
Cáscara (%)	12,92 ± 0,11
Clara (%)	60,93 ± 0,38
Yema (%)	26,11 ± 0,41
Cáscara	
Grosor (µm)	379,33 ± 4,56
Color	
L*	62,83 ± 0,28
a*	16,32 ± 0,31
b*	26,54 ± 0,50
Clara	
Consistencia (unidades Haugh)	80,17 ± 0,88
Materia seca (%)	23,81 ± 4,20
Yema	
Índice de yema	43,61 ± 0,72
Color	
escala DSM	2,58 ± 0,09
L*	58,03 ± 0,28
a*	-1,06 ± 0,06
b*	22,32 ± 0,32
Materia seca (%)	47,58 ± 1,13

valor medio en la categoría comercial M y con un índice de forma alto, superior a 80. Aunque Clerici *et al*. (2006), no encuentran diferencias en el índice de forma entre huevos ecológicos y convencionales, nuestros resultados estarían más de acuerdo con Küçükyılmaz *et al*. (2012), quienes describen valores altos de índice de forma en huevos ecológicos y en consecuencia previsiblemente más resistentes a la rotura (Altuntas y Sekeroglu, 2008). Se ha descrito en varios estudios que los huevos ecológicos tienen cáscaras más gruesas que los convencionales (Rizzi *et al*., 2006; Mugnai *et al*., 2009; Küçükyılmaz *et al*., 2012). Los datos de grosor y porcentaje de cáscara se presentan en la Tabla 3.

El porcentaje de yema ha alcanzado unos valores frecuentes en huevo ecológico, mientras que el porcentaje de clara, que no llega al 61% se puede considerar relativamente bajo. Por el contrario la estructura de la clara es consistente, con un valor superior a las 80 unidades Haugh. Finalmente cabe destacar el color de la yema extremadamente pálido, con valores entre 2 y 3 en la escala DSM, destacando los valores negativos de rojo (Tabla 3).

Evolución de la composición de la grasa

La evolución de la composición de la grasa se presenta en la Tabla 4. No se han detectado variaciones a lo largo del ciclo de puesta en el contenido de ácidos grasos saturados, con valores situados alrededor del 32%. Por el contrario, sí hay variaciones significativas entre el inicio de la puesta y los dos controles posteriores a 50 y 70 semanas en el caso de los insaturados. El contenido de monoinsaturados disminuye ligeramente, alrededor de un 2,2% mientras que los polinsaturados aumentan en la misma proporción. La disminución de los ácidos grasos monoinsaturados se explicaría en gran medida por cambios en el contenido de los ácidos grasos palmitoleico, oleico y α-linoleico. El incremento en el contenido de ácidos grasos polinsaturados a lo largo del ciclo de puesta se detecta tanto en los ω-6 como en los ω-3. El contenido de ácidos grasos ω-3 aumentó a medida que avanzaba el ciclo de puesta, pasando de 2,89% al inicio a 3,2% al final de la misma (Tabla 4). En el caso concreto de los ácidos grasos saturados no se detectaron diferencias entre los tres momentos del ciclo de puesta estudiados.

Sobre el efecto del sistema productivo en la composición de la grasa de la yema de huevo, hay resultados dispares en la bibliografía, probablemente debido a que la composición depende más del tipo de dieta que el animal ingiere en realidad, que del sistema productivo propiamente dicho. Y no siempre hay una relación directa entre ambos. En cría ecológica, cuando la superficie al aire libre suministra suficiente pasto a lo largo del ciclo de puesta, suele detectarse un aumento de los ácidos grasos ω-3. Pero esto no siempre ocurre, porque aunque la superficie al aire libre sea amplia, la vegetación disponible puede no ser suficiente para que la composición de la grasa se vea afectada. Este sería el caso del presente trabajo, donde los altos niveles de ácidos grasos ω-3 mantenidos durante todo el ciclo de puesta, son atribuibles al DHA procedente de la suplementación del pienso con harina de pescado y aceite de soja, más que al consumo de forraje verde, del cual hubo poca disponibilidad en la zona al aire libre. En realidad el contenido de ácido α-linolénico detectado fue bajo (< 0,6%) mientras que el contenido de DHA supera el 2,3% desde el inicio de la puesta, ya que se había iniciado el suministro de pienso enriquecido dos semanas antes.

Existen referencias previas de que los ácidos grasos de cadena larga (eicosapentaenoico (EPA) y DHA) se depositan y acumulan en la yema de huevo preferentemente en forma de DHA (Nitsan *et al*., 1999; Fredriksson *et al*., 2006; Bruneel *et al*., 2013). En la Tabla 4, se puede ver que más del 80% del contenido de ácidos grasos ω-3 acumulados en el huevo

Tabla 4. Evolución de la composición de la grasa de la yema a lo largo del ciclo de puesta (Media ± error estándar)
Table 4. Evolution of the composition of the yolk fat during the laying period

	Semana de puesta		
Ácidos grasos (%)	1	50	70
C14:0	0,35 ± 0,01[b]	0,41 ± 0,01 [a]	0,41 ± 0,01 [a]
C14:1,cis-9	0,06 ± 0,003 [a]	0,03 ± 0,003 [b]	0,05 ± 0,003 [a]
C16:0	23,43 ± 0,20	23,24 ± 0,20	23,84 ± 0,21
C16:1,cis-9	2,49 ± 0,15 [a]	1,90 ± 0,15[b]	1,21 ± 0,15 [c]
C18:0	8,44 ± 0,11 [a]	8,32 ± 0,11 [ab]	8,05 ± 0,11 [b]
C18:1,trans-9	0,07 ± 0,01 [b]	0,19 ± 0,01 [a]	0,03 ± 0,01 [c]
C18:1,cis-9	46,82 ± 0,33 [a]	44,94 ± 0,33 [b]	45,90 ± 0,34 [ab]
C18:2,cis-9,12	13,16 ± 0,23 [b]	14,72 ± 0,23 [a]	14,89 ± 0,23 [a]
C18:3,cis-6,9,12	0,07 ± 0,003 [c]	0,11 ± 0,003 [a]	0,08 ± 0,002 [b]
C18:3,cis-9,12,15	0,50 ± 0,01 [b]	0,55 ± 0,01 [a]	0,59 ± 0,01 [a]
C20:1,cis-11	0,31 ± 0,01	0,31 ± 0,01	0,33 ± ,01
C20:2,cis-11,14	0,25 ± 0,02	0,20 ± 0,021	0,25 ± 0,012
C20:3,cis-11,14,17	0,12 ± 0,003 [a]	0,15 ± 0,003 [b]	0,14 ± 0,003 [b]
C20:4,cis-5,8,11,14	1,24 ± 0,045 [a]	2,05 ± 0,045 [b]	1,24 ±0,046 [a]
C20:5,cis-5,8,11,14,17		0,006 ± 0,002	
C22:6,cis-4,7,10,13,16,19	2,39 ± 0,063	2,40 ± 0,063	2,61 ± 0,064
Ácidos grasos saturados	32,22 ± 0,24	31,98 ± 0,24	32,30 ± 0,24
Ácidos grasos monoinsaturados	49,75 ± 0,28 [a]	47,40 ± 0,28 [b]	47,53 ± 0,28 [b]
Ácidos grasos poliinsaturados	17,73 ± 0,26 [b]	20,20 ± 0,26 [a]	19,81 ± 0,27 [a]
Ácidos grasos poliinsaturados ω-6	14,65 ± 0,23 [b]	16,97 ± 0,23 [a]	16,39 ± 0,23 [a]
Ácidos grasos poliinsaturados ω-3	2,89 ± 0,06 [b]	2,97 ± 0,06 [b]	3,2 ± 0,07 [a]

Para cada fila, valores seguidos de distinta letra en superíndice son diferentes ($P \leq 0,05$).

efectivamente corresponden a DHA. Aunque en este caso se deba más a la naturaleza de la grasa añadida (su contenido en DHA supera el 10%, Tabla 2), que a la transformación endógena de EPA en DHA, puesto que el contenido de EPA de la grasa añadida es bajo y en el pienso enriquecido no llegó a detectarse. En la yema de huevo, únicamente en la semana de puesta 50 se detectan trazas de EPA. Desde la perspectiva de la calidad nutricional, una proporción alta de DHA respecto al total de ácidos grasos ω-3 supone una ven-

taja, puesto que en humanos la transformación de EPA en DHA es especialmente pobre (Burdge, 2004) y el compuesto bioactivo con efectos beneficiosos sobre el cerebro y el sistema cardivascular es el DHA (Lagarde, 2008). Los Reglamentos (UE) 116/2010 y 432/2012 especifican que para poder etiquetar un producto alto DHA debe contener más de 40 mg por 100 g de producto y 100 kcal y que la ingesta diaria para conseguir el efecto beneficioso es de 250 mg. Por tanto los huevos estudiados alcanzaron el nivel mínimo establecido para la indicación "alto contenido en DHA" (186 mg/100 g y 64 mg/100 kcal; Energía bruta clara y yema: 5.222 y 7.525 kcal respectivamente; Proteína bruta clara y yema: 87,32 y 32,7% respectivamente; Extracto etéreo yema: 54,58%). Para conseguir el efecto beneficioso, sería necesaria una ingesta mínima diaria de 134 g (dos huevos de tamaño XL o tres de tamaño M). Probablemente esta ingesta supera largamente la mayoría de las recomendaciones nutricionales existentes, avaladas por el hecho de que existe una respuesta positiva dosis-dependiente entre el consumo de huevos y el riesgo de enfermedades cardiovasculares y diabetes (Li *et al*., 2013). Una ingesta de un huevo de tamaño medio diario supondría un aporte de 106 g de ácidos grasos ω-3, equivalente al 42% de la dosis mínima para conseguir un efecto beneficioso.

Efecto del método analítico sobre la composición de la grasa

En cuanto al efecto del método de análisis sobre la composición de la grasa, cabe destacar que la transesterificación directa mediante BF_3, en nuestras condiciones, ha sobreestimado el porcentaje de ácidos grasos saturados y ha subestimado el contenido de los monoinsaturados, en comparación a la extracción previa de la grasa mediante cloroformo/metanol (Tabla 5). Desde un punto de vista cuantitativo las diferencias más relevantes se centran en los ácidos grasos saturados palmítico y esteárico y en los monoinsaturados palmitoleico y oleico. Sin embargo, no se ha detectado efecto del método analítico sobre el contenido de los ácidos grasos polinsaturados, siendo el coeficiente de correlación entre ambos métodos analíticos de 0,964 ($P<0,001$) para el porcentaje total de los ácidos grasos polinsaturados; de 0,960 ($P<0,001$) para el porcentaje de ácidos grasos ω-6; de 0,920 ($P<0,001$) para el porcentaje de ácidos grasos ω-3 y de 0,742 ($P<0,001$) para el porcentaje de DHA.

La ventaja principal de realizar la transesterificación directa sobre la matriz, sin extracción previa de la grasa, es una mayor simplicidad analítica con el consiguiente ahorro de disolventes y tiempo, lo que redunda en una determinación más económica. Desde que Folch *et al*. (1957) propusieron su método de extracción de los lípidos en frío, han sido numerosas las propuestas para obviar este paso previo a la transesterificación, en multitud de matrices. En el caso de la yema de huevo, Wang *et al*. (2000) propusieron la transesterificacion directa mediante HCl como un método con resultados comparables a los métodos convencionales y con una repetibilidad incluso mejor. Por el contrario, Mazalli y Bragagnolo (2007) llegaron a la conclusión contraria y propusieron la extracción previa con cloroformo/metanol/agua seguida de una transesterificación con BF_3 como el método óptimo. En el primer caso, la transesterificación directa, evita la fuente de error que puede suponer la extracción previa, y por tanto se alcanza una repetibilidad mayor. Por el contrario, la interferencia de la matriz en el proceso de transesterificación puede provocar un menor rendimiento del proceso, con el consiguiente sesgo de los valores.

En el presente trabajo se han utilizado un método con extracción previa y otro sin ella, en el marco de controles de rutina de huevos enriquecidos en ácidos grasos ω-3. De acuerdo con la bibliografía, se han detectado algunas

Tabla 5. Efecto del método de análisis[1] sobre la composición de la grasa de la yema (Media ± error estándar)
Table 5. Effect of the method of analysis on the yolk fat composition

	TD	E	P valor
C14:0	0,40 ± 0,01	0,39 ± 0,01	0,050
C14:1,cis-9	0,05 ± 0,003	0,05 ± 0,003	0,82
C16:0	23,72 ± 0,17	23,28 ± 0,16	0,07
C16:1,cis-9	1,41 ± 0,12	2,33 ± 0,13	0,001
C18:0	8,45 ± 0,09	8,09 ± 0,09	0,006
C18:1,trans-9	0,10 ± 0,01	0,08 ± 0,01	0,08
C18:1,cis-9	45,98 ± 0,27	45,79 ± 0,27	0,046
C18:2,cis-9,12	14,24 ± 0,18	14,27 ± 0,19	0,94
C18:3,cis-6,9,12	0,08 ± 0,002	0,09 ± 0,002	0,002
C18:3,cis-9,12,15	0,53 ± 0,01	0,56 ± 0,01	0,12
C20:1,cis-11	0,30 ± 0,01	0,32 ± 0,01	0,03
C20:2,cis-11,14	0,23 ± 0,02	0,24 ± 0,02	0,65
C20:3,cis-11,14,17	0,14 ± 0,002	0,13 ± 0,002	0,29
C20:4,cis-5,8,11,14	1,52 ± 0,04	1,50 ± 0,04	0,76
C20:5,cis-5,8,11,14,17	0,001 ± 0,001	0,002 ± 0,001	0,79
C22:6,cis-4,7,10,13,16,19	2,44 ± 0,05	2,49 ± 0,05	0,49
Ácidos grasos saturados	32,57 ± 0,20	31,77 ± 0,20	0,004
Ácidos grasos monoinsaturados	47,86 ± 0,23	48,59 ± 0,23	0,02
Ácidos grasos poliinsaturados	19,20 ± 0,22	19,30 ± 0,22	0,75
Ácidos grasos poliinsaturados ω-6	16,00 ± 0,18	16,01 ± 0,19	0,95
Ácidos grasos poliinsaturados ω-3	2,98 ± 0,05	3,05 ± 0,05	0,32

[1]TD: transesterificación directa; E: método con extracción previa a la transesterificación.

diferencias entre ambos (Tabla 5). Aun así y teniendo en cuenta que el contenido de ácidos grasos saturados y monoinsaturados ha superado el 30% y el 45% respectivamente y que las diferencias entre métodos son menores al 1%, puede considerarse que, aunque estas son significativas, no son relevantes a la hora de cuantificar el perfil completo de ácidos grasos del huevo en este contexto. Únicamente en el caso del ácido palmitoleico la subestimación que supone la extracción directa puede considerarse relevante. Los valores del contenido de ácidos grasos ω-3 no se han visto afectados por el método analítico, ni en su conjunto ni considerados de manera individual.

Bibliografía

Altuntas E, Sekeroglu A (2008). Effect of egg shape index on mechanical properties of chicken eggs. Journal of Food Engineering 85: 606-612.

AOAC. 2000. Official Methods of Analysis, 17th ed. Assoc. Off. Anal. Chem., Gaithersburg, MD.

Baucells MD, Crespo N, Barroeta AC, López-Ferrer S, Grashorn MA (2000). Incorporation of different polyunsaturated fatty acids into eggs. Poultry Science 79: 51-59.

Bruneel C, Lemahieu C, Fraeye I, Ryckebosch E, Muylaert K, Buyse J, Foubert I (2013). Impact of microalgal feed supplementation on omega-3 fatty acid enrichment of hen eggs. Journal of Funcional Foods 5: 897-904.

Burdge G (2004). Alpha-linolenic acid metabolism in men and women: nutritional and biological implications. Current Opinion In Clinical Nutrition And Metabolic Care 7: 137-144.

Carraro JCC, Dantas MID, Espeschit ACR, Martino HSD, Ribeiro, SMR (2012). Flaxseed and human health: reviewing benefits and adverse effects. Food Reviews International 28: 203-230.

Carvalho PR, Pita MCG, Piber Neto E, Mendonca Junior CX (2009). Efficiency of PUFAs incorporation from marine sources in yolk egg's laying hens. Journal of Poultry Science 8: 603-614.

Clerici F, Casiraghi E, Hidalgo A, Rossi M (2006). Evaluation of eggshell quality characteristics in relation to the housing system of laying hens. Proceedings of the XII European Poultry Conference. 10-14 September 2006. Verona-Italia.

Folch J, Less M, Stanley GHS (1957). A simple method for the islolation and purification of total lipids from animal tissues. Journal of Biological Chemistry 226: 497-509.

Fraeye I, Bruneel C, Lemahieu C, Buyse J, Muylaert K, Foubert I (2012). Dietary enrichment of eggs with omega-3 fatty acids: A review. Food Research International 48: 961-969.

Fredriksson S, Elwinger K, Pickova J (2006). Fatty acid and carotenoid composition of egg yolk as an effect of microalgae addition to feed formula for laying hens. Food Chemistry 99: 530-537.

Haugh RR (1937). The Haugh unit for measuring egg quality. The US Egg and Poultry Magazine 43: 522-555, 572-573.

Harris WS (2007). International recommendations for consumption of long-chain omega-3 fatty acids. Journal of Cardiovascular Medicine 8: 50-52.

Kouba M (2003). Quality of organic animal products. Livestock Production Science 80: 33-40.

Küçükyılmaz K, Bozkurt M, Herken E, Çınar M, Çatlı AU, Binta E, Coven F (2012). Effects of rearing systems on performance, egg characteristics and immune response in two layer hen genotype. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences 25: 559-568.

Lagarde M (2008). Docosahexaenoic acid: Nutrient and precursor of bioactive lipids. European Journal of Lipid Science and Technology 110: 673-678.

Li Y, Zhou C, Zhou X, Li L (2013). Egg consumption and risk of cardiovascular diseases and diabetes: a meta-analysis. Atherosclerosis 229: 524-530.

Mazalli M, Bragagnolo N, (2007). Validation of two methods for fatty acid analysis in eggs. Lipids 42: 483-490.

Molendi-Coste O, Legry V, Leclercq IA (2011). Why and how meet n-3 PUFA dietary recommendations? Gastroenterology Research and Practice, Volume 2011, Article ID 364040, 11 p.

Mugnai C, Dal Bosco A, Castellini C (2009). Effects of rearing system and season on the performance and egg charasteristics of Ancona laying hens. Italian Journal of Animal Science 8: 175-188.

Muñoz R, Vilaró F, Eras J, Estany J, Tor M (2010). Fast determination of oleic acid in pork by flow injection analysis/mass spectrometry. Rapid Communications in Mass Spectrometry 25: 1082-1088.

Nitsan Z, Mokady S, Sukenik A (1999). Enrichment of poultry products with omega-3 fatty acids bydietary supplementation with the alga Nannochloropsis and mantur oil. Journal of Agricultural and Food Chemistry 47: 5127-5132.

Petrovic M, Galic M, Karacic V, Gottstein Z, Mazija H, Medic H (2012). Enrichment of eggs in n-3pol-

yunsaturated fatty acids by feeding hens with different amount of linseed oil in diet. Food chemistry 135: 1563-1568.

Rizzi L, Simioli G, Martelli G, Paganelli R, Sardi L (2006). Effects of organic farming on egg quality and welfare of laying hens. Proceedings of the XII European Poultry Conference. 10-14 September 2006. Verona-Italia.

SAS, SAS/STAT User's Guide: statistics, SAS Inst. Inc., Cary, North Caroline, 1996.

Wang Y, Sunwoo H, Gherian G, Sim JS (2000). Fatty acid determination in chicken egg yolk: a comparison of different methods. Poultry Science 79: 1168-1171.

