itea

información técnica económica agraria

REVISTA DE LA ASOCIACIÓN INTERPROFESIONAL PARA EL DESARROLLO AGRARIO



Volumen 110

Número 2

Junio 2014

AIDA

www.aida-itea.org

itea

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

2014 - AÑO XLIX
Vol. 110 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: 1699-6887
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: 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
Pere Albertí, CITA de Aragón. 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 2014 es de 42 €. Se acepta el intercambio con otras revistas. E-mail: jmoreno@aragon.es



Foto: Mireia Blanco, texto de portada: Marga Joy

Las plantas presentan una gran variedad de compuestos secundarios para protegerse contra los ataques de insectos y microorganismos, modulando selectivamente las poblaciones microbianas del rumen. Ello permite una mejora de la fermentación ruminal y del metabolismo nitrogenado, así como una disminución de la producción de metano, lo que conlleva a una mejora de la productividad y la salud de los animales. Dentro de los metabolitos secundarios, son de interés los taninos condensados, ya que tienen un efecto positivo sobre la calidad de la carne y de la leche. Pueden afectar al color y composición en ácidos grasos, especialmente en la biohidrogenación de dichos ácidos en rumen. Los taninos condensados están presentes en múltiples especies forrajeras locales, como son la esparceta (en la foto), la zulla o el trébol subterráneo, cuyo uso es de gran interés tanto a nivel ambiental como de sostenibilidad de la explotación y de la productividad del animal.

Sumario

Producción Vegetal

Caracterización edáfica y distribución de ^{137}Cs en perfiles de suelos representativos de agrosistemas mediterráneos de montaña.
Edaphic characterization and distribution of ^{137}Cs of representative soil profiles on mountainous Mediterranean agroecosystems.
L. Gaspar, A. Navas, J. Machín, M. López-Vicente y J. Gómez-Arozamena 123

Manejo básico y resultados preliminares de crecimiento y supervivencia de tencas (*Tinca tinca* L.) y lechugas (*Lactuca sativa* L.) en un prototipo acuapónico.
*Basic operations and preliminary results on the growth and survival rates of tench (*Tinca tinca *L.) and lettuce (*Lactuca sativa *L.) in an aquaponic prototype*.
J.R. Lobillo, V.M. Fernández-Cabanás, E. Carmona y F.J. Candón L. 142

Producción Animal

Características de la canal y efecto de la maduración sobre la calidad de la carne de ovejas de desvieje de raza Corriedale.
Carcass and meat characteristics of cullewes from Corriedale breed.
D. Civit, M.D. Díaz, E. Rodríguez y C.A. González 160

Causas de eliminación en rebaños bovinos lecheros de raza frisona en Control Lechero Oficial.
Reasons for culling among Holstein dairy cattle in herds in the Dairy Herd Improvement Program.
R. Fouz, E. Yus, M.L. Sanjuán y F.J. Diéguez 171

Economía Agraria

Cambios en la productividad y sus determinantes en explotaciones lecheras de Cuba.
Changes in productivity and its determinants in Cuba dairy farms.
J. Flores, J. Herrera-Toscano y S. Flores 187

Las Denominaciones de Origen de aceite de oliva virgen en España. Un análisis de su eficiencia técnica.
Spanish virgin olive oil Designations of Origin. A technical efficiency analysis.
F. Vidal, J. Aparicio, J.T. Pastor y D. Pastor 208

Caracterización edáfica y distribución de ^{137}Cs en perfiles de suelos representativos de agrosistemas mediterráneos de montaña

L. Gaspar[*,**,1], A. Navas[**], J. Machín[**], M. López-Vicente[**] y J. Gómez-Arozamena[***]

* School of Geography, Earth and Environmental Sciences, Plymouth University, Plymouth, Devon, PL4 8AA, UK