(Aceptado para publicación el 6 de noviembre de 2014)

Evaluación económica de las estrategias de mitigación de gases de efecto invernadero en sistemas de producción de patata

J. Cayambe[1,*], A. Iglesias[1], S. García de Jalón[1], C. Chuquillanqui[2] y P. Riga[3]

[1] Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España. Departamento de Economía Agraria y Ciencias Sociales. Avda. Complutense s/n. 28040. Madrid, España
[2] Centro Internacional de la Papa. Av. La Molina 1895, La Molina. Lima, Perú
[3] Neiker-Tecnalia, Instituto Vasco de Investigación y Desarrollo Agrario. Parque Tecnológico de Bizkaia, 812 L, 48160, Derio, Bizkaia, España

Resumen

El incremento de temperatura de nuestro planeta asociado al efecto invernadero antropogénico promueve interés por la búsqueda de estrategias de mitigación de gases de efecto invernadero. Puesto que la agricultura es un sector responsable de casi una quinta parte de las emisiones globales, es necesario identificar qué medidas podrían aplicarse, cuál es su potencial de mitigación y el coste estimado de la aplicación de cada medida. Nuestro estudio responde a estas preguntas comparando la producción de patata en dos sistemas productivos bien diferenciados y a partir de datos reales de campo. En una primera fase este trabajo calcula la huella de carbono en sistemas de producción modernos de la mecanización agrícola y el uso de energía para el riego (localizados en España) y en sistemas productivos que integran menos tecnologías (localizados en Perú). Los resultados muestran que en los casos de estudio de ambos países el ciclo de nitrógeno representa la primera fuente de emisiones de gases de efecto invernadero, seguido de energía para riego y combustible para la mecanización. Posteriormente este estudio evalúa las acciones de mitigación mediante el análisis económico de Curvas de Costes Marginales de Mitigación. Dichos resultados demuestran que el manejo del fertilizante nitrogenado es la mejor alternativa para reducir la huella de carbono debido a su mayor potencial de reducción de emisiones y menores costes de mitigación equivalentes. Finalmente el estudio aporta un marco metodológico que puede ser fácilmente aplicado a otros cultivos.

Palabras clave: Curvas de costes marginales de mitigación, fertilización nitrogenada, coste- eficacia, riego.

Abstract
Economic evaluation of strategies for mitigating greenhouse gas emissions in potato production systems

The temperature rise of the planet associated with anthropogenic greenhouse gas emissions promotes interest for strategies to mitigate them. Since agriculture is a sector responsible for nearly a fifth of global emissions, it is necessary to identify measures to be applied, what is their mitigation potential and the estimated cost of implementing each measure. Our study addresses these questions by comparing the

* Autor para correspondencia: jhenny.cayambe.teran@alumnos.upm.es
http://dx.doi.org/10.12706/itea.2015.011

production of potato in two distinct production systems and with actual field data. In a first step, this paper calculates in a modern agricultural system the carbon footprint of mechanization and energy use for irrigation (located in Spain) and in less productive systems that integrate less technologies (located in Peru) . The results show that in the case studies in both countries the nitrogen cycle represents the primary source of greenhouse gas emissions, followed by energy fuel for irrigation and mechanization. Subsequently this study evaluates economically the mitigation actions through Marginal Abatement Cost Curves. These results demonstrate that the management of nitrogen fertilizer is the best alternative to reduce the carbon footprint because of their greater potential to reduce greenhouse gas emissions and their lower equivalent mitigation costs. Finally, the study provides a methodological framework that can be easily applied to other crops.

Key words: Marginal abatement cost curves, nitrogen fertilization, cost-effectiveness, irrigation.

Introducción

El cambio climático y sus efectos medioambientales adversos son una preocupación para la sostenibilidad del planeta y para la producción de alimentos en el futuro (IPCC, 2013; Iglesias *et al*., 2011). En 2010, se estima que la agricultura representa la tercera actividad económica responsable de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) con una producción anual de 4,6 Gt CO_2e, lo que equivale al 14% de las emisiones mundiales (FAOSTAT, 2013). Los principales factores contribuyentes a las emisiones de GEI en la agricultura proceden de la transformación, mediante diversos procesos biológicos y físico-químicos presentes en el suelo, de los insumos de fertilizantes inorgánicos y de la materia orgánica (estiércol, compost, residuos vegetales) (Dyer *et al*., 2010). Estos procesos conllevan la producción de los tres principales GEI procedentes de la agricultura: N_2O, CO_2 y CH_4.

Desde 1992 se han venido evaluando las posibles soluciones al problema del calentamiento global. La Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático firmada por 154 países, incluidos España y Perú, implica un compromiso, principalmente por parte de los países industrializados, para disminuir las emisiones de CO_2. El compromiso firmado establece que cada país debe elaborar, actualizar y publicar inventarios nacionales de las emisiones antropógenas; además de formular, aplicar, publicar y actualizar regularmente programas nacionales que contengan medidas orientadas a la mitigación y adaptación al cambio climático (CMNUCC, 1992).

A partir de la firma de varios convenios de índole ambiental entre países, en 1997 se firmó el Protocolo de Kyoto que entró en vigencia en el 2005. A través de este instrumento los países signatarios acordaron una reducción voluntaria de las emisiones netas de GEI durante el período 2008-2012 hasta alcanzar un nivel equivalente a las emisiones de 1990. Esto dio origen al mercado de carbono, que estableció unidades de emisión para todos los países, de manera que los países que acrediten secuestro de carbono pueden vender a los países emisores parte del excedente en sus unidades de emisión. La existencia de un mercado de carbono crea, dentro de cada país, la necesidad de rastrear la huella de carbono de distintos productos y procesos productivos en empresas agropecuarias e industriales (Viglizzo, 2010).

Al mismo tiempo, existe un número creciente de consumidores que están cada vez más interesados, no solamente en el precio y la calidad de los alimentos, sino también en su procedencia y en las técnicas de producción y de elaboración. Esto es especialmente relevante en los países más ricos, pero el número de consumidores con una preocupación

ambiental crece en todos los países. El hecho que el consumidor se interese cada vez más por el origen de sus compras promueve que las compañías y los gobiernos también lo estén, lo cual crea oportunidades para aquellos que están tratando de vender productos más limpios o de implementar políticas ambientales.

En consecuencia, se prevé que en un futuro próximo, los productos agrícolas podrán ser valorados sobre la base de su huella de carbono, con la obligatoria eco-etiqueta de sus emisiones. Por lo tanto, los responsables políticos, el público en general, y los productores, desean urgentemente disponer del conocimiento necesario para mejorar las prácticas agrícolas con el fin de producir alimentos de alta calidad con la mínima huella de carbono (Gan *et al*., 2012).

La huella de carbono es el parámetro que cuantifica las emisiones de GEI, expresada en equivalentes de CO_2, derivados de las actividades de producción o consumo de bienes y servicios (Espíndola y Valderrama, 2012). Comprende todas las actividades o eslabones de un proceso que describe el ciclo de vida de un producto, desde las materias primas utilizadas hasta el desecho final como residuo. De esta manera, el consumidor puede tener una idea del potencial de contaminación ambiental de los productos que consume (Viglizzo, 2010).

La huella de carbono (C), siendo una expresión cuantitativa de las emisiones de GEI de una actividad, ayuda en la gestión de las emisiones y en la evaluación de las medidas de mitigación. La cuantificación de las emisiones y la identificación de sus principales fuentes, generan un impacto positivo en el medio ambiente, en la reducción de costes, y en la rentabilidad de las empresas. Esto puede ayudar a aumentar las ventas, mejorar su marca corporativa e identificar ahorros de costes y oportunidades de desarrollo de productos.

Las Curvas de Costes Marginales de Mitigación (MACC-Marginal Abatement Cost Curves) se han convertido recientemente en una herramienta política estándar en la evaluación de los aspectos económicos de las alternativas de mitigación del cambio climático, ya que representan la rentabilidad de la reducción de emisiones de una manera sencilla (Kesicki y Strachan, 2011). Ciertas medidas pueden adoptar un costo unitario más bajo que otras, y en algunos casos, los agricultores podrían implementar medidas que a la vez podrían ahorrar dinero y reducir emisiones (Moran *et al*., 2011). Las curvas MACC son útiles como una herramienta para ilustrar el potencial de reducción de emisiones (variación de emisiones reducidas, emisiones con signo negativo) y los costes asociados a la mitigación del cambio climático, en un determinado punto en el tiempo.

La literatura muestra varios intentos de estimar el coste-efectividad de las diferentes opciones de mitigación. En países como Reino Unido e Irlanda (Moran *et al*., 2011, Macleod *et al*., 2010, Schulte y Donnellan, 2012) se han realizado investigaciones utilizando la metodología MACC enfocada al sector agricultura, uso del suelo, cambio de uso del suelo y silvicultura. Los gobiernos de varios países, están comprometidos con metas ambiciosas de reducción de emisiones de GEI mediante el análisis de costo-efectividad (Macleod *et al*., 2010).

Estas investigaciones utilizan un enfoque bottom-up para estimar la rentabilidad y la reducción potencial de una amplia gama de medidas posibles y eficaces, proyectando escenarios de mitigación para años futuros (Moran *et al*., 2011). Según Wreford *et al*. (2010) es posible identificar áreas de investigación y búsqueda de políticas relevantes para la OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos) en relación con la promoción de la economía del cambio climático en la agricultura; una de esas áreas es el modelado de costos marginales de mitigación.

Wreford *et al*. (2010) menciona que el enfoque botton-up es el más ilustrativo de todos

los métodos para determinar potenciales de mitigación dentro del presupuesto agrícola. Existen muy pocos estudios utilizando la metodología bottom-up, por lo cual se resalta la necesidad de este tipo de estudios.

Inevitablemente, mientras las emisiones agrícolas se encuentren bajo creciente escrutinio regulatorio, este potencial global tiene que orientarse a cada país o como información para cada productor sobre cómo las reducciones pueden caber dentro de un presupuesto económicamente eficiente (Wreford *et al*., 2010).

En este contexto, se planteó estimar la huella de carbono de dos sistemas de producción de patata, uno de los principales cultivos a nivel mundial, en dos países: España y Perú, utilizando el programa Cool Farm Tool-Potato (Haverkort y Hillier, 2011). Se eligieron estos dos países por presentar sistemas agrarios muy contrastados con los siguientes fines: observar los posibles efectos de estos sistemas en las emisiones de GEI y evaluar la adecuación del programa CFT-Potato para el cálculo de la huella de C de sistemas agrarios tradicionales que no han integrado tecnologías modernas de producción.

Además, en el caso del cultivo en España, se evaluaron las posibles medidas de mitigación mediante un análisis económico en el que se valoró el potencial de mitigación de dichas medidas y sus costes económicos. No tenemos conocimiento de una evaluación similar de la gama de tecnologías existentes en cuestión de curvas MAC. La metodología utilizada en nuestro trabajo radica en la búsqueda de medidas de mitigación dirigida a una explotación y cultivo en particular, en este caso la patata. Consideramos que las conclusiones de esta investigación servirán a los productores de patata como una herramienta valiosa para la implementación de los cambios en la producción con el fin de reducir las emisiones de GEI.

Materiales y métodos

Ámbito geográfico

Se recopiló y analizó la información procedente de sistemas de producción de patata (*Solanum tuberosum* L.), en dos países: España y Perú.

Siendo históricamente el centro de origen de la patata, Perú representa tan solo el 1.23% de la producción mundial y España aporta con el 0.59%. El área cosechada de patata en España corresponde al 0,38% y Perú representa el 1,63% del área cosechada mundial de patata (FAOSTAT, 2013).

El cultivo de patata constituye una de las principales fuentes de trabajo e ingresos en la región rural andina y no sólo constituye un alimento básico para países andinos, también forma parte del sistema productivo tradicional del pequeño y mediano productor (Devaux *et al*., 2010).

En cuanto al rendimiento de ambos países para el año 2012, Perú presentó un rendimiento equivalente a 14,3 t ha^{-1} y España a 24,3 t ha^{-1}. El rendimiento medio de las explotaciones peruanas estudiadas se situó netamente por debajo del promedio mundial equivalente a 18,9 t ha^{-1} en el año 2012 (FAOSTAT, 2013). Existen muchas razones agronómicas, climáticas, socio-económicas e institucionales que explican dicha situación. La producción primaria de este país andino se caracteriza por una gran dispersión de áreas cultivadas y una gran variabilidad de tecnologías usadas y de productividad (Devaux *et al*., 2010).

Los agricultores que poseen pequeñas explotaciones, destinan una parte de su producción al autoconsumo y para semilla, y otra parte la venden a los mayoristas o en mercados regionales. Los productores con superficies medianas y grandes, destinan casi toda su producción a la comercialización. En estas explotaciones el riego es tecnificado y se rea-

liza mediante goteo o gravedad, mientras que en las pequeñas explotaciones se cultiva bajo secano. (Devaux *et al*., 2010).

El cultivo de patata en España es intensivo y por lo tanto mecanizado, presenta una gran variedad de tipologías de explotaciones en las cuales los agricultores se encargan de sembrar, cultivar, recoger el producto y ponerlo a disposición de la comercialización en origen, la mayor parte de la producción se destina a la comercialización (MARM, 2010).

Recolección de datos

La información a nivel de España fue recopilada mediante 13 encuestas presenciales a productores alaveses realizadas en colaboración con la Cooperativa UDAPA. Estos productores participaron voluntariamente en las encuestas, ya que la mencionada cooperativa estaba interesada en integrar la huella de C en las iniciativas voluntarias de reducción y compensación de emisiones de GEI en dicha organización. La superficie media cultivada por los encuestados fue de 3,9 ± 1,4 ha. La totalidad de la superficie implicada en las encuestas fue de 50,9 ha lo que representa aproximadamente el 4% de toda la superficie dedicada al cultivo de la patata en Álava, cual sea su destino: consumo, industria o semilla (EUSTAT, 2012).

En el caso de Perú, se contó con el apoyo del Centro Internacional de la Patata de Perú, quién se encargó de realizar las encuestas a 8 productores de patata de la sierra peruana, correspondientes a las provincias de Puno y Cajamarca. La superficie media cultivada por los encuestados fue de 2,9 ± 1,2 ha. La totalidad de la superficie implicada en las encuestas fue de 100 ha lo que representa aproximadamente el 0,13% de toda la superficie dedicada al cultivo de la patata en Puno y Cajamarca, según información obtenida del Ministerio Agricultura y Riego de Perú (2011). Se utilizó la misma plantilla de encuestas utilizada en Álava (España), con ciertas adecuaciones en las preguntas, debido a que la mayoría de las actividades agrícolas en Perú no están mecanizadas. Los encuestados fueron seleccionados al azar de un grupo de productores pertenecientes a un consorcio de productores de patata. En Perú, se cultiva patata en las regiones de la costa y de la sierra, pero el 95% se siembra en la sierra; razón por la cual se consideró únicamente los datos de esta zona.

Para los dos países se realizaron las estimaciones de las emisiones de GEI para cada explotación y se presentan los datos medios con sus desviaciones.

Caracterización de los sistemas de cultivo

Se caracterizaron los sistemas de cultivo de patata en España y Perú en base a las encuestas presenciales y datos bibliográficos. La tabla 1 recopila los valores medios de cada parámetro de entrada que el programa CFT-Potato tiene en cuenta para el cálculo de la huella de C.

Las diferencias más notables entre ellos se refieren al rendimiento, los sistemas de laboreo y fertilización, los sistemas de riego y el transporte. El rendimiento de patata en España es relativamente superior al de Perú, lo cual posiblemente se deba por diferencia de variedades o manejo del cultivo. Las actividades de laboreo del suelo de las explotaciones peruanas que han participado en este estudio se realizaron de manera manual y mediante tracción animal.

El riego en Perú fue realizado por gravedad, no se utilizaron sistemas de riego como en España, y muchos productores emplean únicamente lluvia estacional. La utilización de fitosanitarios para el control de las plagas es superior en España. Finalmente, la distancia entre los almacenes y las parcelas en Perú es menor a 200 metros, mientras que en España la distancia media equivale a 2,9 km, lo cual genera mayores emisiones por transporte interno.

Tabla 1. Caracterización de los sistemas de producción de patata en España y Perú
Table 1. Characterization of potato production systems in Spain and Peru

	España			Perú		
Parámetro	n	x	d.e.	n	x	d.e.
Rendimiento ($t \cdot ha^{-1}$)						
Producto cosechado	13	39,06	4,84	8	33,67	3,62
Producto comercializado	13	38,34	4,74	8	32,86	3,81
Tipo de suelos						
Textura de suelo	13	Media	0	8	Media	0
Materia orgánica del suelo (%)	13	1,56	0,54	8	1,5	0,36
pH	13	> 8.5	0,15	8	5,5 a 7,4	0,26
Abonado mineral ($kg \cdot ha^{-1}$)						
N	13	183,34	49,07	8	100,75	8,53
P_2O_5	13	144	34,46	8	110	8,64
K_2O	13	227	35,3	8	90,5	9,94
Riego (mm)	13	275,65	36,81	8	No calculado	0
Fitosanitarios						
Número de tratamientos	13	8	0,66	8	2	0,63
Combustible ($l \cdot ha^{-1}$ gasoil) y transporte						
Arado vertedera	13	30,7	10,61	8	10	0
Arado chisel	11	17,8	7,48	7	10	0
Acaballonador	12	96,9	30,54	6	Animal	0
Sembradora	13	20,1	10,38	8	Manual	0
Pulverización herbicida	13	4,8	8,24	8	Manual	0
Pulverización fertilizante	13	4,6	5,14	8	Manual	0
Pulverización fungicida	13	4,8	9,62	8	Manual	0
Cosechadora	13	89,3	34,31	8	Manual	0
Quema de matas	13	4,8	2,85	8	No	0
Distancia de transporte agrícola (km)	12	2,9	2,99	8	< 0,2	66,45

n: número de réplicas, x: media, d.e.: desviación estándar.

Determinación de la huella de carbono

Para cuantificar las emisiones de CO_2e, se introdujeron los datos procedentes de cada encuesta en el programa de cálculo de la huella de carbono Cool Farm Tool – Potato (CFT-Potato). El programa presenta siete secciones de entrada en relación con: la información general (lugar, año, producto, zona de producción, clima), manejo del cultivo (operaciones agrícolas, protección de cultivos, uso de fertilizantes, gestión de residuos), secuestro de carbono (uso y gestión del suelo, biomasa vegetal), ganadería (opciones de alimentación, fermentación entérica, excreción de N, gestión del estiércol), uso de energía (riego, maquinaria agrícola), procesamiento primario (fábrica, almacenes), transporte (carretera, ferrocarril, aéreo, marítimo). Los datos de salida que genera el programa corresponden a las emisiones de CO_2e desde la plantación hasta la cosecha en función de tres criterios: por área cultivada (hectárea), por unidad de producto (tonelada) y según las prácticas agrarias tales como producción de semilla, producción de fertilizante, antecedentes de óxido nitroso en suelo, emisiones inducidas por uso de fertilizante en campo, emisiones por uso de pesticidas, uso de energía, transporte interno en finca, manejo de residuos de cosecha (Haverkort y Hillier, 2011).

Se han considerado las emisiones dentro del Ciclo de Vida del cultivo, contemplándose únicamente la fase de producción, excluyéndose la fase de procesamiento del producto, almacenamiento, cadena de distribución y comercialización fuera de finca (Moran *et al*., 2011).

El programa CFT-Potato calcula las emisiones de GEI procedentes de diferentes fuentes utilizando los índices de conversión de modelos previamente publicados. En el caso de la producción y distribución de fertilizantes utiliza la base de datos Ecoinvent (Ecoinvent Center, 2007). Para las emisiones de óxido nitroso (N_2O) relacionados con la aplicación de fertilizantes, utiliza el modelo empírico multivariante de Bouwman *et al*. (2002) que considera el tipo de fertilizante, frecuencia de aplicación, clima y características físico-químicas del suelo. Las emisiones de NO y de NH3 son calculadas según el modelo de la FAO/IFA (2001) y convertidas a N_2O a través de factores de conversión que figuran en el IPCC (2006). También se utilizan factores de conversión para el cálculo de la lixiviación y de las emisiones de CO_2 como consecuencia de la aplicación de urea o encalado. Las emisiones procedentes del suelo se calculan introduciendo datos climáticos, características del suelo, prácticas de labranza y manejo de residuos de cosecha. Los efectos de la adición de materia orgánica sobre las existencias del C del suelo se derivan de los datos de Smith *et al*. (1997). Las emisiones debido al uso directo de energía (gasolina, diesel, electricidad) para las operaciones de campo y el procesamiento primario, se han calculado a partir de las normas técnicas de ASABE (ASABE, 2006). Las emisiones debido al uso de la electricidad de cada país se basan en el protocolo de GEI por sector y se emplean factores de conversión del GHG Protocol (2003).