** Estación Experimental de Aula Dei (EEAD-CSIC), Department of Soil and Water, Apartado 13034, 50080 Zaragoza, Spain

*** Universidad de Cantabria, Avenida Cardenal Herrera Oria s/n, 39011 Santander, Spain

Resumen

Caracterizar los suelos y conocer sus propiedades fisicoquímicas es fundamental para interpretar los datos de ^{137}Cs y evaluar las implicaciones que el tipo y uso de suelo, agrario, ganadero o forestal, tienen sobre el comportamiento del radioisótopo en el suelo. En este trabajo se han caracterizado suelos representativos de agrosistemas mediterráneos de montaña mediante la apertura de calicatas, el estudio detallado de sus propiedades fisicoquímicas, y el análisis por difracción de rayos X de perfiles de suelo. Asimismo, para evaluar la repercusión del uso del suelo sobre el contenido y distribución del radioisótopo, sus implicaciones sobre los procesos de pérdida de suelo, y la posible transferencia del ^{137}Cs a las plantas, se han muestreado 13 perfiles seccionados de suelos agrícolas y forestales en Calcisoles, Leptosoles, Regosoles, Gypsisoles y Gleysoles. Se observó un amplio rango de variación tanto de las principales propiedades fisicoquímicas de suelo como del contenido de ^{137}Cs, que se relacionó directa y significativamente con la materia orgánica. Los valores de ^{137}Cs más altos se registraron en Leptosoles no cultivados en suelos forestales, en los que se observó una distribución del radioisótopo exponencialmente decreciente con la profundidad, mientras que los Gypsisoles y Regosoles cultivados registraron las concentraciones más bajas, con perfiles homogéneos en profundidad por efecto del laboreo. Los resultados de esta investigación evidencian el efecto del uso y tipo de suelo en la concentración de la actividad del radioisótopo, y son de interés para la correcta aplicación del ^{137}Cs como técnica para cuantificar la pérdida de suelo en agrosistemas mediterráneos.

Palabras clave: ^{137}Cs, clasificación FAO, DRX, uso agrícola y forestal, pérdida de suelo, agroecosistemas Mediterráneos.

Abstract

Edaphic characterization and distribution of ^{137}Cs of representative soil profiles on mountainous Mediterranean agroecosystems

An accurate characterization of soils and good knowledge of the soil physicochemical properties is the key to understanding ^{137}Cs data and assesses the effect of soil type and different land uses on the be-

1. Autor para correspondencia: leticia.gaspar@plymouth.ac.uk

http://dx.doi.org/10.12706/itea.2014.008

havior of the radionuclide ^{137}Cs in the soils. In this research, representative soils of mountainous Mediterranean agroecosystems have been characterized through the study of soil pits, a detailed determination of physicochemical soil properties and the analysis by X-ray diffraction of soil profiles. Furthermore, to assess the impact of land use on the content and distribution of ^{137}Cs, its implications on the soil loss processes, and the ^{137}Cs transfer to plants, 13 sectioned soil profiles in agricultural and forestry soils, in Calcisols, Leptosols, Regosols, Gypsisols and Gleysols, have been sampled. The physicochemical soil properties varied widely and also the content of ^{137}Cs, which was significantly positively correlated with organic matter. The highest values of ^{137}Cs were found in uncultivated Leptosols under forest soils, with the highest concentration in the topsoil and a sharp decay with depth, while the lowest values of ^{137}Cs were found in cultivated Gypsisols and Regosols, in which the radionuclide was distributed homogeneously throughout the soil profile by tillage effect. Information gained with this research demonstrated the effect of soil type and land use in the content of ^{137}Cs on the soil, and is of interest for the correct application of the ^{137}Cs technique to quantify soil loss in Mediterranean agroecosystems.

Key words: ^{137}Cs, FAO classification, DRX, agricultural and forestry, soil loss, Mediterranean agroecosystems.

Introducción

Los suelos poseen un umbral específico de estabilidad que varía en función del tipo de suelo, es decir, una capacidad para asimilar la influencia de los agentes de la naturaleza y las intervenciones humanas sin entrar en procesos de deterioro. Las causas más comunes de la degradación de los suelos son la erosión, los cambios y gestión del uso del suelo, la compactación y el sobrepastoreo. Los procesos de pérdida de suelo y la consecuente degradación asociada que sufren los suelos a nivel planetario representan un grave problema para el desarrollo sostenible y la protección del medio ambiente. Una reducción del porcentaje de nutrientes y materia orgánica en el suelo, y la consecuente disminución de la extensión de suelos productivos, favorecen el avance de la desertificación especialmente en los agroecosistemas mediterráneos (p. ej. Gómez *et al*., 2011). En el sector central de la Cuenca del Ebro predominan suelos erosionables que llegan a ocupar extensiones importantes y su pérdida puede suponer la degradación de una parte considerable del territorio (Machín y Navas, 1998). Un ejemplo son las litologías yesíferas que ocupan aproximadamente 1.9 millones ha en la cuenca (Navas, 1983) y que se caracterizan por ser suelos frágiles debido a su bajo contenido de materia orgánica, una mala estructura y escasa cubierta vegetal (Machín y Navas, 1998). El uso de radioisótopos ambientales como técnica para documentar patrones espaciales de la redistribución del suelo y cuantificar la erosión surge de la necesidad de solventar las dificultades y limitaciones asociadas a las técnicas clásicas para medir la erosión (p. ej. Walling y He 1999; Mabit *et al*., 2009; Porto y Walling, 2012), siendo el radioisótopo Cesio-137 un efectivo trazador del movimiento suelo en ambientes mediterráneos (p. ej. Navas, 2002; Schoorl *et al*., 2004a; Menéndez-Duarte, *et al*., 2009; Estrany *et al*., 2010; Navas *et al*., 2013; Gaspar *et al*., 2013). En los últimos años, Parsons y Foster (2011) y Mabit *et al*. (2013) han publicado artículos de revisión sobre los supuestos y la validez de la técnica de ^{137}Cs para evaluar la erosión del suelo y su uso para validar modelos de erosión y extrapolar en espacio y tiempo los datos clásicos de pérdida de suelo, destacando sus ventajas y limitaciones, y remarcando la necesidad de una aplicación rigurosa, un muestreo adecuado y un conocimiento experto para la obtención de datos fiables, siendo entonces un eficaz radiotra-

zador para estimar la magnitud de la erosión del suelo (Mabit *et al*., 2013). Trabajos recientes en estos frágiles agroecosistemas han evidenciando el papel primordial del uso del suelo y la influencia del tipo de suelo en la distribución del radioisótopo (p. ej. Schoorl *et al*., 2004b; Navas *et al*., 2005; Sadiki *et al*., 2007; Gaspar, 2011; Gaspar y Navas, 2013). La heterogeneidad en cuanto a tipos de suelo y el complejo mosaico de usos, característico de los agrosistemas mediterráneos, plantea la necesidad de contar con una detallada caracterización de los diferentes tipos de suelo, así como conocer las propiedades fisicoquímicas de suelos agrícolas y forestales para interpretar correctamente los datos de ^{137}Cs y evaluar las implicaciones de estos factores sobre el comportamiento del radioisótopo en el suelo.

El isótopo artificial ^{137}Cs tiene un periodo de semidesintegración de 30,23 años y fue introducido en la atmósfera como producto de fisión de los ensayos nucleares que tuvieron lugar entre los años 50 y 70. Tras su difusión y una distribución condicionada por las corrientes atmosféricas, el depósito de ^{137}Cs asociado a las precipitaciones y al efecto de la gravedad se inicia en 1954, registrando su pico máximo en 1963 (Ritchie y Ritchie, 1995) año en el que se firmó el Tratado de Prohibición Parcial de Ensayos Nucleares (Partial Test Ban Treaty). Otros aportes de ^{137}Cs se han liberado a la atmósfera puntualmente como producto de accidentes nucleares, si bien no se han llegado a detectar en los suelos del área de estudio. El ^{137}Cs es altamente reactivo y una vez que alcanza la superficie del suelo queda fuertemente adsorbido en la fracción fina por las arcillas y la materia orgánica (He y Walling, 1996). Debido a su limitada migración postdepósito, el movimiento del radioisótopo se asocia al movimiento de las partículas de suelo, siendo un eficaz radiotrazador de su redistribución. El ^{137}Cs emite rayos gamma con una energía conocida y característica (662 keV) que pueden ser fácilmente medidos con espectrometría de rayos gamma. Para cada muestra de suelo analizada se obtiene un valor de la concentración de la actividad de ^{137}Cs (Bq kg^{-1}) que se convierte en una medida de carga por unidad de área, conocida como inventario (Bq m^{-2}), al tener en cuenta la densidad de la muestra de suelo. Cuando se trabaja con perfiles de suelo seccionados, el denominado inventario total de ^{137}Cs en el punto de muestreo será la suma de los inventarios estimados en cada intervalo del perfil de suelo. La técnica permite cuantificar la pérdida o ganancia de suelo mediante la comparación del inventario total en cada punto de muestreo con el inventario obtenido en sitios estables de referencia en el área de estudio (Figura 1).