El programa CFT-Potato modeliza las emisiones de GEI en base, entre otros, a parámetros climáticos (temperatura media) y a las propiedades físico-químicas del suelo introducidas por el usuario. Por lo tanto el modelo permite personalizar los cálculos para cada explotación. En caso de que se desconozca los datos climáticos, el programa ofrece la opción de elegir valores estándares en función de la localización geográfica, a nivel del país. Este aspecto afecta las emisiones de los fertilizantes y la gestión de carbono del suelo (enmiendas orgánicas, labranza, cultivos de cobertura). Además, el programa considera aspectos propios de cada zona: textura del suelo, contenido de materia orgánica, humedad del suelo, buen o mal drenaje, pH del

suelo. En el caso de las emisiones producidas por las fábricas de fertilizantes, se considera que las plantas de producción que datan de la década de los años 2000 utilizan tecnologías antiguas y en el caso de aquellas que son posteriores al 2006, se estima que emplean tecnologías modernas de reducción de las emisiones de N_2O.

El programa CFT-Potato ha sido probado mediante una evaluación comparativa de cuatro sistemas de producción de patata en Países Bajos (Haverkort y Hillier, 2011). Los resultados obtenidos han sido comparados satisfactoriamente, utilizando otras metodologías de cálculo de las emisiones de GEI (Hillier *et al*., 2011a, b). También se han realizado referencias cruzadas con otros cultivos como el trigo o la colza, observándose mínimas variaciones (Hillier, datos no publicados). Recientemente se ha publicado un estudio comparativo entre 11 programas de cálculo de la emisión de GEI aplicados a la agricultura en donde la evaluación multi-criterio ha permitido clasificar el programa Cool Farm Tool en primera posición (Whittaker *et al*., 2013).

Análisis de sensibilidad del programa Cool Farm Tool – Potato

Se realizó un análisis de sensibilidad con el fin de seleccionar los parámetros de entrada claves en el modelo, y poder determinar los aspectos que mayor influencia tienen en las emisiones de CO_2. El análisis de sensibilidad, la evaluación y propuesta de medidas se realizó únicamente para el caso de estudio en España.

Una de las limitaciones del programa CFT-Potato es que no es un modelo dinámico que permita calcular la respuesta del rendimiento al modificar alguno de los parámetros de cultivo como puede ser la fertilización, la dosis de riego o el laboreo del suelo. Por lo tanto, para obtener el análisis de sensibilidad referente a los abonos nitrogenados, fue necesario establecer la variación del rendimiento según la dosis de nitrógeno aplicada al cultivo. La función de rendimiento (ecuación 1) se obtuvo mediante interpolaciones realizadas a los resultados presentados por Love *et al*. (2005).

$$y = -0{,}1817x^2 + 91{,}354x + 25557 \quad (R^2 = 0{,}9998) \qquad [1]$$

Donde:

Y, rendimiento del cultivo de patata ($kg \cdot ha^{-1}$)

X, dosis de nitrógeno aplicado en el ciclo del cultivo ($kg\ N \cdot ha^{-1}$).

Para obtener el análisis de sensibilidad del factor riego, se utilizó el modelo de Córcoles *et al*. (2012) que simula la variación del rendimiento según la dosis de agua aplicada al cultivo según la ecuación 2.

$$Y = -0{,}2377x^2 + 350{,}87x + 57514 \quad (R^2 = 0.6107) \qquad [2]$$

Donde:

Y, rendimiento del cultivo de patata ($kg \cdot ha^{-1}$)

X, dosis de riego aplicado en el ciclo del cultivo incluyendo la precipitación efectiva (mm).

La información referente a la precipitación en Álava (País Vasco-España) correspondiente a los meses que dura el ciclo del cultivo fue tomada de la base de datos de la Agencia Estatal de Meteorología de España (AEMET, 2012). Los datos han sido recopilados desde el año 1971 al 2000, se utilizó la información proporcionada por la estación meteorológica Foronda-Txokiza.

Para obtener la precipitación efectiva, que es el agua procedente de la lluvia que realmente puede ser aprovechada por la planta, se han seguido las fórmulas propuestas por Brouwer y Heibloem (1986), en función de la precipitación mensual (p, mm/mes).

$$P_{eff}\ (mm/mes) = 0{,}8\ xp - 25, \quad \text{si } p > 75\ mm/mes \qquad [3]$$

$$P_{eff}\ (mm/mes) = 0{,}6\ xp - 10, \quad \text{si } p > 75\ mm/mes \qquad [4]$$

Con la información de precipitación media y precipitación efectiva en los meses correspondientes al ciclo del cultivo, se calculó la dosis promedio de agua que recibe el cultivo y el rendimiento esperado.

Se reconoce que ambos factores, dosis de nitrógeno (kg N·ha-1) y dosis de riego (mm) aplicados en el ciclo del cultivo, podrían estar en la misma función. Ferreira y Goncalves (2007) indican que una función de rendimiento conjunta puede ser muy útil para determinar una estrategia de manejo agrícola óptimo bajo las condiciones locales dadas, pero debe ser complementada con datos históricos de precipitación regional y evapotranspiración permitiendo la predicción del rendimiento año a año.

Puesto que la presente investigación se realizó en un solo punto en el tiempo, se consideraron las funciones de rendimiento para riego y fertilización nitrogenada, de forma separada.

Curvas de Costes Marginales de Mitigación

Se realizó un análisis MACC (Marginal Abatement Cost Curves), con la finalidad de determinar el potencial de reducción de las emisiones de GEI y los costes de mitigación asociados a estas propuestas.

Una curva MACC indica el coste estimado (euros por tonelada de CO_2), asociado con el coste marginal de la reducción de emisiones (generalmente, en millones de toneladas de CO_2). Por lo tanto, en un gráfico se contrasta el coste marginal de reducción en el eje 'y', y el nivel de reducción de las emisiones en el eje 'x' (Kesicki y Strachan, 2011).

Las dosis aplicadas de fertilizante y riego por los productores de España permitieron obtener las emisiones generadas (escenarios base). Se denominó 'dosis promedio total' a la dosis promedio de fertilizante (183,34 kg $N{\cdot}ha^{-1}$) y de riego (275,65 mm) aplicada por todas las explotaciones encuestadas. Además se realizó una agrupación de datos en función de la distribución estadística por cuartiles: los datos del primer cuartil, corresponden a las explotaciones que consumen menos fertilizante (dosis menores a 147,2 kg $N{\cdot}ha^{-1}$) y menos dosis de riego (dosis menores a 232 mm). Los valores del tercer cuartil, corresponden a las explotaciones que consumen más fertilizante (dosis mayores a 246,08 kg $N{\cdot}ha^{-1}$) y aplican mayor cantidad de agua (dosis mayores a 309,33 mm).

Se propusieron escenarios alternativos de mitigación, considerando reducción en las dosis de fertilizante nitrogenado y de riego en un 10%, 20% y 34%. De la misma manera, se calcularon las emisiones de CO_2e que se generarían y se estimaron los ingresos netos en caso de que se aplicasen las medidas (escenarios propuestos).

La variación de las emisiones y de los ingresos fue calculada por diferencia, entre las emisiones e ingresos generados en el escenario base menos las emisiones e ingresos obtenidos en los escenarios propuestos (ecuaciones 5 y 6).

$$\text{Variación de emisiones} = \text{Emisiones generadas}_{(\text{Escenario base})} - \text{Emisiones generadas}_{(\text{Escenario propuesto})} \quad [5]$$

$$\text{Variación de ingresos} = \text{Ingresos generados}_{(\text{Escenario base})} - \text{Ingresos generados}_{(\text{Escenario propuesto})} \quad [6]$$

El coste marginal de reducir las emisiones fue el resultado de la división entre la variación de ingresos y la variación de emisiones (ecuación 7).

$$\text{Coste marginal de reducción de emisiones} = \frac{\text{Variación de ingresos}}{\text{Potencial de mitigación}} \quad [7]$$

Los ingresos de los productores se calcularon en función del precio medio que recibe el

productor por tonelada de producto, que según información proporcionada por la cooperativa de productores de patata UDAPA es equivalente a 160 €. (Robles, comunicación personal).

El precio promedio del fertilizante nitrogenado (urea) según datos del Banco Mundial para el año 2012 fue equivalente a 315,4 €·t^{-1} (The World Bank, 2013).

Según las encuestas realizadas a los productores de patata, el precio del agua empleada en regadío, fue de 0,13 €·m^{-3}, incluyendo el coste de energía eléctrica para el bombeo.

No se realizó el análisis MACC para combustible, debido a que no se encontraron datos exactos referentes a la variación de rendimiento del cultivo en función de las actividades agrícolas mecanizadas.

Propuesta de medidas para reducir la huella de carbono

Se realizó la propuesta de medidas de mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero en función del potencial de mitigación y de sus costes económicos, para lo cual se consideró la información obtenida a través de las curvas MACC para fertilizante nitrogenado y para el caso de la energía empleada en irrigación.

Se compararon las dos propuestas y se analizó cuál de ellas tuvo mayor coste-eficacia, es decir cuál de las medidas presentó mayor potencial de reducción de emisiones de GEI y a su vez, implicó menores costes de implementación.

Esto se realizó con la finalidad de ayudar a los productores a tomar decisiones estratégicas y tácticas, para mejorar su sostenibilidad ambiental y económica.

Resultados y discusión

Emisiones de CO_2e

El sistema de producción en España presentó unos valores de emisiones de CO_2e $ha^{-1}año^{-1}$ que prácticamente duplican los de Perú (Tabla 2).

Se observa la misma tendencia al analizar la huella de carbono por unidad de producto comercial, los sistemas de producción en Perú presentaron emisiones menores, equivalentes al 57% comparado con el sistema español (Tabla 2).

En nuestro estudio, la huella de carbono por tonelada de patata en España representa el doble de las emisiones de Reino Unido, la principal razón que explica la diferencia en las emisiones, es el rendimiento del cultivo; puesto que en Reino Unido el rendimiento promedio es de 52 t ha-1 (Wale, 2008); mientras que en España, según las encuestas realizadas, el rendimiento promedio llega a 39 t ha^{-1}; lo cual concuerda con los valores reportados por MARM (2010), que muestran que el rendimiento promedio en áreas de regadío es de 29 t ha-1 y el rendimiento máximo de 50 t ha-1. Mientras que en Perú los rendimientos obtenidos como resultado de las encuestas fueron de 34 t ha-1, lo cual concuerda con los valores reportados por Devaux *et al*. (2010), quienes mencionan que los rendimientos de variedades mejoradas se encuentran entre 22 t ha-1 y 41 t ha-1.

Los datos reflejan que la diferencia entre los sistemas de producción radica en el mayor uso de insumos como: abonos, combustible para las labores de campo, energía requerida para el riego y el transporte.

Los GEI emitidos por las fábricas dedicadas a la producción de abonos representa uno de

Tabla 2. Emisiones de CO_2 en los sistemas de producción de patata en España y Perú. Año 2013
Table 2. CO_2 emissions in potato production systems in Spain and Peru. Year 2013

	Emisiones por unidad de área (kg $CO_2e \cdot ha^{-1}$)				Emisiones por unidad de producto comercial (kg $CO_2e \cdot t^{-1}$)				Valores relativos (%)	
	España		Perú		España		Perú		España	Perú
Actividad	x	d.e.	x	d.e.	x	d.e.	x	d.e.	x	d.e.
Producción abonos	1167,6	262,7	442,8	23,1	30,9	6,0	13,6	1,5	32	32,4
Uso abonos	598,5	223,6	267,2	32,6	16,0	7,7	8,2	1,3	16,6	19,6
Emisión N_2O del suelo	102,8	19,8	311,5	17,2	2,8	0,8	9,6	1,5	2,9	22,9
Uso pesticida	212,7	128,1	61,5	0,7	5,8	3,6	1,9	0,2	6,0	4,5
Uso combustible (Labores agrícolas)	850,2	185,8	96,4	28,5	21,7	5,4	2,9	0,8	22,4	6,9
Uso energía en irrigación	403,7	77,9	0	0	10,8	2,0	0	0	11,2	0
Cultivos cobertera y manejo residuos	123	6,9	189,1	8,4	3,3	0,2	5,8	0,4	3,4	13,8
Otros (Transporte interno)	179	88,7	0	0	5,4	2,4	0	0	5,6	0
Total	3637,6	598,3	1368,5	61,8	96,6	18,0	42	4,5	100	100

x: media; d.e.: desviación estándar.

los factores que mayor proporción de CO_2e emite en los sistemas estudiados, siendo responsable del 32% de las emisiones totales en el manejo del cultivo (Tabla 2). Estos valores coinciden con los de estudios previos realizados en cultivos de patata (Haverkort y Hillier, 2011).

En la región alavesa el cultivo de la patata requiere altas dosis de abonos químicos ya que según las encuestas realizadas son suelos con bajo contenido de materia orgánica lo cual concuerda con la caracterización de suelos de las comarcas agrarias de España realizada por Fernández (2011), quien menciona que los suelos de la zona de Álava pertenecen a suelos del tipo Xerochrept y Ustochrept según la clasificación USDA-NRCS, caracterizados por tener bajo contenido de materia orgánica, lo cual hace necesario la aplicación de altas dosis de abonos químicos para compensar la falta de materia orgánica. La suma de las emisiones de CO_2e debido a la fabricación y uso de abonos fue de 47 kg $CO_2e \cdot t^{-1}$ para el sistema productivo español, y de 22 kg $CO_2e \cdot t^{-1}$ en Perú, sin embargo las aportaciones relativas al valor total de las emisiones de CO_2e fueron muy parecidas en España y Perú alcanzando respectivamente el 48% y 52%, lo que pone de manifiesto la importancia del uso de abonos químicos independientemente del sistema de cultivo

Cabe recalcar que las emisiones de CO_2e por la fabricación de fertilizantes representa un parámetro imposible de controlar por los productores de patata, puesto que depende de las empresas fabricantes y de la metodología que ellas empleen.

La liberación de N_2O del suelo representa el segundo factor responsable de las emisiones de CO_2e en Perú; mientras que en España, las emisiones debidas al uso de combustible para la maquinaria agrícola son las que influyen mayoritariamente.

Estos resultados se deben a que los suelos de Perú contienen mayores cantidades de materia orgánica que sometida a la mineralización microbiana contribuyen a la emisión de N_2O (Granli y Bøckman, 1994; Grageda-Cabrera *et al*., 2000). Además, Wale (2008) menciona que el cultivo de patata implica levantar y mover grandes cantidades de tierra, por lo que es probable que aumenten las tasas de respiración del suelo y por lo tanto las emisiones de GEI.

Los valores relativos de emisiones de CO_2e debido al conjunto del ciclo del nitrógeno incluyendo su fabricación, su uso y la liberación de N_2O del suelo fueron de 43% (España) y 75% (Perú). Estos valores, coinciden con estudios previos que han demostrado que las emisiones de GEI debido al ciclo completo del nitrógeno puede alcanzar los 75% de las emisiones totales de CO_2e en diferentes cultivos e independientemente del sistema de producción, convencional u orgánico (Hillier *et al*., 2009).

España presenta mayores emisiones que Perú por consumo de energía en el uso de maquinaria agrícola, debido a que en Perú se emplea reducida mecanización agrícola, siendo reemplazada por tracción animal o labranza manual (Devaux *et al*., 2010). Considerando que en la tracción animal se utiliza bovinos o equinos y generalmente se usan animales machos ya que las hembras no pueden ser usadas durante su preñez o cuando están amamantando a sus terneros (Castellanos, 2012), se ha tomado datos de estudios realizados en Costa Rica (Hassán, 2013), a fin de estimar valores de emisiones por ganado bovino en países en vías de desarrollo, cuyas emisiones son mayores en comparación a las emisiones por ganado bovino en países desarrollados. A su vez se ha tomado datos de emisiones en fincas con manejo tradicional; puesto que en fincas con manejo mejorado, los valores son menores debido a la calidad de la dieta que se maneja.

Según Hassán (2013), las emisiones de un semental y una vaca seca oscilan entre 2,66 y

2,86 kg CO_2e animal^{-1} día^{-1}, respectivamente. Por otro lado, según comunicación personal con los productores de patata, en el ciclo del cultivo se requieren unas 54 horas de trabajo animal por ha de cultivo que corresponden a las labores de labranza del suelo antes de la siembra, mientras que la cosecha se realiza manualmente. Este trabajo animal equivale a una emisión de 6 a 6,4 kg CO_2e por ha o de 0,18 a 0,20 kg CO_2e por tonelada de patata comercial lo que representa entre un 0,43 y 0,47% de la totalidad de las emisiones.

Por lo tanto aunque el programa CFT-Potato no ofrece la opción de incorporar en los cálculos la huella de C debido al uso de tracción animal en las tareas de campo, el error debido a esta omisión resulta realmente mínimo y se puede despreciar, por lo menos en el marco de este estudio.

Por otra parte, las explotaciones peruanas no presentaron valores de emisiones de CO_2 debido al consumo de energía en irrigación; según la información obtenida de las encuestas y según Devaux *et al*. (2010), el riego se realiza mediante gravedad por su relativo bajo costo. Tampoco presentaron valores de emisiones debido al transporte interno del producto ya que el 87,5% de los productores poseen extensiones de cultivo menores a 10 ha, lo que implica que la distancia promedio entre los almacenes y las parcelas de producción están a menos de 200 metros (Tabla 1). Esto conlleva que los agricultores no empleen transporte mecánico, y utilicen personal de carga o hagan uso de acémilas (bueyes, burros y caballos) para el traslado de la producción a las zonas de almacenamiento (Devaux *et al*., 2010).

En el presente estudio no se ha considerado la fase de procesamiento de la patata (lavado, empaquetado), costes de almacenamiento ni del transporte fuera de las parcelas de producción, por lo que la cifra sería relativamente mayor. La patata es un cultivo voluminoso que es almacenado en frío para consumirlo a futuro, lo cual implicaría cifras de emisiones mucho mayores que las presentadas hasta el momento (Wale, 2008).

Análisis de sensibilidad del programa Cool Farm Tool – Potato

El análisis de sensibilidad realizado para los tres primeros parámetros que más influyen las emisiones de CO_2e (nitrógeno, riego y gasoil), muestra que la aplicación de nitrógeno incorporado al suelo presenta el mayor valor de la pendiente en la ecuación (Figura 1), convirtiéndose en el principal candidato para lograr una reducción de emisiones de CO_2. En segundo y tercer lugar se encuentran el combustible y el riego, respectivamente.

Evaluación de la reducción potencial de fertilizante nitrogenado mediante el análisis MACC

El análisis MACC se realizo únicamente en el caso de los sistemas productivos de España ya que en el caso de las explotaciones peruanas la huella de C procedente del uso de combustible y del riego es nula.