La mayor parte del radioisótopo queda inmovilizado por el suelo debido a la fuerte adsorción química del ^{137}Cs en las superficies de intercambio catiónico, sobre todo por parte de los minerales de arcilla, ocupando los sitios específicos localizados en el borde de expansión de su estructura, conocidos como *frayed edges sites* (FES) (p. ej. Staunton *et al*., 2002 y Kim *et al*., 2006). Sin embargo, una fracción puede ser absorbida por las plantas y micorrizas entrando a formar parte del ciclo suelo-planta (p. ej. Vinichuk *et al*., 2013), mientras que en zonas afectadas por incendios forestales puede haber una mayor movilidad del radioisótopo debido a la perdida de estabilidad estructural del suelo, siendo estos más frágiles, menos cohesivos y más fácilmente erodibles (p. ej. Menéndez-Duarte *et al*., 2009).

Este estudio se centra en (i) la caracterización edáfica y geoquímica de suelos representativos de agrosistemas mediterráneos de montaña que predominan en el sector central del borde norte de la cuenca del Ebro (España) mediante la realización de calicatas y el análisis de difracción de rayos X, y en (ii) la estimación del contenido y distribución en profundidad del radioisótopo ^{137}Cs en función del tipo y usos del suelo. Todo ello con

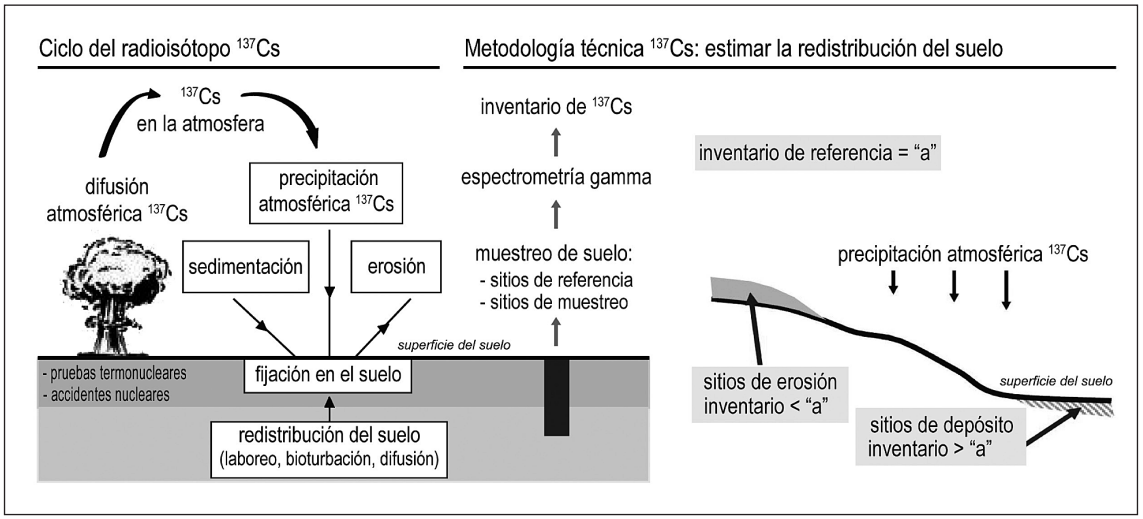


Figura 1. Uso del radioisótopo ^{137}Cs para estimar la redistribución del suelo.
Figure 1. Use of ^{137}Cs technique to estimate soil loss and deposition.

el objetivo de evaluar la repercusión que tienen los suelos agrícolas y forestales sobre el comportamiento del radioisótopo, sobre la pérdida de suelo, y sobre la posible transferencia del radioisótopo a las plantas. Los resultados de esta investigación contribuirán a incrementar el conocimiento de los suelos característicos de ambientes de media montaña del Pirineo oriental, tanto agrícola como forestal, y su implicación en la correcta interpretación y aplicación del ^{137}Cs como técnica para cuantificar la pérdida de suelo en agrosistemas mediterráneos.