Los resultados mostraron que en el conjunto de las explotaciones el coste para reducir una cantidad de GEI comprendida entre 0,10 y 0,32 t CO_2e ha^{-1} (aplicando reducciones del 10% y 30% en la dosis de N, respectivamente) sería de 790 a 1060 € t^{-1} CO_2e (Figura 2). Estos resultados muestran que el coste para reducir las emisiones no es proporcional a la cantidad, por lo tanto cuanto más toneladas de CO_2 se reduzcan, más barato resulta el esfuerzo para reducir una unidad de CO_2. En los sistemas de cultivo de alto consumo de N (> 246 kg N·ha^{-1}) el coste para reducir una cantidad máxima de 0,45 t CO_2e ha^{-1} sería de 450 €·t^{-1} CO_2e (Figura 2) mientras que en el caso de las parcelas que presentan un bajo consumo de N (< 147 kg N·ha^{-1}) el esfuerzo

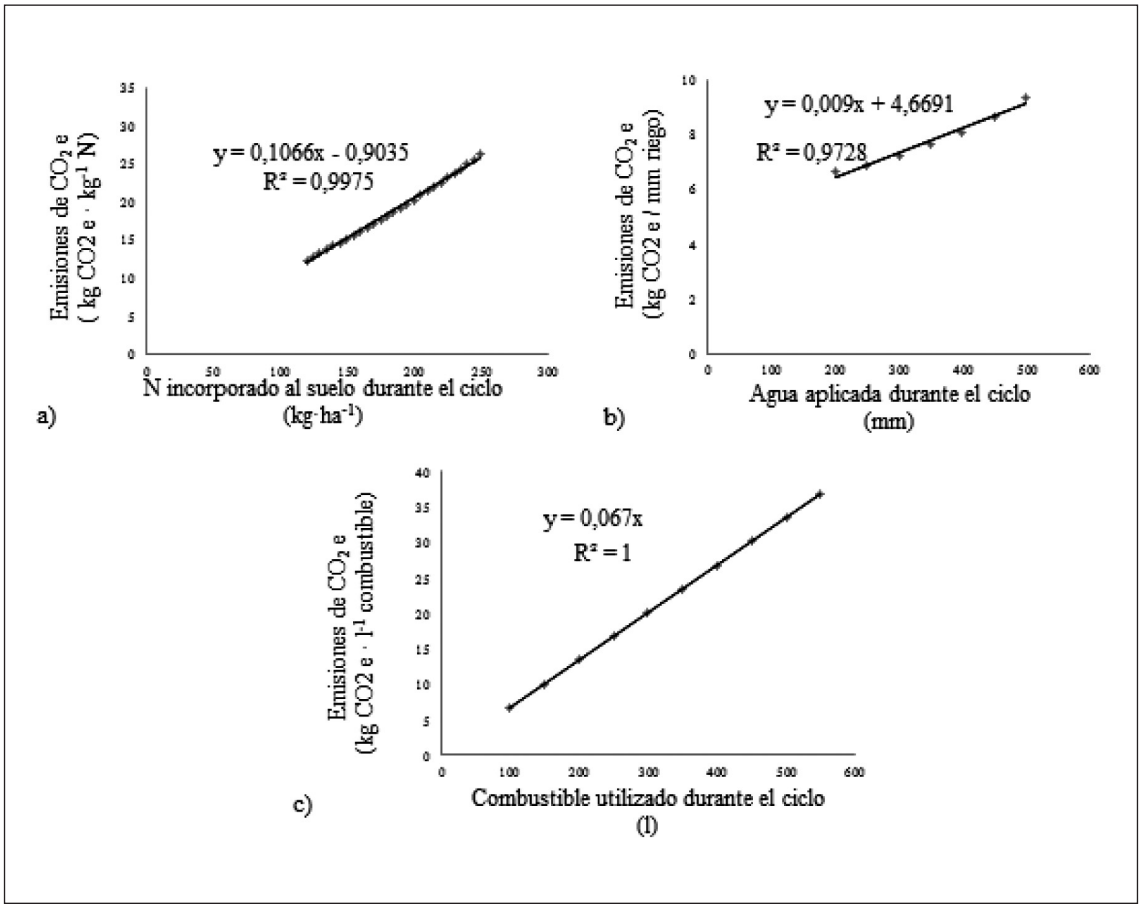


Figura 1. Análisis de sensibilidad del programa CFT-patata para las emisiones de CO_2 por: a) Aplicación de nitrógeno. b) Uso de energía eléctrica en riego. c) Combustible utilizado en actividades agrícolas.

Figure 1. Sensitivity analysis of CFT-potato program for CO_2 emissions: a) Application of nitrogen. b) Use of electricity in irrigation. c) Fuel used in farming.

para reducir 0,25 t CO_2e ha^{-1} sería de 1460 € t^{-1} CO_2e. Por lo tanto, las explotaciones que aplican altas dosis de nitrógeno (> 246 kg N·ha^{-1}), podrán reducir en mayor medida sus emisiones a un coste menor; mientras que la aplicación de medidas de mitigación de GEI resultará más costoso para las explotaciones que ya se encuentren aplicando bajas cantidades de nitrógeno (< 147 kg N·ha^{-1}).

Evaluación de la reducción potencial de la dosis de riego mediante el análisis MACC

El análisis MACC mostró que el potencial de reducción de emisiones de CO_2 en las explotaciones de mayor consumo agua, no difiere en mayor medida con las explotaciones de menor consumo. Esto ocurre debido a que, según el análisis de sensibilidad realizado, la

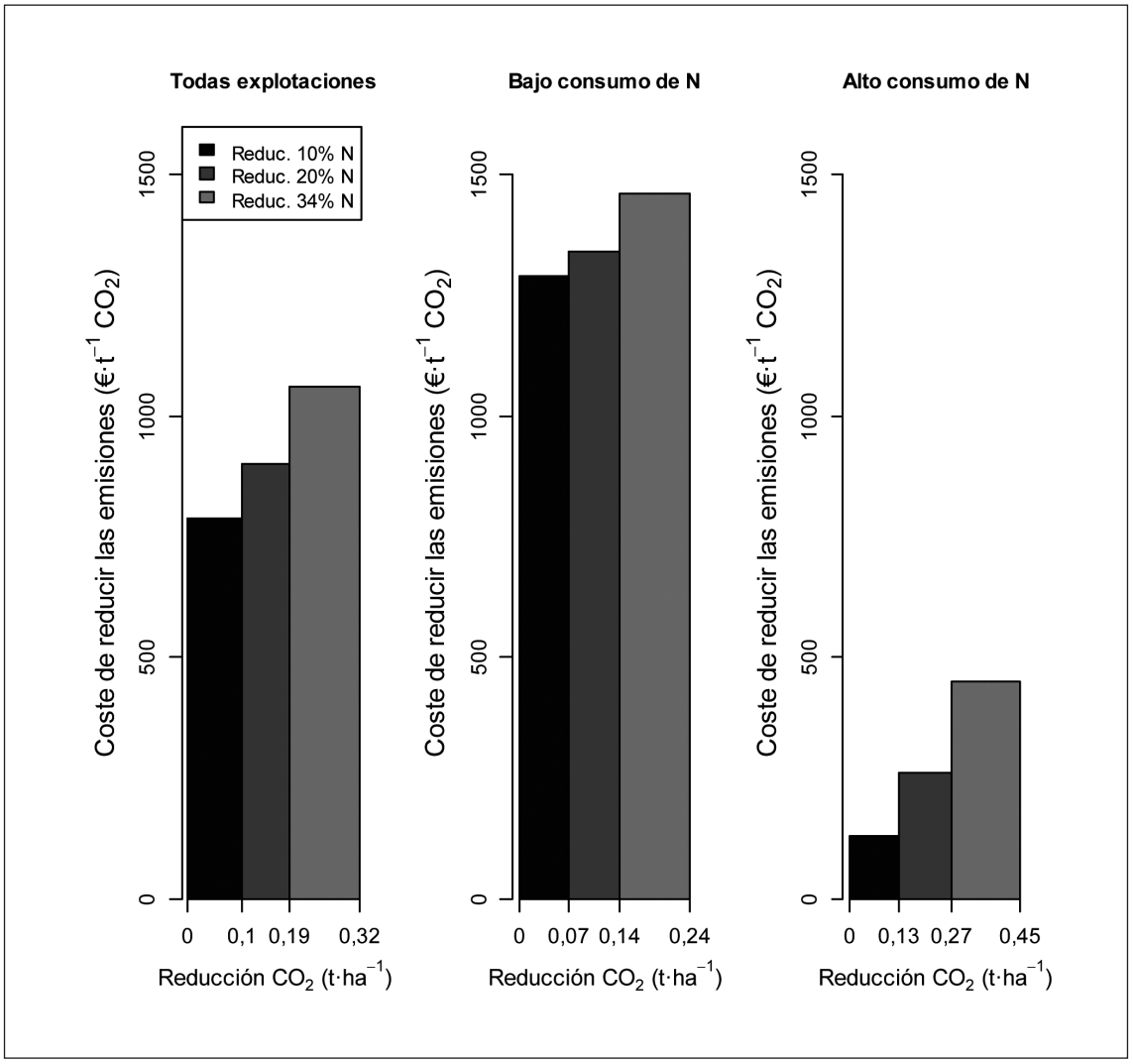


Figura 2. Curvas de Costes Marginales de Mitigación para el uso de fertilizante nitrogenado.
Figure 2. Marginal Abatement Cost Curves for nitrogen fertilizer.

dosis de riego es el aspecto de menor influencia en las emisiones. Sin embargo, la tendencia es la misma: el potencial de reducción de emisiones de GEI en las explotaciones de mayor consumo de riego es superior al potencial de reducción de emisiones de las explotaciones de bajo consumo y al conjunto de todas las explotaciones (Figura 3).

En el conjunto de las explotaciones el coste para reducir una cantidad de GEI comprendida entre 0,04 y 0,15 t CO_2e ha^{-1} (aplicando reducciones del 10% y 30% en la dosis de riego, respectivamente) sería de 14230 a 15640 € t^{-1} CO_2e (Figura 3). En los sistemas de cultivo de alto consumo de riego (> 309 mm) el coste para reducir una cantidad máxima de

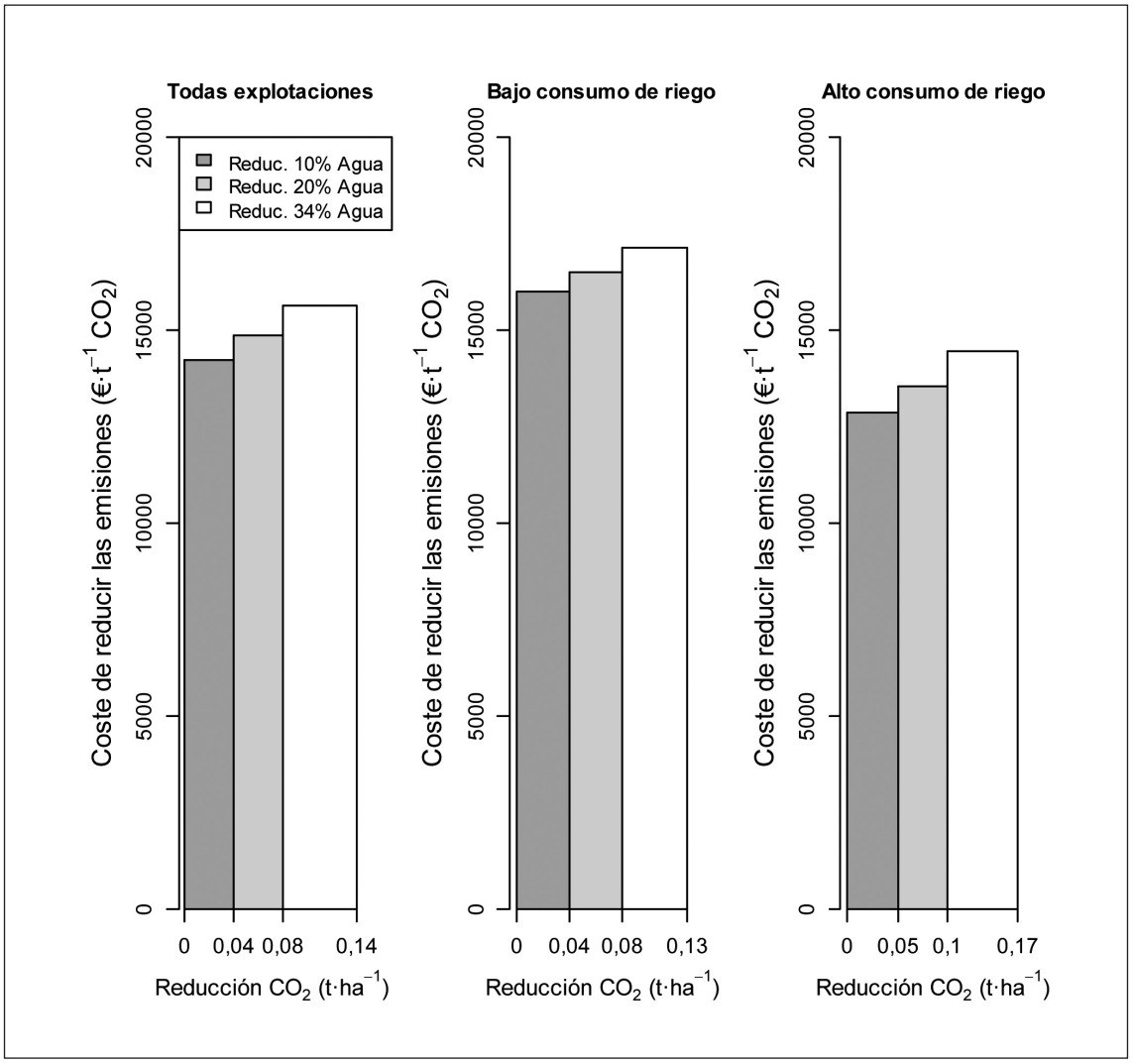


Figura 3. Curvas de Costes Marginales de Mitigación para consumo de energía en riego.
Figure 3. Marginal Abatement Cost Curves for energy consumption in irrigation.

0,16 t CO_2e ha^{-1} sería de 14450 € t^{-1} CO_2e (Figura 3); mientras que en el caso de las parcelas que presentan un bajo consumo de agua (< 232 mm) el esfuerzo para reducir 0,13 t CO_2e ha^{-1} sería de 17140 € t^{-1} CO_2e. Por lo tanto, las explotaciones que aplican altas dosis de riego (> 309 mm), podrán reducir en mayor medida sus emisiones a un coste menor; a diferencia de las explotaciones que ya se encuentren aplicando bajas cantidades de agua (< 232 mm), a quienes reducir sus emisiones de CO_2 resultará muy costoso.

Propuesta de medidas de mitigación

De acuerdo a los resultados obtenidos por el análisis MACC para fertilizante nitrogenado, en el caso del conjunto de las explotaciones, la acción enfocada a realizar reducciones (10, 20, 34%) de la cantidad de nutriente aplicado implicaría un coste promedio entre 790 y 1060 € por cada tonelada de CO_2e reducida.

En el caso de energía empleada en irrigación, la acción dirigida a realizar reducciones (10, 20, 34%) de la cantidad de riego aplicado implicaría un coste promedio entre 1423 y 1564 € por cada tonelada de CO_2e reducida.

En el conjunto de explotaciones en estudio, el coste total de reducir 0,10 a 0,32 toneladas CO_2 en una hectárea, aplicando reducciones en la fertilización, oscila entre 79 y 339 €·ha^{-1}. Mientras que el coste total de reducir 0,04 a 0,15 toneladas CO_2 en una hectárea, considerando reducciones de la dosis de riego, varía entre 569 y 2346 €.

Comparando estas dos propuestas, sería mucho más factible realizar reducciones de la dosis de fertilizante nitrogenado. Puesto que la disminución de la dosis de nitrógeno aplicada al cultivo, no solo presenta menores costes, sino que la cantidad de emisiones reducidas es mucho mayor, en comparación a las emisiones reducidas por disminución de la dosis de riego.

Los resultados de nuestro estudio se contraponen a los presentados por Moran *et al*. (2011), en donde la disminución de fertilizante nitrogenado como medida de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero en las actividades agrícolas de Reino Unido, presenta un alto coste económico en comparación a otras medidas. Moran *et al*. (2011) tampoco han contemplado las medidas relacionadas con la irrigación del cultivo, debido a su bajo potencial de mitigación.

Por el contrario, Moran *et al*. (2008) demostró que las prácticas agrícolas como drenaje mejorado y control de la frecuencia de aplicación de fertilizante nitrogenado, fueron las prácticas más rentables asociadas con la mitigación de GEI en suelos agrícolas.

Estos resultados demuestran que el proceso de desarrollo de curvas MAC es particularmente difícil para las emisiones agrícolas, debido a que la agricultura es una industria compleja, caracterizada por la heterogeneidad espacial y temporal (Macleod *et al*., 2010). Al igual que Wreford *et al*. (2010) mencionan que es necesario realizar análisis MACC específicos para regiones o tipos de granjas, en función de las condiciones locales biofísicas, sociales y económicas que se manejen.

La metodología utilizada en nuestro trabajo radica en la utilización combinada de un software para calcular las emisiones de CO_2 y la búsqueda de medidas de mitigación dirigida a dos regiones (España y Perú) y a cultivo en particular, en este caso la patata. Consideramos que las conclusiones de esta investigación servirán a los productores de patata como una herramienta valiosa para la implementación de cambios en el sistema de producción con el fin de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, incluyendo el coste de mitigación de cada medida en la toma de decisiones.

Kesicki y Strachan (2011) indican que el uso simplista de las curvas MACC puede ser engañoso y encuentra que los límites del concepto de curva MACC pueden conducir a la toma de decisiones sesgadas. Sin embargo, las curvas MACC son una herramienta política útil, siempre y cuando no se las utilice de manera exclusiva sino como una guía ilustrativa para su posterior análisis, especialmente para la elaboración de políticas incluyendo información sobre los costes y eficacia de las políticas que se descubre.

Por lo que se recomienda en futuras investigaciones, considerar un abanico más amplio de opciones de mitigación de GEI. Además, se

recomienda incluir estos resultados de contabilidad de gases dentro de otros sistemas de apoyo a la toma de decisiones, a fin de permitir a los productores, no solo explorar los aspectos de manejo del cultivo que mayor emisiones generen sino también analizar las consecuencias financieras producto de la aplicación de medidas de mitigación.

Conclusiones

La caracterización de los sistemas de producción de patata permitió identificar las diferencias entre los países evaluados que repercuten de manera muy significativa en las emisiones de los GEI. Estas diferencias se agrupan bajo dos aspectos: los de manejo del cultivo (sobre los que se puede actuar) y los de origen natural (imposibles de intervenir) como por ejemplo el contenido de materia orgánica característico de los suelos de Perú. Las diferencias en cuanto al manejo del cultivo nos permitieron determinar posibles medidas de mitigación de gases.

La producción de patata en España presentó mayores emisiones de CO_2e que en Perú, debido a tres aspectos principales: mayor consumo de fertilizante nitrogenado, mayor cantidad de energía consumida en irrigación y mayor cantidad de combustible empleado en labores agrícolas. En los dos países, el ciclo del nitrógeno representó la principal fuente de las emisiones de GEI.

El análisis económico y el cálculo de la reducción potencial de emisiones mostraron que sería más adecuado realizar reducciones de la dosis de fertilizante nitrogenado, por presentar un mayor potencial de reducción de GEI y menor coste marginal.

El estudio aporta un marco metodológico que puede ser aplicado a otros cultivos, mediante la utilización del software y del cálculo de las MACC.

Agradecimientos

Este estudio ha sido realizado de manera conjunta entre el Gobierno de Ecuador a través de las becas otorgadas por la Secretaría Nacional de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación (SENESCYT. www.educacionsuperior.gob.ec/) y el proyecto europeo SmartSOIL (www.smartsoil.eu). Un agradecimiento especial a los productores de patata de la cooperativa UDAPA (España), por su colaboración en el desarrollo de las encuestas.

Bibliografía

AEMET (2012). *Valores climatológicos normales. Foronda-Txokiza*. Disponible en: http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/datosclimatologicos/valoresclimatologicos?l=9091O&k=pva

ASABE (2006). Agricultural machinery management data. Standard ASAE EP496.3. American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASABE), St. Joseph, pp. 385-398.

Bouwman A, Boumans L, y Batjes N (2002). Modeling global annual N_2O and NO emissions from fertilized fields. Global Biogeochemical Cycles 16(4): 28-1.

Brouwer C, Heibloem Y (1986). Irrigation water needs; Irrigation Water Management. Training Manual (3). Ed. FAO. 102 p.

Castellanos M (2012). Manual de preparación de suelos con tracción animal. Escuela Agrícola Panamericana, El Zamorano, Honduras. 103 p.

CMNUCC (1992). Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Disponible en: http://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf

Córcoles JI, Camargo DC, Montoya F, Domínguez A, Tarjuelo JM, Ortega JF (2012). Effect of different irrigation strategies on potato (*Solanum tuberosum* L.) crop yield. En: Papers Book of International Conference of Agricultural Engineering. Abstract C0953. 8-12 julio 2012. Valencia, España.