Material y métodos

Los perfiles de suelo estudiados se han extraído en una zona próxima al límite norte de la cuenca del Ebro en el prepirineo aragonés, situada al este de la provincia de Huesca (NE de España) en la comarca de la Ribagorza (42°1'29'" N, 0°31" 2'" E) (Figura 2). En el área, el clima es mediterráneo continental con una pluviometría media anual de 595 mm y una temperatura media anual de 12,2 °C (López-Vicente *et al*., 2008). La precipitación se distribuye en dos periodos húmedos (primavera y otoño) y se caracteriza por una fuerte oscilación interanual de 378% para el periodo entre 1941-2011 (López-Vicente *et al*., 2013). Los materiales aflorantes en estas Sierras Marginales conocidas como Prepirineo son de edad Mesozoica y materiales Neógenos. Los suelos que se desarrollan sobre facies Muschelkalk, facies Keüper y depósitos coluviales son Calcisoles, Leptosoles y Regosoles, mientras que los Gypsisoles cubren afloramientos de menor entidad, y los Gleysoles zonas donde el nivel freático esta próximo a la superficie del suelo (Machín *et al*., 2008). La zona se caracteriza por un predominio de suelos agrícolas (cereal de invierno y cultivos de secano), mientras que los pastos destinados al uso ganadero (porcino y ovino) están cubiertos por matorrales mixtos muy degradados compuestos por boj (*Buxux sempervirens*), enebro (*Juniperus oxycedrus*) y romero (*Rosmarinus officinalis*). Los suelos forestales

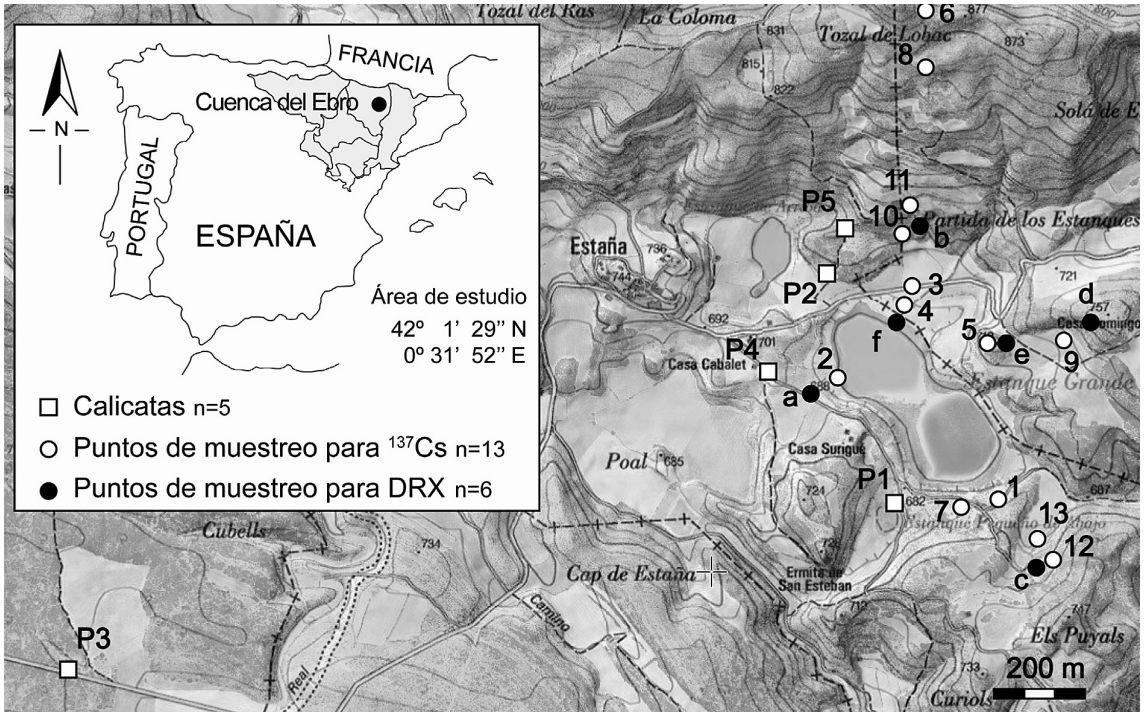


Figura 2. Situación del área de estudio (fuente: SIGPAC) y localización de las calicatas y los perfiles de suelo.
Figure 2. Study area (source: SIGPAC) and the locations of the pits and soil profiles.

están cubiertos por bosques mediterráneos en los que predominan encinas, coscojas, enebros (*Juniperus oxycedrus*) y quejigales (López-Vicente *et al*., 2009).