Devaux A, Ordinola ME, Hibon A, Flores FA (2010). El sector papa en la región andina: Diagnóstico y elementos para una visión estratégica (Bolivia, Ecuador y Perú). International Potato Center. Lima-Perú. 386 p.

Dyer J, Vergé X, Desjardins R, Worth D, McConkey B (2010). The impact of increased biodiesel production on the greenhouse gas emissions from field crops in Canada. Energy for Sustainable Development 14(2), 73-82.

Ecoinvent Centre (2007). Ecoinvent data v2.0. Ecoinvent reports No.1-25, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf. Disponible en: www.ecoinvent.org

Espíndola C, Valderrama J (2012). Huella del carbono. Parte 1: Conceptos, métodos de estimación y complejidades metodológicas. Información Tecnológica 23(1): 163-176.

EUSTAT (2012). Instituto Vasco de Estadística. Disponible en: http://www.eustat.es/estadisticas/tema_51/opt_0/ti_Agricultura/temas.html#axzz32MD6ZI6b

FAO/IFA (2001). Global estimates of NH_3, NO and N_2O for agricultural lands. FAO Rome. 106 p.

FAOSTAT (2013). Food and Agriculture Organization statistical database. Disponible en: http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/home/E

Fernández J (2011). Caracterización de las Comarcas Agrarias de España. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Gobierno de España. Comunidades Autónomas (Sinopsis). 1: 301-321.

Ferreira TC, Gonçalves DA (2007). Crop-yield/water-use production functions of potatoes ("*Solanum tuberosum*", L.) grown under differential nitrogen and irrigation treatments in a hot, dry climate. Agricultural water management 90(1): 45-55.

Gan Y, Liang C, Campbell C, Zentner R, Lemke R, Wang H, Yang C (2012). Carbon footprint of spring wheat in response to fallow frequency and soil carbon changes over 25 years on the semiarid Canadian prairie. European Journal of Agronomy 43(20): 175-184.

GHG protocol. (2003) Emissions factors from cross-sector tools. Disponible en: http://www.ghgprotocol.org/calculation-tools/all-tools

Grageda-Cabrera O, Vermoesen A, van Cleemput O, Peña-Cabriales J (2000). Efecto del tipo de suelo, humedad y fuente de nitrógeno en las emisiones de N_2 y N_2O. Tierra 18(1): 1-9.

Granli T, Boeckman O (1994). Nitrous oxide from agriculture. Norwegian Journal of Agricultural Science Suppl. 12(94): 128.

Hassán J (2013). El ciclo de vida en la producción de leche y la dinámica de las emisiones de gases de efecto invernadero en fincas doble propósito de la península de Azuero, República de Panamá. Tesis sometida a consideración de la Escuela de Posgrado como requisito para optar por el grado de Magister Scientiae en Agroforestería Tropical. Turrialba, Costa Rica. 144 p.

Haverkort A, Hillier J (2011). Cool farm tool-potato: Model description and performance of four production systems. Potato Research 54(4): 355-369.

Hillier J, Hawes C, Squire G, Hilton A, Wale S, Smith P (2009). The carbon footprints of food crop production. International Journal of Agricultural Sustainability 7(2): 107-118.

Hillier J, Hilton A, Wale S, Hawes C, Squire G, Smith P (2011a). SAC newsletter Carbon Footprinting of Crop Production. Disponible en: www.scri.ac.uk/scri/file/PiP/Carbonfootprintingofcropproduction.pdf

Hillier J, Walter C, Malin D, Garcia-Suarez T, Milai-Canals L, Smith P (2011b). A farm-focused calculator for emissions from crop and livestock production. Environmental Modelling & Software 26(9): 1070-1078.

Iglesias A, Quiroga S, Diz A (2011). Looking into the future of agriculture in a changing climate. European Review of Agricultural Economics 38(3): 427-447.

IPCC (2013). Summary for Policymakers. En: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Eds. Stocker TF, Qin

D, Plattner G-K, Tignor M, Allen SK, Boschung J, Nauels A, Xia Y, Bex V, Midgley PM). Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido, y Nueva York, EE. UU.

IPCC (2006). IPCC 2006 Revised Good Practice Guidelines for Greenhouse Gas Inventories. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Institute for Global Environmental Strategies, Tokio, Japón. Disponible en: http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html

Kesicki F, Strachan N (2011).Marginal abatement cost (MAC) curves: Confronting theory and practice. Environmental Science & Policy 14(8): 1195-1204.

Love S, Stark J, Salaiz T (2005). Response of four potato cultivars to rate and timing of nitrogen fertilizer. American Journal of Potato Research 82(1): 21-30.

MacLeod M, Moran D, Eory V, Rees RM, Barnes A, Topp C, Ball B, Hoad S, Wall E, McVittie A, Pajot G, Matthews R, Smith P, Moxey A (2010). Developing greenhouse gas marginal abatement cost curves for agricultural emissions from crops and soils in the UK. Agricultural Systems 103(4): 198-209.

MARM (2010). Estudio de la cadena de valor y formación de precios del sector de la patata fresca de consumo. Disponible en: http://www.magrama.gob.es/es/alimentacion/servicios/observatorio-de-precios-de-los-alimentos/ESTUDIO_PATATA_14112010_tcm7-182793.pdf

Ministerio Agricultura y Riego Perú (2011). Resumen Ejecutivo Producción Nacional Papa. Manuales-Boletines (Perú). Disponible en: http://agroaldia.minag.gob.pe/biblioteca/download/pdf/manuales-boletines/papa/resumenejecutivo-papa.pdf

Moran D, Macleod M, Wall E, Eory V, McVittie A, Barnes A, Rees R, Topp C, Moxey A (2011). Marginal abatement cost curves for UK agricultural greenhouse gas emissions. Journal of Agricultural Economics, 62(1), 93-118.

Moran D, MacLeod M, Wall E, Eory V, Pajot G, Matthews RR, McVittie A, Barnes A, Rees B, Moxey A, Williams A, Smith P (2008). UK marginal abatement cost curves for the agriculture and land use, land-use change and forestry sectors out to 2022, with qualitative analysis of options to 2050.Final report to the Committee on Climate Change. Edinburgh: Scottish Agricultural College Commercial.

Schulte R, Donnellan T (2012). A Marginal Abatement Cost Curve for Irish Agriculture. Teagasc submission to the National Climate Policy Development Consultation. Teagasc, 30

Smith P, Powlson D, Glendining M, Smith J (1997). Potential for carbon sequestration in European soils: Preliminary estimates for five scenarios using results from long-term experiments. Global Change Biology 3(1): 67-79.

The World Bank (2013). Database. Monthly world prices of commodities and indices. Disponible en: http://econ.worldbank.org/WBSITE/EXTERNAL/EXTDEC/EXTDECPROSPECTS/0,contentMDK:21574907~menuPK:7859231~pagePK:64165401~piPK:64165026~theSitePK:476883,00.html

Viglizzo E (2010). Huella de carbono, ambiente y agricultura en el cono sur de Suramérica. IICA – Montevideo: PROCISUR, IICA. Montevideo, Uruguay, 21-32.

Wale S (2008). The carbon footprint of the potato crop. Extraído de Trials and Demonstration Results Guide. Potatoes in Practice event in Dundee. Disponible en: http://www.scri.ac.uk/scri/file/PiP/PiP2008_results_summary.pdf

Whittaker C, McManus M, Smith P (2013). A comparison of carbon accounting tools for arable crops in the United Kingdom. Environmental Modelling & Software 46: 228-239.

Wreford A, Moran D, Adger N (2010). Climate change and Agriculture. Impacts, adaptation and mitigation. OECD. Disponible en: http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/rome2007/docs/Climate%20Change%20and%20Agr.pdf

(Aceptado para publicación el 29 de septiembre de 2014)

Impacto de la crisis en las cooperativas de vino: desempeño y estrategias en Castilla-La Mancha

J.S. Castillo-Valero[1,*], K. Simon-Elorz[2] y M.C. García-Cortijo[1]

[1] Instituto de Desarrollo Regional, Universidad de Castilla-La Mancha, Campus Universitario, s/n, 02071, Albacete, España
[2] Departamento de Gestión de Empresas, Universidad Pública de Navarra, Campus Arrosadía, s/n, 31006, Pamplona. España

Resumen

El objetivo de este trabajo es el estudio del desempeño, estrategias y posibilidades de adaptación de las cooperativas del vino en Castilla La-Mancha, comparando un periodo de expansión económica (2002-2006) con un periodo de crisis (2007-2011). Para ello se define un modelo de panel en el que se analiza la relación entre el desempeño económico y diferentes estrategias de gestión (del entorno, comerciales y de financiación). También se analiza el efecto de la actuación pública, en este contexto, valorando el impacto que las Ayudas del Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural 2007-2013, en promoción de las inversiones de modernización, han tenido sobre los resultados de las cooperativas. Los resultados muestran que el sector cooperativo del vino de Castilla-La Mancha ha demostrado su robustez y capacidad de adaptación en la actual crisis económica y financiera y que estas entidades de carácter social, se han adaptado mejor y más consistentemente a la nueva situación que las sociedades capitalistas, tras comparar los resultados con los obtenidos en otros trabajos. Así, las cooperativas muestran su viabilidad social y economía como modelo empresarial idiosincrático.

Palabras clave: Bodegas cooperativas, desempeño, crisis económica, estrategias.

Abstract
Impact of the crisis period on the coop-wineries: performance and strategies in Castilla La Mancha

The aim of this paper is to study the performance, strategies and adaptability of the coop-wineries in Castilla-La-Mancha between the periods of growth economic (2002-2006) and the crisis (2007-2011). We have defined a Panel Model to analyze the impact on the economic performance the different managerial decisions (environmental, commercial and financial). Also we have considered the effect of public performance of amounts from the European Agricultural Fund for Rural Development 2007-2013, on the modernization of investments and the results for the coop-wineries. The results show that the cooperative sector Wine Castilla-La Mancha has displayed its robustness and resilience in the current economic and financial crisis. The cooperatives have been better and more consistently adapted to the new situation, showing social viability and economics as idiosyncratic business model.

Key words: Coop-wineries, performance, crisis period, strategies.

* Autor para correspondencia: sebastian.castillo@uclm.es
http://dx.doi.org/10.12706/itea.2015.012

Introducción

Las cooperativas juegan un papel fundamental en la economía agraria y en el mundo rural. Este tipo de sociedades posibilitan la viabilidad de muchas explotaciones agrarias, mejoran la eficiencia de otras, incrementan el valor añadido de las producciones, crean puestos de trabajo y facilitan el acceso a los mercados de los productos agrícolas. Además, las cooperativas abastecen a la población de alimentos de calidad y contribuyen al desarrollo y cohesión social del medio rural en la medida que mejoran la renta de los agricultores y fijan la población al territorio (Arcas-Lario *et al*., 2013). En este contexto, la viabilidad de las cooperativas, actúa como motor de desarrollo regional, de ahí la importancia de un sector cooperativo solvente y que garantice la transmisión de rentas a los socios cooperativistas.

El ciclo económico, está poniendo a prueba la supervivencia y continuidad de las empresas, por lo que el estudio del sector cooperativo cobra especial relevancia en este momento de crisis. El sector cooperativo en Castilla-La Mancha, tiene una importante presencia en la actividad regional y, es el sector vitivinícola, uno de los más importantes en generación de actividad económica.

El último informe de Cooperativas Agro-alimentarias (2014) publica una serie de datos que evidencian la importancia del sector cooperativo en Castilla-La Mancha y que, ahondando en el sector vitivinícola, corroboran que es la región más importante de España en producción y facturación de vino. El estudio constata que Castilla-La Mancha es la primera Comunidad Autónoma en facturación de mostos y vinos a granel en empresas cooperativas, y que sólo esta región aglutina más del 50% de la facturación nacional de vinos y mostos cooperativizada. Por eso, las cooperativas de vino son fundamentales en el desarrollo del sector (Baamonde, 2009) y su desempeño económico juega un papel básico en el crecimiento de estas sociedades, sobre todo en la actual crisis, que les supone un duro reto para mantener sus cuentas saneadas y sobrevivir a las circunstancias (Carmona *et al*., 2013) y con un proceso selectivo donde sólo se mantendrán las más eficientes (Baamonde, 2009).

La importancia de las cooperativas agrarias ha hecho que en los últimos años se venga prestando una creciente atención al estudio de su desempeño. Vargas y García (2003) proponen un paquete de indicadores para medir el desempeño en un conjunto de 32 sociedades cooperativas de la provincia de Huelva y Jaén. Díaz-Barceló (2007) realiza un análisis financiero comparado de cooperativas vitivinícolas de Castilla La Mancha con las empresas de los principales países productores de la Unión Europea. Guzmán *et al*. (2009) estudian el desempeño de 81 y 106 sociedades italianas y españolas, respectivamente. Carmona *et al*. (2013) analiza la evolución económico-financiera de las sociedades cooperativas españolas en los años 2004 (bonanza) y 2007 (crisis). Kalogeras *et al*. (2013) evalúan el éxito financiero de las cooperativas agroalimentarias holandesas para el período 1999-2010.

El objetivo de esta investigación es analizar la relación entre las variables, del entorno, comerciales y de financiación, y las medidas de desempeño en las bodegas cooperativas de Castilla La Mancha. Además, se compararán las estrategias seguidas en la etapa de crecimiento económico (2002-2006) y en la de recesión (2007-2011).

La hipótesis principal (HP) analizada en este trabajo afirma:

HP: El desempeño económico de las cooperativas de vino es función de

HP1: Variables de entorno

HP2: Estrategias comerciales

HP3: Estructura financiera

HP4: Ayudas Públicas

Material y métodos

El sector cooperativo del vino en Castilla-La Mancha

La elección de Castilla La Mancha como objeto de estudio, es consecuencia de la relevancia que esta región tiene como productora de vino a nivel mundial, así como por el peso que las cooperativas tienen en la producción vitivinícola. En el año 2013, el sector cooperativo ha representado el 67% de la producción de vino de la región, por lo que su estudio cobra especial relevancia para comprender las estrategias del sector.

El sector vitivinícola ha sido uno de los más dinámicos de los últimos años, con unas inversiones importantes por parte de las bodegas, acogidas a las ayudas de la PAC y de los viticultores invirtiendo en la reconversión y reestructuración de los viñedos (JCCM, 2014). Además, más de 700 industrias agroalimentarias están relacionadas con la producción vitivinícola lo que pone de manifiesto, la importante fortaleza económica del sector y la mejora de la rentabilidad de las explotaciones (Ruíz, 2013).

La región de Castilla-La Mancha es la mayor superficie de viñedo del mundo, así como su territorio es el primer productor global. En términos comparativos con España, la región de Castilla-La Mancha representa casi el 47% de todo el viñedo del país, y más de 48% de su producción de vino y mosto, como puede observarse en la Tabla 1. Por tanto, está plenamente justificada la elección de esta región como estudio de caso.

En Castilla-La Mancha operan 218 cooperativas con producción en vinos y mostos o derivados de los mismos; de éstas, 164 son cooperativas de Primer Grado, 4 de Segundo Grado y 15 SAT (Sociedad Agraria de Transformación). De los datos que aparecen en la Tabla 2, se desprende que las cooperativas representa una parte muy significativa de predominio en el nivel nacional. Representan el 35% de las cooperativas y el 50,7% de la facturación (cooperativas de primer grado y SAT) respecto al país. Por secciones productivas, el 95% de la facturación es de vino a granel y mostos, situando a Castilla-La Mancha como la primera Comunidad Autónoma en estos productos.

La facturación de las cooperativas de segundo grado es de 53,09 millones de euros. Así, en total, las cooperativas de vino de Castilla-La Mancha facturaron 555,04 millones de euros que, lo que supone el 48% del total regional, un peso importante, frente a las sociedades capitalistas, como señalan Bono *et al*. (2012).

El sector de cooperativas de vino está integrado por dos tipos de cooperativas. Por una parte un reducido número de ellas (10) concentran el mayor porcentaje de facturación (el 33%) y, en el otro extremo, un elevado número de cooperativas de tamaño pequeño (Tabla 3). Esta atomización es típica del modelo mediterráneo y está provocada por múltiples factores, entre los que cabe destacar los de índole cultural, geográfico, razones de carácter social y político. El arraigo local y la dispersión geográfica han dificultado las fusiones y el crecimiento se ha apoyado en gran medida en la figura de la cooperativa de segundo grado (Baamonde, 2009).

En el año 2012, Baco se ha convertido en el primer grupo comercializador de España y Bodegas Virgen de las Viñas es la primera cooperativa de primer grado en facturación de vinos y mostos del país. En definitiva, el cooperativismo agrario constituye una importante realidad en la región, no sólo social, sino también económica, pues ha experimentado un importante desarrollo empresarial (Melián y Millán, 2007).

Tabla 1. Posición del vino de Castilla-La Mancha en el año 2012
Table 1. The magnitude of wine of Castilla La Mancha in 2012

	Producción (Hl)	Área (Ha)	Exportación (Hl)
Unión Europea-27	156.150.160	3.009.500	50.123.306
España	38.583.000	943.000	24.652.897
Castilla-La Mancha	18.622.280	442.292	11.595.975
Castilla-La Mancha/Unión europea-27 (%)	11,93	14,70	–
Castilla-La Mancha/España (%)	48,27	46,90	47,03

Fuente: Fondo Español de Garantía Agraria (2013) para la producción; MAGRAMA (2013) para el área; Observatorio Español del Mercado del Vino (2013) para las exportaciones.

Tabla 2. Número de sociedades cooperativas vino de Castilla-La Mancha y facturación (Millones €) de las sociedades cooperativas
Table 2. Number of wineries from Castilla La Mancha and turnover (million €) of the cooperatives

	España	Castilla-La Mancha
Nº cooperativas	628	218
Facturación		
Cooperativas 1er Grado/SAT[1]	990,25	501,93
Vino granel	672,36	448,43
Vino embotellado	212,89	22,81
Mostos	45,63	28,72
Alcoholes	9,05	0,00
Uva	46,72	1,03
Otros productos	3,56	0,94
Cooperativas 2º Grado	–	53,09
Vino granel	–	35,52
Vino embotellado	–	0,00
Mostos	–	14,02
Alcoholes	–	2,11
Uva	–	1,44
Otros productos	–	53,09
Empresas comercializadoras de vino	5.520	1.148
Industria alimentaria	88.673	6.660

[1]Sociedad Agraria de Transformación.

Fuente: Cooperativas Agro-alimentarias (2014) y MAGRAMA (2013).

Tabla 3. Ranking de facturación de las principales cooperativas agrarias y grado de integración
Table 3. Ranking by turnover of the main agricultural cooperatives and their degree of integration

Ranking	Cooperativa	Grado	Facturación (Millones €)	Facturación respecto al sector (%)
1	BACO	2	38,58	7,0
2	Bodegas Virgen de las Viñas	1	31,77	5,7
3	Bodegas Yuntero	1	19,36	3,5
4	El Progreso	1	18,07	3,3
5	Cristo de la Vega	1	14,99	2,7
6	Bodegas Rezuelo	1	13,80	2,5
7	S. Cristo del Espíritu Santo	1	11,86	2,1
8	San Isidro	1	11,75	2,1
9	Unión Campesina Iniestense	1	11,51	2,1
10	Ntra. Sra. de Manjavacas	1	10,84	2,0
	Total		182,53	33

Fuente: Cooperativas Agro-Alimentarias (2014).

Marco teórico y discusión de variables

Según la teoría neoclásica en una situación de equilibrio a largo plazo todas las empresas, consideradas como agentes económicos individuales y racionales, tienden a maximizar sus resultados a partir de una idéntica función de producción, obteniendo un beneficio extraordinario nulo. En este planteamiento teórico, la preocupación por conocer la configuración interna de tales agentes económicos es inexistente. Sin embargo, en la realidad los beneficios existen y se manifiestan en muy diferente medida entre las distintas unidades empresariales y de forma independiente de la actividad económica concreta que realicen. (Sainz, 2002). Por eso, el estudio de la rentabilidad de los productores de vino representa actualmente uno de los objetivos más importantes, con el fin de analizar y verificar el estado de este segmento (Chinnici *et al*., 2013). Ritchie y Kolodinsky (2003) señalan la importancia de medir la rentabilidad como un componente básico de la evaluación de la eficacia global de una empresa. Bagnoli y Megali (2011) señalan que la medición del desempeño económico y financiero es utilizada por las cooperativas para comprobar su responsabilidad financiera.