Con objeto de caracterizar los suelos que predominan en este sector se han realizado cinco calicatas (P1-P5) correspondientes a suelos tipo Gleysol (P1), Gypsisol (P2), Leptosol (P3), Calcisol (P4) y Regosol (P5) (FAO, 2007) (Figura 2). Asimismo, se han muestreado 6 perfiles de suelo seccionados a intervalos de 5 cm (perfiles a-f) para completar la caracterización geoquímica y determinar las fases cristalinas de los suelos tipo mediante el análisis mineralógico por difracción de rayos X (DRX) de la fracción < 2 mm (Figura 2). Los perfiles seccionados se corresponden con suelos tipo Regosol háplico (perfiles a, b), Regosol gypsico (c), Calcisol háplico (d), Leptosol háplico (e) y Gleysol háplico (f). Un total de 34 muestras de suelo se han analizado en el servicio de DRX del Instituto de Ciencias de la Tierra Jaume Almera (ICTJA-CSIC), utilizando un difractómetro de polvo Bruker-AXS D5005.

Finalmente, para caracterizar el contenido de ^{137}Cs y conocer su distribución en profundidad se han muestreado además 13 perfiles seccionados (perfiles 1-13), 7 en suelos forestales y 6 en suelos agrícolas, seleccionando diferentes tipos de suelo afectados por procesos de pérdida o acumulación de suelo (Figura 2). Para la obtención de los perfiles de suelo se ha utilizado un muestreador automático de 8 cm de diámetro alcanzando una profundidad de muestreo que varía en función del tipo de suelo; mínima que permita rete-

ner el perfil completo de ^{137}Cs y máxima de 55 cm. Los perfiles se han seccionado cada 5 cm, si bien debido al gran contenido de piedras en algunos puntos de muestreo los intervalos son de 10-15 cm.

Las muestras de suelo, una vez secas, se muelen y tamizan para diferenciar la fracción mayor a 2 mm, pedregosidad, de la fracción menor de 2 mm, o fracción fina. Un total de 91 muestras de suelo (perfiles 1-13) se han medido por espectrometría gamma, con un detector coaxial de germanio hiperpuro de alta resolución (1,9 KeV), bajo fondo, y 30% de eficiencia, para determinar la concentración de la actividad de ^{137}Cs (Bq kg^{-1}). El tiempo de conteo aproximado ha sido de 30.000 segundos y para su calibración se han utilizado muestras de estándares certificados con la misma geometría que las muestras a analizar, obteniendo una precisión analítica de ± 5% (95% nivel de confianza). En cuanto al resto de propiedades fisicoquímicas analizadas, la pedregosidad se ha calculado a partir del porcentaje en peso de la fracción > 2 mm en el total de la muestra, mientras que el resto de propiedades se han determinado sobre la fracción fina del suelo (< 2mm). El tamaño de las partículas de suelo se ha analizado con un equipo láser CoulterLS230, eliminando previamente la materia orgánica con H_2O_2 a 80ºC y dispersando la muestra con hexametafosfato durante aproximadamente ocho horas y aplicando ultrasonidos, para luego realizar su clasificación textural. El contenido de materia orgánica (MO) se ha determinado mediante el método del dicromato potásico en caliente (CSIC, 1976) y su valoración se ha realizado con un titrímetro con electrodo Orion nº FV 8886 y cabezal volumétrico de 20 mL. El pH se ha determinado con un pH-metro (Orion 901 *Research Microprocessor Ionalyzer*), la conductividad eléctrica 1:5 (CE) con un conductímetro de precisión Crison522, y el contenido de carbonatos ($CO_3^=$) valorando con el calcímetro manométrico de Barahona (CSIC, 1976).

El análisis de los factores uso y tipo de suelo sobre las propiedades fisicoquímicas y contenido radioisotópico del suelo se ha llevado a cabo mediante el análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de múltiples rangos (diferencia mínima significativa *LSD* de Fisher), mientras que las relaciones entre las diferentes propiedades y la concentración de ^{137}Cs se ha determinado aplicando el índice de correlación de Pearson al 95% de confianza.