Las medidas de desempeño económico, pueden obtenerse a partir del uso de diferentes variables cada una de las cuales proporciona información sobre aspectos concretos de la empresa y, por lo tanto, en este trabajo vamos a incluir varias medidas de desempeño económico, al objeto de recoger las distintas actuaciones de las bodegas. Con carácter general, las medidas de desempeño económico más utilizadas son VA (Valor añadido) (Fischer y Schornberg, 2007); el ROA (Rentabilidad Económica) y ROI (Rentabilidad Financiera). Jarvis *et al*. (2000) y Dewenter y Malatesta

(2001) las utilizan el ámbito empresarial general; Schiefer y Hartmann (2008) para la industria agroalimentaria; Amadieu y Viviani (2010) para el sector vinícola francés; Gilinsky *et al*. (2010) para las empresas vinícolas de California, la India e Italia y Sellers-Rubio (2010), para la industria española del vino. Por último y dada la particularidad del desempeño del sector cooperativo, se ha incluido la variable Rentabilidad del Socio, medida como la ratio Compras/Ventas.

Si consideramos la Función Objetivo de las empresas, se observa como el objetivo de las empresas mercantiles es la maximización del beneficio, mientras que para el sector cooperativo es la maximización de la Renta del Socio. Ambos tipos de empresas, comparten cuando su tamaño es pequeño, el objetivo de Supervivencia. En este trabajo, se considera la existencia de dos tipos de rentas para el socio de la cooperativa. En primer lugar, una Renta de Capital, que se percibe vía beneficio y para la cual, son adecuados indicadores de rentabilidad y, en segundo lugar, la renta del socio vía precios de compra. Los socios de las bodegas cooperativas son proveedores de uva, por lo que una parte de las rentas que perciben los socios se recibe a partir del precio que la bodega paga por la uva. Desde un punto de vista contable, esto se recoge en la cifra de Compras, por lo que un alto precio pagado por la uva, es una mejora de renta de los socios. Para capturar esta Renta del Socio, se define el indicador Compras sobre Ventas. A mayor valor de este ratio, más elevada será la renta recibida por los socios cooperativistas (Simón, 1996).

Es necesario tener en cuenta, que de todas las medidas de desempeño consideradas, es la Rentabilidad del Socio, la que recoge de una manera más precisa la comprensión de las distintas actuaciones llevadas a cabo por las bodegas. El ROI, es una medida de rentabilidad que no es la más interesante para el sector cooperativo. En aquellos casos en los que sea necesario comparar bodegas con diferente estructura de propiedad del capital, será VA y ROA, las que reflejen la rentabilidad de producción, pero no podemos esperar resultados comparables en el ROI entre ambos tipos de empresas por la diferencia de objetivos. Para las empresas capitalistas la maximización del beneficio y para las empresas cooperativas, la maximización de la renta percibida por el socio. Por lo que la incorporación de esta medida particular de sector, se refleja como adecuada para comprender la evolución del sector cooperativo.

Identificar los factores que inciden en la competitividad de una empresa, al ser muchos y diversos, es tarea compleja (Sainz, 2002). Para Cuervo (1993) son determinantes del desempeño los recursos y habilidades que emplee la empresa. Es por ello que en este estudio se opta por relacionar el desempeño con variables de entorno, de las estrategias comerciales y financieras y ayudas públicas. A continuación, se presentan las variables utilizadas, autores que las emplean en el estudio del desempeño y el signo que las relaciona con él.

Las variables de entorno afectan al desempeño de las empresas y a su crecimiento y, en consecuencia, el modelo organizativo adoptado puede ser explicado en términos de entorno (Dobbs y Hamilton, 2007). Se utilizarán: la edad, el tamaño, la intensidad de capital y el riesgo estratégico. El signo esperado de la variable edad sobre el desempeño puede ser positivo o negativo. Gardebroek *et al*. (2010) señalan que la edad de la empresa está significativa e inversamente relacionada con la rentabilidad. Otros autores como Mata y Portugal (1994) indican una relación inversa con el riesgo de fracaso empresarial y una relación positiva con el desempeño (Sánchez y García-Pérez; 2003). En cuanto al tamaño, una gran cantidad de literatura ha identificado la influencia positiva del tamaño de la empresa en su rentabilidad (Lee y Xiao, 2011). Esto se puede atribuir al hecho de que

sólo las empresas más grandes pueden conseguir economías de escala y, por lo tanto, reducir su coste medio por unidad de medida (García-Fuentes *et al*., 2012). Contrariamente, el trabajo de Das *et al*. (1998) encuentra una relación inversa entre tamaño y rentabilidad. En general, la literatura describe la intensidad del capital como un efecto positivo en el crecimiento de las empresas (Altinkemer *et al*., 2011). Mientras, Segarra y Teruel (2007), apuntan la mayor intensidad tecnológica e innovadora como una dificultad para las empresas de menor tamaño.

En cuanto al riesgo estratégico como señala Chou *et al*. (2009) la teoría de valoración de activos, como el modelo Sharpe-Lintner-Black, y la teoría de valoración de arbitraje de Ross, afirman una relación positiva entre el rendimiento y medida de riesgo. Sin embargo, Bowman (1980) identifica una relación negativa entre el riesgo y la rentabilidad media. Fiegenbaum (1990) señalan que existe una asociación negativa entre riesgo y rendimiento cuando una empresa tiene rendimientos por debajo de su nivel objetivo y una asociación positiva para las empresas con rendimientos por encima del objetivo. Un menor valor de la variable de desempeño implica un mayor riesgo. Por lo que el mayor riesgo estratégico, será el de las empresas cuyas medidas de desempeño estén en el cuartil primero, teniendo en cuenta su cálculo (ver Tabla 4).

Las estrategias comerciales están en el foco del desempeño de las bodegas. Ante un sector en claro declive en consumo, así como un aumento del número de países productores, el grado de rivalidad en el sector es muy alto e impone la adopción de estrategias comerciales que permitan dar salida al producto. Estas estrategias, no dependen solo de las decisiones de la empresa, sino que también se ven afectadas por las decisiones adoptadas por el resto de bodegas que operan en el sector, en un contexto globalizado. Se emplean como variables representativas de las estrategias comerciales: el crecimiento de las ventas, las exportaciones y la segmentación del mercado. Como señala Brush *et al*. (2000) la mayoría de las empresas valoran el crecimiento de las ventas. En su investigación, Brush *et al*. (2000), obtienen una relación significativa y positiva en su influencia sobre ROA.

Sobre el comportamiento de las exportaciones en la industria del vino Castaldi *et al*. (2003) y Maurel (2009) revelaron que las exportaciones tiene un impacto positivo en las empresas de este sector. Reijonen *et al*. (2012) afirman que la orientación al mercado son considerados como factores que mejoran el rendimiento de la empresa (Narver y Slater 1990; Wong y Merrilees 2008). Muchos estudios demuestran el efecto positivo de la segmentación del mercado sobre los resultados empresariales (Simpson y Taylor, 2002; Vorhies *et al*., 1999).

Las variables financieras en el sector del vino, están relacionadas con características especiales derivadas de su proceso de producción. Para las bodegas, no solo es importante el acceso a la financiación sino equilibrio corto/largo plazo de los fondos en base al plazo de devolución. Para este estudio se consideran: el endeudamiento, la liquidez, la solvencia y el flujo de caja.

Brush *et al*. (2000) y Rajan y Zingales (1995) señalan una relación negativa entre endeudamiento y rentabilidad, altos niveles de deuda no contribuyen a aumentar el rendimiento. Namiki (2013) señala que la liquidez tiene una influencia significativa y negativa en el desempeño de pequeñas empresas en la etapa inicial de una recesión, disminuyendo su efecto en la etapa posterior. Otros en cambio consideran que es un instrumento útil, junto con la liquidez y la capacidad de endeudamiento, para mejorar el rendimiento de las empresas (Bradley *et al*., 2011; Cheng y Kessner, 1997; Latham y Braun, 2008). Amendola *et al*. (2012) encuentran evidencia de que las

Tabla 4. Definición de las variables
Table 4. Variable definitions

Variables	Tipología	Descripción
Dependiente		
Desempeño Económico		
VA	Continua	Valor Añadido = Beneficio antes de intereses e impuestos + amortizaciones + gastos de personal
Rentabilidad		
ROA	Continua	Rentabilidad Económica = (Resultado antes de Intereses e Impuestos)/Activo Total
ROI	Continua	Rentabilidad Financiera = (Resultado antes de Intereses e Impuestos)/Fondos Propios
Rentabilidad del socio		
RS	Continua	Rentabilidad por socio = Compras/ Ventas
Independientes		
De entorno		
Edad	Continua	Número de años desde la constitución de la empresa
TAM(1)	Discreta	Tamaño (Activo):1 micro, 2 pequeña, 3 mediana, 4 grande
IT	Continua	Intensidad Tecnológica: Activo no corriente/Total de Ingresos
RE	Discreta	Riesgo Estratégico de la variable dependiente. Se calculan a partir de los cuartiles de las medidas de desempeño. Por lo tanto, la cooperativa i, en el periodo t, pertenece al k-ésimo cuartil (k = 1, 2, 3, 4) entonces RE_{kit} = 1 y los demás cuartiles son iguales a cero

(1) Recomendación 2003/361/CE de la Comisión: micro (< 2 mill. € Activo Total); pequeña (>2 y <10 mill. €, media (>10 y < 43 mil. €) y grande (+ 43 mil. €).

(2) Elaboración propia, mediante la puesta en contacto con cada cooperativa.

(3) Fuente: Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha (http://www.castillalamancha.es/).

(4) Las unidades de las variables continuas son euros.

Tabla 4. Definición de las variables (continuación)
Table 4. Variable definitions (continuation)

Variables	Tipología	Descripción
Comerciales		
CV	Continua	Crecimiento de las ventas: (Ventas $_{it}$ – Ventas $_{it-1}$) / Ventas $_{i,t-1}$
EXP	Discreta	Exportaciones: 1, la cooperativa sí exporta; 0: no exporta
SGM[2]	Discreta	Segmentación Mercado: 0, ventas a granel; 1 ventas de vino embotellado
Financieras		
LEV	Continua	Apalancamiento: Total de Deudas/ Recursos Propios
LIQ	Continua	Liquidez: Activo Circulante/Pasivo Circulante
ST	Continua	Solvencia: Activo Total/Recursos Ajenos
CF	Continua	Cash Flow: Beneficios netos + amortizaciones + provisiones
Ayudas Públicas[3]		
FEADER	Continua	Ayudas Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural (FEADER) 2007-2013.

[1] Recomendación 2003/361/CE de la Comisión: micro (< 2 mill. € Activo Total); pequeña (>2 y <10 mill. €, media (>10 y < 43 mil. €) y grande (+ 43 mil. €).

[2] Elaboración propia, mediante la puesta en contacto con cada cooperativa.

[3] Fuente: Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha (http://www.castillalamancha.es/).

[4] Las unidades de las variables continuas son euros.

empresas de Italia con mayor garantía y solvencia y menos endeudados con los bancos tienen mayor índice de supervivencia. Görg y Spaliara (2008) concluyen lo mismo para las empresas de Reino Unido y Francia. El desempeño de las empresas también está estrechamente asociado a su capacidad de generar flujo de caja (Guariglia *et al*., 2011). Hong *et al*. (2012) señalan que, para las empresas de China, la relación entre el flujo de caja libre y el desempeño financiero es negativa, es decir, un exceso de flujo de caja libre liderará el rendimiento financiero a declinar. En cambio, Yungchih (2010) obtiene una relación positiva entre ROA y el flujo de caja para unas empresas de Taiwan

Las Ayudas Públicas, están afectando al desempeño del sector. Como señala Bono *et al*. (2012), las medidas de apoyo FEADER han contribuido al desarrollo de las cooperativas vitivinícolas sobre la base de las regiones de Veneto (Italia) y de Castilla-La Mancha (España).

Material y Base de Datos

Para el estudio empírico del trabajo, se ha tomado como Base de Datos, la compuesta por cooperativas cuya actividad es la elaboración de vino (código 1102 del Registro Nacional de Actividades Económicas de España 2009) que operan en Castilla-La Mancha, en el periodo 2002-2011. Los datos se han obtenido de los Registros Provinciales de cooperativas de la región. Este período corresponde, en ciclo de crecimiento económico (2002-2006) y período de crisis (2007-2011). Es una muestra, integrada en un 98% por empresas de menor tamaño (micro, 22%, y pequeñas y medianas empresas, 76%). Esta muestra no supone problemas de significatividad para los resultados, dado que el error muestral representa el 0,2%, a un nivel de confianza del 95% según la fórmula de cálculo de error para poblaciones finitas, tomando como referencia la variable importe neto de la cifra de ventas para 2011.

Se conforma un panel no balanceado de datos para el período 2002-2011, en donde las variables especificadas para este estudio se recogen en la Tabla 4.

En la Tabla 5 se incluyen los estadísticos descriptivos de las variables. Como se puede observar, existe un rango muy amplio de variación de resultados, fundamentalmente por dos razones. En primer lugar, el periodo de tiempo analizado mezcla, una primera etapa hasta el año 2006 de crecimiento y bonanza económica, con un segundo periodo, a partir de 2007 de acusada crisis económica. En segundo lugar, hay que considerar las diferencias de tamaño de las cooperativas que forman parte de la base de datos, dado el elevado peso que las cooperativas de menor tamaño tienen en la base de datos objeto de estudio.

Al objeto de completar esta información y dada la disparidad de datos, se ha realizado el análisis Dupont de descomposición del beneficio (Figura 1). Mediante este análisis, se calcula el valor medio de los componentes de generación de valor para todo el periodo y para ambos sub-periodos. Después para establecer diferencias en las medias de ambos sub-periodos se aplicará el contraste no paramétrico de Mann-Whitney (Tabla 6). La razón ha sido el rechazo de la Hipótesis nula de Normalidad de las variables del análisis Dupont en la prueba de Kolmogorov-Smirnov, con p-valor inferior a 0,05 (Tabla 6).

Como se observa en dicha figura, las cooperativas de Castilla-La Mancha presentan valores de ROI negativos en el periodo de crecimiento y positivo en el de crisis y, además, existen diferencias significativas que explican su aumento, consecuencia de la reducción del apalancamiento financiero y del coste de la deuda.

Desde un punto de vista de proceso de producción, la caída de ROA es consecuencia de la caída de la rentabilidad de las ventas, que aparece reflejada en la caída del Valor Añadido

Tabla 5. Estadísticos descriptivos de las variables
Table 5. Descriptives of the variables

Variables	n	Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica
Dependientes					
RS	346	0,01	51,34	0,86	2,74
VA	346	-18462981	23779375	1636508	39149328
ROA	346	-1,99	10,21	0,14	0,64
ROI	346	-16,464	47,13	0,66	3,48
Independientes					
Continuas					
Edad	346	0	96	46,02	21,10
IT	346	0,05	46,59	0,83	2,41
CV	316	-0,99	11,72	0,11	0,78
LEV	346	-84,07	1516,8	7,0	82,98
LIQ	346	-1,01	28,47	1,34	1,86
ST	346	-137,84	36,33	1,78	8,08
CF	346	-18986786	23207212	1337311	3756403
FEADER	346	0	811470	20195	90804
			Frecuencia		
Discretas	(= 0)	(= 1)	(= 2)	(= 3)	(= 4)
TAM		89	197	54	6
RG(c4)	260	86			
RG(c3)	259	87			
RG(c2)	259	87			
EXP	147	199			
SGM	340	6			

RS: Rentabilidad por socio; VA: Valor añadido; ROA: Rentabilidad sobre Activos; ROI: Rentabilidad financiera; Edad: Años de constitución empresa; IT: Intensidad tecnológica; CV: Crecimiento ventas; LEV: Apalancamiento; LIQ: Liquidez; ST: Solvencia; CF: Tesorería; RG: Riesgo estratégico (en cada cuartil); EXP: Exportaciones; TAM: Tamaño; SGM: segmentación de mercado; FEADER: Fondo Europeo Agrario de Desarrollo Rural.

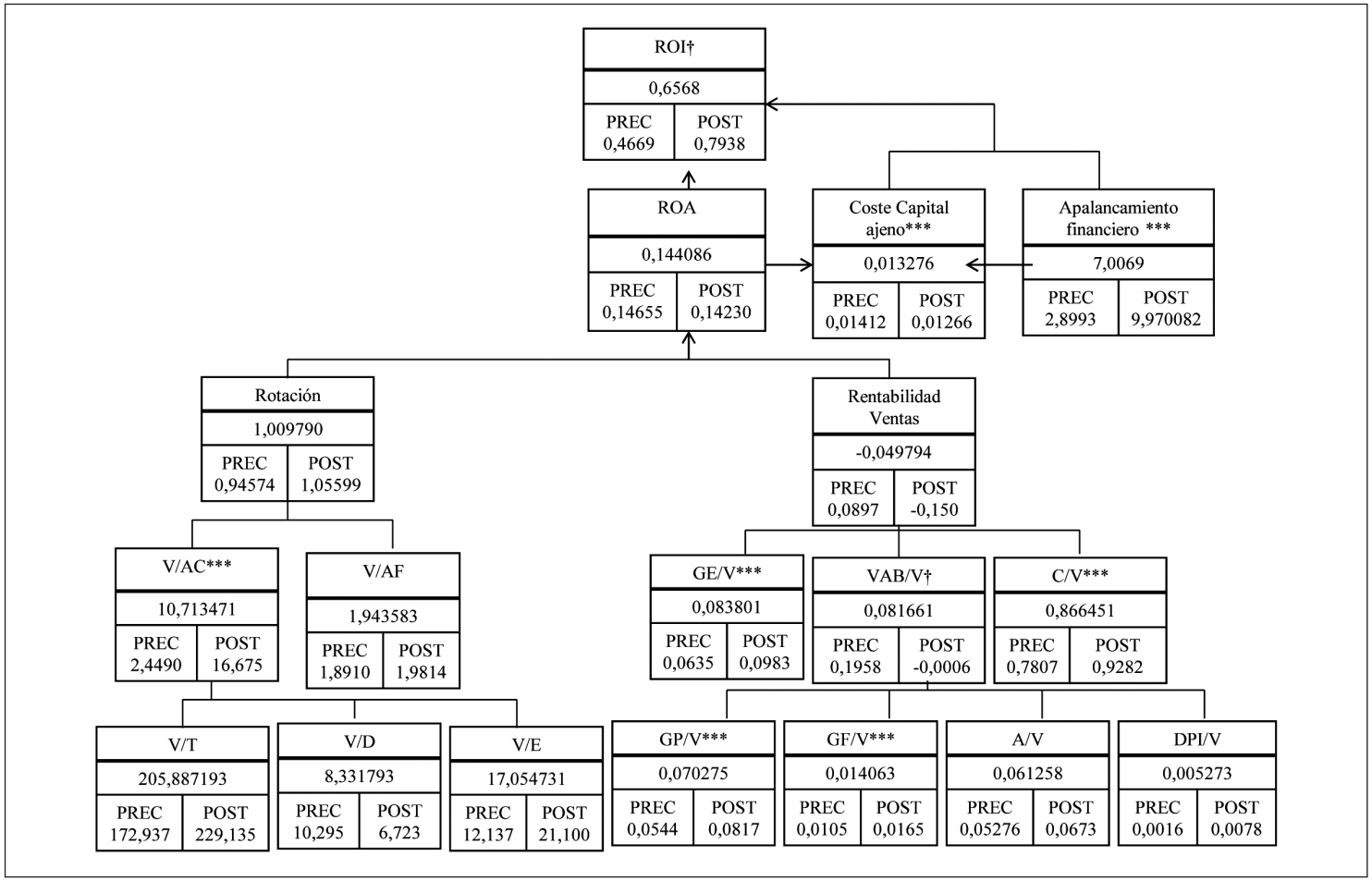


Figura 1. Análisis DuPont[¥].
ROA= Rentabilidad sobre Activos; ROI=Rentabilidad financiera; V: Ventas; AC: Activo circulante; AF: Activo fijo; GE: Gastos externos y de explotación; C: Compras; CF: Tesorería; VAB: Valor añadido bruto; D: Deudores; E: Existencias; GP: Gastos de personal; GF: Gastos financieros; A: Amortizaciones; DPI: Dotación a provisiones; PREC: Precrisis; POST: Postcrisis
† = P<0,10; *** = P<0,05 (según la significación asociada a la prueba U de Mann-Whitney de la Tabla 6).
[¥] Para una variable, el primer número es la media de la variable en el periodo (2002-2011), y los dos número de abajo son: el de la izquierda, la media de la variable en el periodo de crecimiento y el de la derecha la media de la varianza en el periodo de crisis.
Fuente: Pérez-Carballo *et al.* (2004).

Figure 1. Dupont Analysis.

Tabla 6. Prueba de Kolmogorov-Smirnov y de de Mann-Whitney
Table 6. Kolmogorv-Smirnov Test and Mann-Whitney Test

	Test			
	Kolmogorov-Smirnov[1]		Mann-Whitney[2]	
	Z	Sig. Asintót.[3]	U	Sig. asintót.[3]
Rentabilidad sobre activos (ROI)	5,94	0	12718	0,04
Rentabilidad financiera (ROA)	5,05	0	13386	0,20
Coste del capital ajeno	8,55	0	11933	0,004
Apalancamiento financiero	8,47	0	11701	0,002
Rotación	3,83	0	13333	0,18
Rentabilidad de las ventas	8,05	0	13541	0,26
Rotación activo circulante	8,39	0	12805	0,05
Rotación activo fijo	3,65	0	14419	0,87
GE[4]/Ventas	6,11	0	10338	$4{,}0e^{-06}$
Valor añadido bruto (VAB)/Ventas	8,04	0	12897	0,07
Compras/Ventas	7,92	0	11449	$7{,}0e^{-04}$
Ventas/Tesorería	6,83	0	12843	0,33
Ventas/Existencias	7,98	0	11937	0,42
Ventas/Deudores	6,35	0	12108	0,38
Gastos Personal (GP)/Ventas	6,26	0	9638	$7{,}7e^{-08}$
Gastos financieros (GF)/Ventas	3,83	0	12631	0,03
Activo/Ventas (A/V)	5,00	0	13116	0,11
Dotación a provisiones (DPI)/Ventas	8,23	0	14502	0,91

[1]Hipótesis Nula: el conjunto de datos siguen una distribución normal.

[2]Hipótesis Nula: no existen diferencias entre ambos subperiodos de tiempo.

[3]Significación asintótica (bilateral).

[4]Gastos externos y de explotación.

respecto a las ventas, así como el aumento del ratio compras sobre ventas. A este respecto señalar, que el aumento del ratio es consecuencia de una disminución de las ventas, no tanto de un aumento de los pagos de materia prima.

Metodología

Para el desarrollo del estudio se utilizó la técnica *Pooled Cross Section Time Series* como en los trabajos de Dewenter y Malatesta (2001),

Goddard *et al*. (2004), Aparaschivei *et al*. (2011). En concreto, se manejó la corrección Driscoll y Kraay (1998). Las razones fueron, en primer lugar la mejor adecuación a los datos disponibles, al tratarse de un panel de datos no balanceado y segundo garantizar una inferencia estadística válida ante una varianza no constante $\sigma_u^2 \neq cte$, y una correlación serial de los errores $Cov\,(u_j, u_l) \neq 0$, $\forall j = l$. Ante esta situación, como señala Hoechle (2007), las correcciones tradicionales resultan insuficientes. Driscoll y Kraay proponen una estimación de la matriz de varianzas y covarianzas de los parámetros estimados $\hat{\beta}$, que proporciona desviaciones típicas de robustas con heterocedasticidad y autocorrelación.

Así, para evaluar el efecto de los factores propuestos sobre el desempeño de la industria de elaboración de vino de Castilla-La Mancha y contrastar las hipótesis, se han planteado un modelo de Panel con la corrección de Driscoll y Kraay. La limitación principal que presenta este método es el no poder incluir términos fijos (ficticias) temporales y transversales con el fin de analizar el impacto concreto de los intervalos temporales y de los agentes económicos que intervienen.

Para explicar las diferencias de las variables de rendimiento entre los dos períodos: crecimiento y crisis, se estimaron dos modelos. Sustituyendo X_{kit} por el conjunto de variables exógenas se obtiene:

$$\begin{aligned} Y_{it} = \sum_{k=0}^{K} \beta_k X_{kit} + u_{it} = \beta_0 X_{oit} + \beta_1 Edad_{it} + \beta_2 TAM_{it} + \beta_3 IT_{it} + \\ \beta_4 RG(c4)_{it} + \beta_5 RG(c3)_{it} + \beta_6 RG(c2)_{it} + \beta_7 CV_{it} + \beta_8 EXP_{it} + \\ \beta_9 ORM_{it} + \beta_{10} LEV_{it} + \beta_{11} HF_{it} + \beta_{12} SV_{it} + \beta_{13} CF_{it} + \beta_{14} FEADER_{it} + u_{it} \end{aligned} \quad [1]$$

con t = 2002,2003, 2004, 2005, 2006 modelo bonanza y t = 2007, 2008, 2009 y 2011 modelo crisis; con i = 1, 2, …, 42.

La variable Y_{it} asume los valores de rentabilidad socio (RS), valor añadido (VA), rentabilidad económica (ROA) y rentabilidad financiera (ROI), en la expresión (1). Las variables independientes manejadas son diversas y se han clasificado en cinco grupos: 1. Variables de entorno: edad, tamaño (TAM), intensidad tecnológica (IT) y riesgo estratégico (RG(ck)), donde k = 1, 2, 3, 4, son los cuartiles de la variable Y_{it}). 2. Variables comerciales: tasa de crecimiento de las ventas (CV), exportaciones (EXP) y segmentación del mercado (SGM). 3. Variables financieras: apalancamiento (LEV), liquidez (LIQ), solvencia (ST) y flujo de caja (CF). 4. Ayudas Públicas de los Fondos europeos (FEADER).

La selección del método de estimación requiere tomar en consideración la naturaleza de la base de datos: 1) es un panel no balanceado porque no todas las cooperativas tienen observaciones en el periodo estudiado; 2) en el modelo se introducen variables exógenas ficticias (exportaciones, segmentación del mercado y los riesgos estratégicos) y 3) es un panel heterogéneo en el tiempo y en la sección cruzada. Este último punto lo identificamos con las pruebas de Wald para heterocedasticidad y la prueba Wooldridge para la autocorrelación[1] (Tabla 7). Por todas estas razones se utiliza la corrección de Driscoll y Kraay ya que este método corrige la estimación de los errores estándar de forma tal que sean consistentes con heterocedasticidad, autocorrelación y paneles no balanceados.

1. La prueba de correlación contemporánea no se pudo calcular por ser un papel altamente no balanceado.

Tabla 7. Prueba de Wald y Prueba de Wooldridge
Table 7. Wald Test and Wooldridge Test

	Prueba Wald		Prueba Wooldridge	
	chi2 (31)	Prob>chi2	F(1, 23)	Prob > F
Pre-crisis				
Valor añadido (VA)	$9{,}5e^{+29}$	0,0000	4,48	0,045
Rentabilidad sobre Activos (ROA)	$8{,}4e^{+31}$	0,0000	2,88	0,10
Rentabilidad financiera (ROI)	$2{,}1e^{+30}$	0,0000	2,62	0,12
Rentabilidad por socio (RS)	$1{,}9e^{+34}$	0,0000	2,71	0,11
Crisis				
Valor añadido (VA)	$3{,}1e^{+30}$	0,0000	27,87	0,0000
Rentabilidad sobre Activos (ROA)	$9{,}9e^{+4}$	0,0000	0,91	0,3450
Rentabilidad financiera (ROI)	$1{,}7e^{+35}$	0,0000	14,26	0,0005
Rentabilidad por socio (RS)	$3{,}7e^{+31}$	0,0000	1,24	0,2713

Resultados y discusión

Los resultados de estos análisis se recogen en la Tabla 8 y sobre ellos, se pueden extraer las siguientes apreciaciones a propósito del desempeño de las bodegas cooperativas.

Las variables de entorno, presentan el comportamiento esperado en las hipótesis teóricas. Así, la variable edad, no tiene relevancia en la explicación del desempeño económico de las cooperativas; al mismo resultado para pequeñas empresas llegan Begley y Boyd (1986), y Acar (1993). En el caso de la rentabilidad socio, son las cooperativas más antiguas las que están trasladando una mejor rentabilidad al socio, para ambas etapas del ciclo económico. El tamaño, está relacionado positivamente con el indicador de desempeño medido en valor absoluto (VA). Sin embargo, en el momento en el que se pone en referencia a través de medidas de rentabilidad (ROA y ROI), su impacto es negativo. Es decir, altos volúmenes de producción y venta no garantizan buenas medidas de desempeño relativo; sobre todo en empresas pequeñas como señalan Sánchez y García-Pérez (2003). Fu *et al*. (2002) llegan a la misma conclusión en un estudio para 1.276 pequeñas empresas de Taiwán. Si observamos cómo afecta el tamaño de la cooperativa a la Rentabilidad del Socio, los resultados difieren dependiendo del periodo analizado. Así, en periodos de bonanza y crecimiento, las bodegas cooperativas de mayor tamaño han proporcionado una mejor rentabilidad para el socio que las pequeñas. Sin embargo, en periodo de crisis, estas no pueden mantener esta rentabilidad ante la caída de ventas y por lo tanto, ofrecen peores parámetros de retribución a los socios que las bodegas de menor tamaño. Posiblemente, sea consecuencia de los gastos fijos se las bodegas de mayor tamaño. La intensidad tecnológica resulta significativa pero con signo negativo para el desempeño económico, en consonancia de lo que apuntan Segarra y Teruel (2007), por los obstáculos a los

Tabla 8. Resultados[1] del desempeño en Bodegas Cooperativas
Table 8. Performance results of the coop-wineries

	Valor añadido (VA)		Rentabilidad sobre activos (ROA)		Rentabilidad financiera (ROI)		Rentabilidad Socio	
	Pre-crisis	Crisis	Pre-crisis	Crisis	Pre-crisis	Crisis	Pre-crisis	Crisis
Edad[2]	770,97	-74,04	-0,0007	0,0003	-0,004	-0,001	0,0006	0,003
	(2,30)	(-0,31)	(-0,63)	(0,88)	(-1,24)	(-0,08)	(4,17)**	(2,04)†
Tamaño (TAM)	229.802	241.230	-0,13	-0,045	-0,45	-0,041	0,065	-0,34
	(7,04)***	(10,40)***	(-7,36)***	(-2,69)**	(-5,46)***	(-0,56)	(5,47)***	(-2,26)†
Intensidad tecnológica (IT)	-30.400	-3.048	-0,13	0,0002	-0,52	0,009	0,10	-0,02
	(-3,21)**	(-1,12)	(-1,24)	(0,57)	(-2,01)†	(0,63)	(2,63)**	(-1,66)
Riesgo estratégico (cuartil 4)	142.695	150.743	0,14	0,51	0,36	3,76	0,53	1,85
	(3,55)**	(2,43)†	(0,71)	(7,14)***	(1,09)	(3,17)**	(5,47)***	(2,50)**
Riesgo estratégico (cuartil 3)	58.657	-26.211	0,063	0,20	0,014	1,08	0,44	0,56
	(5,01)***	(-0,78)	(1,08)	(12,06)***	(0,19)	(3,86)**	(4,95)***	(3,97)**
Riesgo estratégico (cuartil 2)	13.654	-27.089	0,11	0,13	0,04	0,89	0,39	0,45
	(0,79)	(-0,77)	(0,71)	(6,11)***	(0,76)	(5,40)***	(4,51)**	(2,66)**
Crecimiento ventas (CV)	-4.948	-10.3467	0,62	0,11	1,21	-0,07	0,02	1,52
	(-0,45)	(-5,91)***	(6,43)***	(2,05)	(5,17)***	(-0,33)	(1,39)	(2,13)†
Exportaciones (EXP)	19.883	92.295	-0,016	-0,017	0,05	-0,04	-0,009	-0,566
	(2,60)†	(12,15)***	(-0,14)	(-0,73)	(0,22)	(-0,09)	(-0,31)	(-2,17)†

[1]Entre paréntesis los estadísticos t de los coeficientes estimados.

[2]Años de constitución empresa.

[3]Fondo Europeo Agrario de Desarrollo Rural.

† = P<0,10; ** = P<0,05; *** = P<0,001.

Tabla 8. Resultados[1] del desempeño en Bodegas Cooperativas (continuación)
Table 8. Performance results of the coop-wineries (continuation)

	Valor añadido (VA)		Rentabilidad sobre activos (ROA)		Rentabilidad financiera (ROI)		Rentabilidad Socio	
	Pre-crisis	Crisis	Pre-crisis	Crisis	Pre-crisis	Crisis	Pre-crisis	Crisis
Segmentación de mercado (SGM)	-72.489	30.532	0,17	0,01	0,67	0,23	0,08	0,004
	(-5,30)***	(0,47)	(3,07)**	(0,35)	(3,87)**	(0,59)	(1,03)	(0,01)
Apalancamiento (LEV)	-502.959	-82.617	-0,29	-0,04	0,22	1,02	-0,53	-0,52
	(-13,67)***	(-3,07)**	(-1,15)	(-0,65)	(0,39)	(0,86)	(-5,37)***	(-2,80)†
Liquidez (LIQ)	-20.315	1.993	0,005	-0,009	0,016	-0,010	-0,017	-0,001
	(-5,86)***	(1,04)	(0,12)	(-2,90)**	(0,29)	(-0,31)	(-1,44)	(-6,37)***
Solvencia (ST)	-18.077	1.771	-0,12	0,002	-0,15	0,023	-0,07	-0,06
	(-1,60)	(3,51)**	(-1,74)†	(0,77)	(-0,95)	(0,90)	(-3,39)**	(-1,62)
Tesorería (CF)	1,00	1,01	$1,13e^{-07}$	$4,79e^{-08}$	$3,15e^{-07}$	$1,92e^{-07}$	$-4,70e^{-08}$	$2,26e^{-08}$
	(129,77)***	(230,45)***	(5,83)***	(5,31)***	(7,38)***	(2,15)†	(-3,73)**	(0,76)
FEADER[3]		0,61		$-1,91e^{-07}$		$-1,50e^{-06}$		$9,12e^{-07}$
		(5,61)***		(-2,90)**		(-1,33)		(1,23)
Constante	100.191	-182.257	0,64	-0,03	1,26	-1,37	0,74	1,90
	(1,54)	(-3,52**)	(1,84)	(-0,43)	(1,27)	(-1,64)	(5,80)***	(1,96)
F	222,38	77,23	145,20	204,89	72,73	33,27	23,12	37,48
Prob > F	0,0000	0,0004	0,0001	0,0001	0,0004	0,0020	0,0040	0,0016
R Cuadrado	0,9972	0,9969	0,8901	0,7780	0,8677	0,2375	0,8035	0,832
Raíz Cuadrada del Error Cuadrático Medio	$1,4e^{+05}$	$2,5e^{+05}$	0,3323	0,1926	0,8225	3,7740	0,1485	3,6357

[1]Entre paréntesis los estadísticos t de los coeficientes estimados.

[2]Años de constitución empresa.

[3]Fondo Europeo Agrario de Desarrollo Rural.

† = P<0,10; ** = P<0,05; *** = P<0,001.

que se enfrentan las empresas de menor tamaño, en el acceso a fuentes de financiación. Señalar que en el periodo de bonanza económica, la intensidad tecnológica ha afectado positivamente a la rentabilidad del socio, esto puede ser consecuencia de las inversiones en modernización de las instalaciones acometidas por estas bodegas. Aun así, en periodo de crisis, son las bodegas cooperativas las que presentan relaciones positivas entre la rentabilidad del socio y la intensidad tecnológica. El riesgo estratégico de las cooperativas nos indica que a menor desempeño más riesgo, en todas las medidas para el periodo anterior a la crisis. Sin embargo, en el periodo de crisis, esta relación no se cumple, lo que indica que se están produciendo evoluciones no previstas en la medición del parámetro rentabilidad-riesgo. La Rentabilidad del Socio, es la única medida de desempeño que mantiene la coherencia entre rentabilidad-riesgo en ambos periodos analizados. Es importante señalar, que la ausencia de coherencia entre la relación rentabilidad-riesgo, podría estar indicando la existencia de Paradoja de Bowman, resultados ya encontrados en otros trabajos (Gschwandtner, 2012). Es decir, que la Rentabilidad del Socio, captura a través de esta medida las decisiones de rentabilidad / riesgo realizadas por las bodegas, cumpliendo el postulado, por el que a mayor rentabilidad mayor riesgo (medido como dispersión del mismo) y, por lo tanto, no existen comportamientos anómalos en la toma de decisiones.

El comportamiento de las variables comerciales, está siendo más errático si se compara los periodos de bonanza y crisis económica. El crecimiento de las ventas afecta de manera desigual a las distintas medidas de desempeño, ya que presenta resultados positivos en el periodo pre-crisis para el ROA y ROI y tan solo mantiene esta tendencia en el periodo de crisis para la Rentabilidad del Socio, lo que indica que el aumento en la cifra de ventas, se traslada de forma efectiva a los socios, incluso en momentos de crisis económica. Esto viene avalado por los resultados recogidos en el informe de la Cooperativas Agro-alimentarias (2014), en el que el sector cooperativo agroalimentario de Castilla-La Mancha está demostrando su robustez para aguantar la crisis.

Las exportaciones son un elemento positivo para la comercialización de producto en un momento de sobreoferta y caída de consumo de vino. Sin embargo, si consideramos el impacto que esta variable tiene en las medidas de desempeño se observa, como este es negativo. Esto nos indica que el esfuerzo comercializador en términos de producción, no se ve reflejado en el desempeño económico (signo negativo). Esto implica que en el momento en el que remonte la actividad económica, las bodegas cooperativas deberán realizar un importante esfuerzo para manteniendo la comercialización en niveles de producción, trabajar una mejora de precios que lleve a la mejora del desempeño económico de las mismas.

La segmentación al mercado tan solo ha permitido obtener impacto positivo en el desempeño en los periodos de bonanza económica, no así en el periodo de crisis. Es necesario tener en cuenta, el importante peso que las ventas de vino a granel representan en el sector cooperativo, ya que en el 98% de las cooperativas de la muestra las ventas de vino a granel superan las de vino embotellado. Y dado que el precio medio de venta del granel es inferior al vino embotellado, esta situación afecta de forma negativa al desempeño de las bodegas. En el periodo de crisis, las bodegas cuya orientación de mercado ha sido el embotellado, han conseguido trasladar una mejora a la rentabilidad del socio, aunque con un impacto reducido sobre la misma. Este comportamiento, junto con el de las exportaciones nos indica la necesidad de realizar un importante esfuerzo en política de precios.

Las variables financieras, son clave para comprender las estrategias adoptadas por las bo-

degas y como su situación financiera les permite adaptarse a las distintas fases del ciclo económico.

El nivel de endeudamiento de las cooperativas se mantiene en el periodo de crisis, lo que ha supuesto una reducción en el desempeño, es en este caso donde la Rentabilidad del Socio, actúa como amortiguador entre la política de recursos propios y recursos ajenos. Este balanceo entre ambos tipos de recursos, explica el comportamiento errático de las variables de solvencia total y flujo de caja, ya que se producen decisiones de traspasos de fondos en base al acceso al mercado de capitales, consecuencia de la restricción financiera en el periodo de crisis económica, coincidiendo con los resultados obtenidos por Namiki (2013), en empresas pequeñas y en plena recesión. Por último, se obtienen los mismos resultados que en Bono *et al*. (2012) respecto al impacto positivo de las medidas de apoyo FEADER, ya que estas han contribuido al desarrollo de las cooperativas vitivinícolas de Castilla-La Mancha.