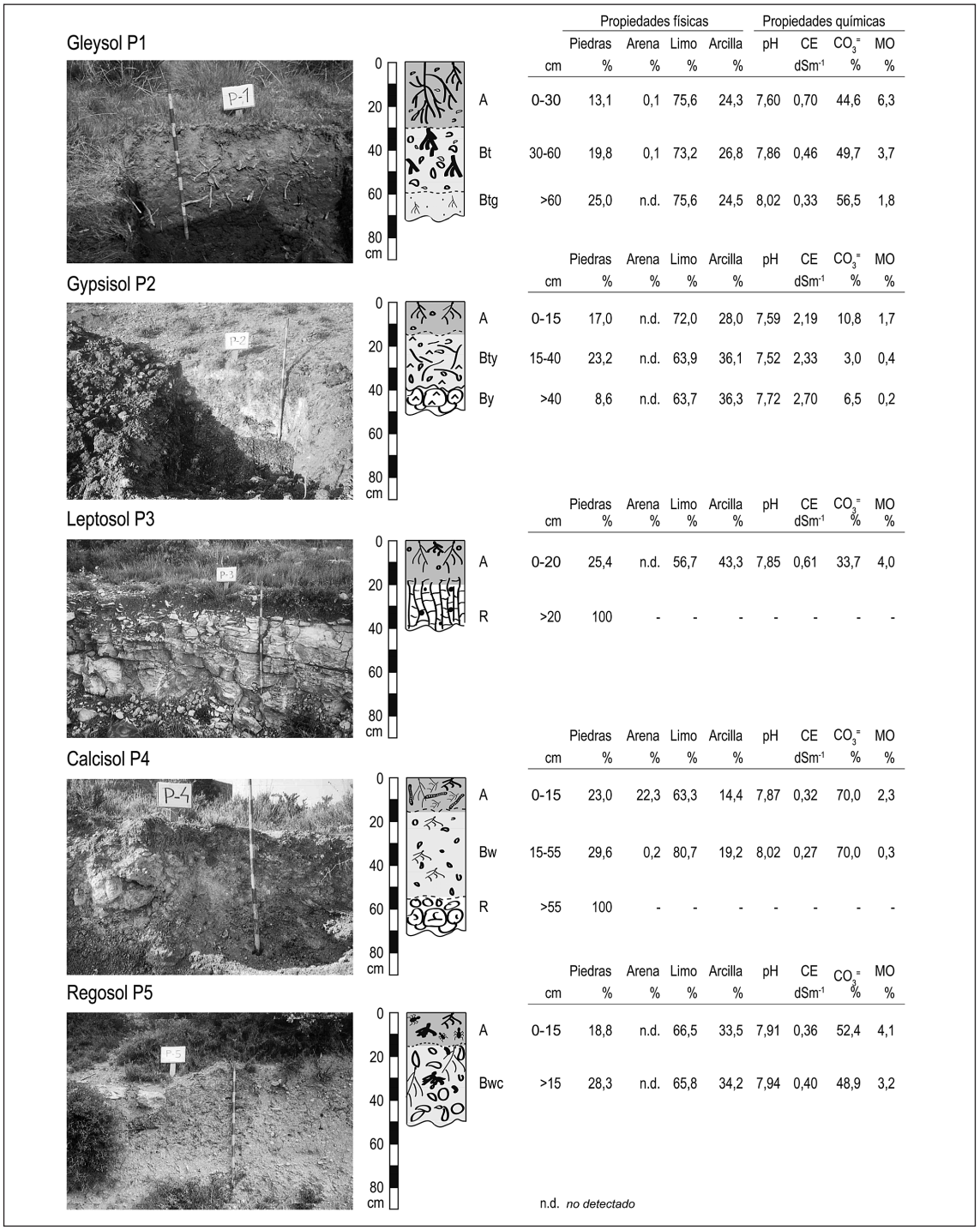
Resultados

Caracterización edáfica y mineralógica de los suelos

Caracterización edáfica mediante la apertura de calicatas

Las cinco calicatas presentan una profundidad máxima de 2 metros y una anchura de entre 1 a 2 m en las que se han identificado diferentes horizontes y establecido sus límites lineales u ondulados, graduales o netos. Se ha medido la profundidad de cada horizonte y se ha descrito y esquematizado cada perfil en base a su color, presencia de raíces, estructura y pedregosidad. Asimismo, se ha muestreado cada horizonte para obtener una muestra de suelo en la que realizar las determinaciones fisicoquímicas necesarias para su caracterización. Siguiendo la nomenclatura actual (FAO, 2007), la letra mayúscula identifica el horizonte principal y la letra minúscula, como sufijo, permite clasificar los horizontes en términos de su evolución (Figura 3).