En conclusión, el impacto que el ciclo de crisis está teniendo en la actividad económica está siendo muy relevante y también afecta de forma importante a las bodegas cooperativas de Castilla-La Mancha. En este trabajo, se ha analizado cual está siendo la respuesta de este sector ante un periodo largo de recesión, más de 7 años.

De los resultados obtenidos a partir del análisis de los estados financieros de las cooperativas vitivinícolas, se puede observar cómo están coexistiendo dos tipos de estrategias para intentar la supervivencia de las empresas y la transmisión de rentas a los socios cooperativistas. Por una parte y desde el periodo de bonanza económica, la modificación de la regulación comunitaria (Reglamento (CE) nº 1698/2005) ha supuesto un cambio en las estrategias comerciales adoptadas por las bodegas. En este periodo las bodegas han realizado un notable esfuerzo comercial, tanto en crecimiento de ventas, exportaciones, como segmentación del mercado hacia el embotellado. Esta decisión les ha permitido colocar importantes volúmenes de producción que de otra forma hubieran sido destinados a destilación. Esta política, para que fuera posible implicó una estrategia de precios muy agresiva, que como se ve en los resultados no está afectando todo lo positivo que hubiera sido deseable en las medidas de desempeño. Sin embargo, se puede afirmar que esto mismo es lo que les está permitiendo sobrevivir en un periodo de crisis. Las cooperativas se han adaptado a la nueva situación, mostrando su viabilidad en el largo plazo. En el contexto comercial las exportaciones han sido un recurso en el periodo de crisis, aunque el vino a granel sigue orientado a su mercado.

Indudablemente, conforme crezca la actividad económica, las bodegas deberán realizar un importante esfuerzo en configurar una nueva política de precios, pero ya en un mercado donde la producción se está asentando.

En el ámbito financiero, las cooperativas de Castilla-La Mancha muestran una aceptable salud financiera que se ha mantenido en el periodo de crisis. Al contrario de los resultados obtenidos por Carmona *et al*. (2013), que aprecia un empeoramiento de la situación financiera, para el conjunto de sociedades cooperativas españolas. Por último, señalar que las ayudas FEADER para la mejora de las infraestructuras de las cooperativas han resultado significativas y propiciado el proceso de adaptación y de redefinición de las estrategias. En comparativa con las sociedades capitalistas, en un estudio centrado también en Castilla-La Mancha (Simón *et al*., 2014), las mayores diferencias se encuentran en una estructura financiera mucho más dañada, por el efecto crisis, en las sociedades capitalistas que en las cooperativas. Como estrategias comerciales, las exportaciones en las cooperativas han resultado más dinámicas que en las sociedades capitalistas.

Agradecimientos

Los autores agradecen la financiación para esta investigación del Proyecto Regional de Castilla-La Mancha (PPII10-0158-0569), financiado con los Fondos FEDER de la Unión Europea, y del Proyecto del Plan Nacional de I+D+i, del Ministerio de Ciencia e Innovación (ECO2010-21242-C03-03).

Bibliografía

Acar AC (1993). The impact of key international factors on firm performance: an empirical study of small Turkish firms. Journal of Small Business Management 31(4): 86-91.

Altinkemer K, Ozcelik Y, Ozdemir ZD (2011). Productivity and performance effects of business process reengineering: a firm-level analysis. Journal of Management Information Systems 27(4): 129-161.

Amadieu P, Viviani JL (2010). Intangible effort and performance: the case of the French wine industry. Agribusiness 26(2): 280-306.

Amendola A, Ferragina AM, Pittiglio R, Reganati F (2012). Are exporters and multinational firms more resilient over a crisis? First evidence for manufacturing enterprises in Italy. Economics Bulletin 32(3): 1914-1926.

Aparaschivei L, Vasilescu MD, Câtâniciu N (2011). The impact of investments and gross value added upon earnings. Theoretical and Applied Economics XVIII 2(555): 207-218.

Arcas-Lario N, Martín-Ugedo JF, Mínguez-Vera A (2013). Satisfacción de los socios con las cooperativas agrarias. Una explicación a partir de la Teoría de los Derechos de Propiedad. Información Técnica Económica Agraria 109 (4): 443-457.

Baamonde E (2009). El cooperativismo agroalimentario. Mediterráneo Económico 15: 229-246.

Bagnoli L, Megali C (2011). Measuring performance in social enterprises. Nonprofit and Voluntary Sector Quarterly 40(1): 149-165.

Begley TM, Boyd DP (1986). Executive and corporate correlates of financial performance in smaller firms. Journal of Small Business Management 24(2): 8-15.

Bono P, Castillo Valero JS, Iliopoulos C (2012). Case study report; Structure and strategy of wine cooperatives: comparing Veneto, Italy to Castilla-La Mancha, Spain. Disponible en http://edepot.wur.nl/244926 (13 marzo 2014).

Bowman EH (1980) A risk/return paradox for strategic management. Sloan Management Review 21: 17-31.

Bradley SW, Shepherd DA, Wiklund J (2011). Swinging a double-edged sword: The effect of slack on entrepreneurial management and growth. Journal of Business Venturing 26(5): 537-554.

Brush T, Bromiley P, Hendrickx M (2000). The free cash flow hypothesis for sales growth and firm performance. Strategic Management Journal 21: 455-472.

Carmona P, Martínez J, Pozuelo J (2013). Diagnostico económico-financiero de la empresa cooperativa. (Un estudio comparado de los años 2004 y 2007). REVESCO 110: 43-95.

Castaldi RM, Sengupta S, Silverman M (2003). Improving export performance: the case of the US wine industry. Journal of Global. Marketing. 17(1): 45-56.

Cheng JLC, Kessner IF (1997). Organizational slack and responses to environmental shifts: the impact of resource allocation patterns. Journal of Management 23: 1-18.

Chinnici G, Pecorino B, Rizzo M, Rapisarda P (2013). Evaluation of the performances of wine producers in Sicily. Food Safety Management 14(35): 108-113.

Chou PH, Chou RK, Ko KC (2009). Prospect theory and the risk-return paradox: some recent evidence. Review of Quantitative and Finance and Accounting 33: 193-208.

Cooperativas Agro-alimentarias (2014). Estudio sectorial del cooperativismo agroalimentario de Castilla-La Mancha. Disponible en http://www.agroalimentariasclm.coop/ (20 enero 2014).

Cuervo A (1993). El papel de la empresa en la competitividad. Papeles de Economía Española 56: 363-378.

Das S, Sen PK, Sengupta S (1998). Impact of strategic alliances on firm valuation. Academy of Management Journal 41(1): 27-41.

Dewenter KL, Malatesta PH (2001). State-owned and privately owned firms: an empirical analysis of profitability, leverage, and labor intensity. The American Economic Review 91(1): 320-334.

Díaz-Barceló A (2007). Un análisis financiero comparado de cooperativas vitivinícolas de Castilla La Mancha con las empresas de los principales países productores de la Unión Europea. Universidad Politécnica de Madrid. Tesis Doctoral.

Dobbs M, Hamilton RT (2007). Small business growth: recent evidence and new directions. International Journal of Entrepreneurial Behaviour & Research 13(5): 296-322.

Driscoll J, Kraay AC (1998). Consistent covariance matrix estimation with spatially dependent data. Review of Economics and Statistics 80: 549-560.

Fiegenbaum A (1990). Prospect theory and the risk-return association: an empirical examination in 85 industries. Journal of Economic Behavior and Organization 14: 187-203.

Fischer C, Schornberg S (2007): Assessing the competitiveness situation of EU food and drink manufacturing industries: An index-based approach. Agribusiness 23(4): 473-495.

FEGA (2013). Fondo Español de Garantía Agraria. Disponible en: http://www.fega.es/PwfGcp/es/

Fu TW, Ke MC, Huang YS (2002). Capital growth, finance source and profitability of small businesses: evidence from Taiwan small enterprises. Small Business Economics 18(4): 257-267

García-Fuentes PA, Ferreira G, Lynn P (2012). Economic performance of U.S. multinational agribusinesses: foreign direct investment and firm strategy. Agribusiness 29(2): 242-255.

Gardebroek C, Turi KN, Wijnands JHM (2010). Growth dynamics of dairy processing firms in the European Union. Agricultural Economics 41: 285-291.

Gilinsky A, Lopez RH, Santini C, Eyler R (2010). Big bets, small wins? Entrepreneurial behavior and ROI. International Journal of Wine Business Research 22(3): 238-250.

Goddard J, Molyneux P, Wilson J (2004). The profitability of European banks: a cross-sectional and dynamic panel analysis. The Manchester School 72(3): 363-381.

Görg H, Spaliara ME (2008). Financial health, exports, and firm survival: A comparison of British and French firms. WP 2008 – 18. Loughborough University. 38 pp.

Gschwandtner A (2012). Evolution of profit persistence in the USA: Evidence from three periods. The Manchester School 80(2): 172-209.

Guariglia A, Liu X, Song L (2011). Internal finance and growth: microeconometric evidence on Chinese firms. Journal of Development Economics 96: 79-94.

Guzmán I, Arcas N, Ghelfi R, Rivaroli S (2009). Technical efficiency in the fresh fruit and vegetable sector: a comparison study of Italian and Spanish firms. Fruits 64(4): 1-10.

Hoechle D (2007). Robust standard errors for panel regressions with cross-sectional dependence. The Stata Journal 7(3): 281-312.

Hong Z, Shuting Y, Meng Z (2012). Relationship between free cash flow and financial performance evidence from the listed real estate companies in China. IPCSIT 36: 331-335.

Jarvis R, Curran J, Kitching J, Lightfoot G (2000). The use of quantitative and qualitative criteria in the measurement of performance in small firms. Journal of Small Business and Enterprise Development 7(2): 123-134.

JCCM (2014). http://www.castillalamancha.es/clm/economia/unaregionquetrabajayemprende

Kalogeras N, Pennings J, Benos T, Doumpos M (2013). Which cooperative ownership model performs better? A financial-decision aid approach. Agribusiness 29(1): 80-95.

Latham S, Braun M (2008). The performance implications of financial slack during economic recession and recovery: observations from the software industry (2001-2003). Journal of Managerial Issues 20(1): 30-52.

Lee S, Xiao Q (2011). An examination of the curvilinear relationship between capital intensity and firm performance for publicly traded U.S. hotels and restaurants. International Journal of Contemporary Hospitality Management 23(6): 862-880.

MAGRAMA (2013). Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, http://www.magrama.gob.es/es

Mata J, Portugal P (1994). Life duration of new firms. Journal of Industrial Economics 42: 227-246.

Maurel C (2009). Determinants of export performance in French wine SMEs. International Journal of Wine Business Research 21(2): 118-142.

Melián A, Millán G. (2007). El cooperativismo vitivinícola en España. Un estudio exploratorio en la denominación de origen de Alicante. REVESCO 93: 39-67.

Namiki N (2013). The performance implications of financial slack and its reduction during the great recession: the case of small-sized Japanese electronics companies. The Clute Institute: 188-196.

Narver JC, Slater SF (1990). The effect of a market orientation on business profitability. Journal of Marketing 54 (4): 20-35.

Observatorio Español del Mercado del Vino (2013). Disponible en: http://www.oemv.es/esp/-oemv.php

Pérez-Carballo A, Pérez-Carballo J y Vela E (2004): Principios de gestión financiera de la empresa. Ed. Alianza Universidades.

Rajan R, Zingales L (1995). What do we know about capital structure? Some evidence from international data. Journal of Finance, American Finance Association 50(5): 1421-60.

Reijonen H, Laukkanen T, Komppula R, Tuominen S (2012). Are growing SMEs more market-oriented and brand-Oriented? Journal of Small Business Management 50(4): 525-716.

Ritchie WJ, Kolodinsky RW (2003). Nonprofit organization financial performance measurement. An evaluation of new and existing financial performance measures. Nonprofit Management & Leadership 13: 367-381.

Ruíz AR (2013). El viñedo en espaldera: nueva realidad en los paisajes vitivinícolas de Castilla-La Mancha. Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles 63: 249-270.

Sainz A (2002). Análisis de los factores explicativos del éxito empresarial: una aplicación al sector de denominación de origen calificada Rioja. Universidad de La Rioja. Servicio de Publicaciones. Tesis Doctoral.

Sánchez JP, García-Pérez D (2003). Influencia del tamaño y la antigüedad de la empresa sobre la rentabilidad: un estudio empírico. Revista de Contabilidad 6(129): 169-206.

Schiefer J, Hartmann M (2008). Determinants of competitive advantage for Germanfood processors. Agribusiness 24(3): 306-319.

Segarra AB, Teruel MC (2007). Creación y supervivencia de las nuevas empresas en las manufacturas y los servicios. Economía Industrial 363: 47-58.

Sellers-Rubio R (2010). Evaluating the economic performance of Spanish wineries. International Journal of Wine Business Research 22(1): 73-84.

Simón K, Castillo JS, García MC (2014). Economic performance and the crisis: strategies adopted by the wineries of Castilla-La Mancha (Spain). Agribusiness. doi: 10.1002/agr.21392

Simón, K. (1996) Las cooperativas agrarias en Navarra: un enfoque empresarial. Ed. Caja Rural.

Simpson M, Taylor N (2002). The role and relevance of marketing in SMEs: towards a new model. Journal of Small Business and Enterprise Development 9: 370-382.

Vargas A, García E (2003). La medición del desempeño de las sociedades cooperativas agrarias. Perspectiva de los directores-gerentes de las provincias de Huelva y Jaén. Revista economía pública, social y cooperativa 46: 85-116.

Vorhies GW, Harker M, Rao CP (1999). The capabilities and performance advantages of market-driven firms. European Journal of Marketing 33: 1171-1202.

Wong H, Merrilees B (2008). The performance benefits of being brand oriented. Journal of Product & Brand Management 17: 372-383.

Yungchih G (2010). The impacts of free cash flows and agency costs on firm performance. Journal of Service Science & Management 3: 408-418.

(Aceptado para publicación el 17 de octubre de 2014)

PREMIOS DE PRENSA AGRARIA 2015
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 2015. 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 (2015)

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, Economía agroalimentaria. Se aceptan contribuciones en formato de artículo de investigación, de revisión o de nota técnica. El envío de un artículo implicará que el mismo no haya sido publicado o enviado para publicar en cualquier otro medio de difusión o lenguaje, 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/). 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 una carta de presentación en la que figure el título, los autores y un listado con 4 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 2 revisores que conocerán la identidad de los autores, no así al contrario. En caso de que las evaluaciones de los 2 revisores difieran significativamente, el manuscrito podrá ser enviado a un tercer revisor. 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, estarán obligados a modificar el artículo en el plazo de 3 meses desde su comunicación, antes de que sea aceptado definitivamente. Los manuscritos revisados se enviarán a través de la página web de AIDA. 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 justificarlo debidamente al editor. 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. Preparación del manuscrito

Los artículos de investigación y las revisiones tendrán una extensión máxima de 30 páginas a doble espacio en hojas de tamaño DIN A4, tablas y figuras incluidas. Se utilizará la fuente Times New Roman (tamaño 12), se numerarán las líneas de manera consecutiva y las páginas, y se fijarán cuatro márgenes de 2,5 cm. Las referencias bibliográficas, tablas y figuras se incluirán en hojas separadas.

Los manuscritos incluirán en la primera página:

- Título: 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. En caso de que pertenezcan a distintas instituciones, indicar a cada autor con números superíndices diferentes. Si un autor desea aparecer con dos apellidos, éstos deberán unirse con un guión.
- Nombre y dirección postal profesional de los autores. Si se quiere poner la dirección actual, deberá indicarse con una letra minúscula como superíndice.
- Correo electrónico del autor a quien se va a dirigir la correspondencia

Ejemplo:

J. Smith[1,a],* P.E. Jones[2], J.M. Garcia[1,3] and P.K. Martin Jr[2]

[1]Department of Animal Nutrition, Scottish Agricultural College, West Main Road, Edinburgh EH9 3JG, Reino Unido

[2]Animal Science Department, North Carolina State University, Raleigh, NC 27695-7621, EE. UU.

[3]Laboratorio de Producción Animal, Facultad de Veterinaria, Universidad de Zaragoza, C. Miguel Servet, 177, 50013, Zaragoza, España

[a]Dirección actual: Dairy Science Laboratory, AgResearch, Private Bag 11008, Palmerston North, Nueva Zelanda

*Autor para correspondencia: jsmith@edi.uk

El manuscrito incluirá a continuación:

- Resumen, que deberá tener un máximo de 250 palabras, e incluirá brevemente los objetivos del trabajo, el material y métodos, 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.
- Apartados de los artículos de investigación: Introducción, Materiales y métodos, Resultados, Discusión y Referencias bibliográficas (ver especificaciones en el siguiente apartado), tablas y figuras. Los resultados y discusión se pueden presentar de manera conjunta.

Las notas técnicas, referidas a trabajos experimentales de extensión reducida, no excederán de 2.000 palabras, incluidas Tablas y/o Figuras, y deberán incluir la traducción al inglés del Título del artículo, Resumen, Palabras clave, título de tablas y pie de figuras.

3. Apartados del manuscrito

El formato de títulos de los apartados será en negrita, pero el de los subapartados no.

- **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, valores medios y medidas de variabilidad.
- **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 tener la mayor información.
- **Discusión**: deberá interpretar los resultados obtenidos, teniendo en cuenta además otros trabajos publicados. Finalizará indicando las conclusiones a las que han llegado los autores del manuscrito, así como las posibles implicaciones prácticas que de ellas puedan derivarse.
- **Agradecimientos**: podrá 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 60 citas en los artículos de investigación. En las revisiones podrán figurar las citas que sean necesarias. En el manuscrito, se mantendrá el orden cronológico en caso de citar varios autores. Las referencias 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)

Los nombres de entidades u organismos que figuren como autores, por ejemplo Dirección General de la Producción Agraria (DGPA), deberán citarse completos en la Bibliografía la primera vez. Las referencias múltiples se harán según se indica en el siguiente ejemplo: (Martínez et al., 1971 y 1979). Se añadirá una letra al año de publicación para identificar artículos del mismo autor y del mismo año (2012a, b). La cita podrá formar parte de la frase en el texto, como sigue "como indicaban Gómez *et al*. (1969)".

Al final del trabajo se citarán en orden alfabético por autor todas las referencias utilizadas en el texto. Se podrán citar trabajos "en prensa", siempre que el documento haya sido aceptado 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 cita bibliográfica (artículo, libro, capítulo de libro, acta de Congreso, fuente electrónica, documento de trabajo, documento legal).

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. JG Cunningham), pp. 430-467. W.B. the Saunders Company, an Elsevier imprint.

Libro

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

Acta de congreso

– Bispo E, Franco D, Monserrat L, González L, Pérez N, Moreno T (2007). Economic considerations of cull dairy cows fattened for a special market. Proceedings of 53rd International Congress of Meat Science and Technology, 5-10 agosto 2007, Beijing, China, pp. 581-582.

Fuente electrónica

– FAO (2011). Food and Agriculture Organization statistical database. Disponible en http://faostat.fao.org/default.aspx (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.

En la pagina web de AIDA se puede descargar el fichero de estilo de endnote "ITEA.ens".

- **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. Se incluirán en el mismo documento, pero en hojas separadas al texto, y señalando su emplazamiento aproximado. 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 no se usarán tabulaciones. 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	Tipo de carne	Origen	Sistema
1	22 €/kg	Lechal	Nacional	Convencional
2	22 €/kg	Cebo	Extranjero	Ecológico
3	18 €/kg	Lechal	CLM	Ecológico
4	18 €/kg	Ternasco	Extranjero	Convencional
5	18 €/kg	Cebo	Nacional	Convencional
6	14 €/kg	Lechal	Extranjero	Convencional
7	14 €/kg	Cebo	CLM	Convencional
8	22 €/kg	Ternasco	CLM	Convencional
9	14 €/kg	Ternasco	Nacional	Ecológico

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 en las gráficas 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.

4. 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 latinos de géneros, especies y variedades se indicarán en cursiva y los nombres de cultivares entre comillas simples (p. ej. 'Sugar Baby').
- 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. H2SO4 en vez de SO4H2) y los nombres comerciales comenzarán con mayúscula (p.ej. Foligón).
- 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 111
Número 2
Junio 2015

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