El perfil P1 se corresponde con un **Gleysol háplico** que presenta una textura franco limosa con un 25% de arcilla, 75% de limo y ausencia de la fracción arena, con una pedregosidad promedio del 20%. El pH es alcalino (7,8), la salinidad baja (CE: 0,497 dSm^{-1}) y los carbonatos alcanzan en promedio el 50%. Son suelos ricos en materia orgánica con un



		Propiedades físicas				Propiedades químicas			
		Piedras	Arena	Limo	Arcilla	pH	CE	$CO_3^=$	MO
	cm	%	%	%	%		dSm^{-1}	%	%
A	0-30	13,1	0,1	75,6	24,3	7,60	0,70	44,6	6,3
Bt	30-60	19,8	0,1	73,2	26,8	7,86	0,46	49,7	3,7
Btg	>60	25,0	n.d.	75,6	24,5	8,02	0,33	56,5	1,8

		Piedras	Arena	Limo	Arcilla	pH	CE	$CO_3^=$	MO
	cm	%	%	%	%		dSm^{-1}	%	%
A	0-15	17,0	n.d.	72,0	28,0	7,59	2,19	10,8	1,7
Bty	15-40	23,2	n.d.	63,9	36,1	7,52	2,33	3,0	0,4
By	>40	8,6	n.d.	63,7	36,3	7,72	2,70	6,5	0,2

		Piedras	Arena	Limo	Arcilla	pH	CE	$CO_3^=$	MO
	cm	%	%	%	%		dSm^{-1}	%	%
A	0-20	25,4	n.d.	56,7	43,3	7,85	0,61	33,7	4,0
R	>20	100	-	-	-	-	-	-	-

		Piedras	Arena	Limo	Arcilla	pH	CE	$CO_3^=$	MO
	cm	%	%	%	%		dSm^{-1}	%	%
A	0-15	23,0	22,3	63,3	14,4	7,87	0,32	70,0	2,3
Bw	15-55	29,6	0,2	80,7	19,2	8,02	0,27	70,0	0,3
R	>55	100	-	-	-	-	-	-	-

		Piedras	Arena	Limo	Arcilla	pH	CE	$CO_3^=$	MO
	cm	%	%	%	%		dSm^{-1}	%	%
A	0-15	18,8	n.d.	66,5	33,5	7,91	0,36	52,4	4,1
Bwc	>15	28,3	n.d.	65,8	34,2	7,94	0,40	48,9	3,2

n.d. *no detectado*

Figura 3. Foto, esquema del perfil de suelo y propiedades fisicoquímicas de las 5 calicatas.
Figure 3. Photograph, schematic soil profile and physicochemical soil properties of 5 soil pits.

valor promedio del 4%, con concentraciones máximas en el horizonte superficial y con un patrón decreciente en profundidad. Es un perfil de tipo A-B bien desarrollado, que alcanza una profundidad de 60 cm y se caracteriza por un color gleyco, con presencia de moteado y compuestos de Fe. La presencia de Gleysoles en un ambiente mediterráneo de montaña media se debe a la proximidad del nivel freático a la superficie del suelo, localizándose estos suelos dentro de la zona de estudio en las proximidades de los denominados Lagos de Estaña.

El perfil P2 es un **Gypsisol háplico** que presenta una textura franco arcillo limosa con un 33% de arcilla, 67% de limo y prácticamente sin fracción arena. La pedregosidad es baja (16%), el pH es ligeramente alcalino (7,6) y la conductividad eléctrica alcanza valores altos de 2,407 dSm^{-1}. Es un suelo pobre en materia orgánica (0,8%) y con un contenido medio de carbonatos bajo (7%). Presenta un perfil bien desarrollado de tipo A-B y en la zona de estudio estos suelos se desarrollan sobre materiales de relleno como depósitos aluviales y coluviales cubiertos por una escasa vegetación, destinados en parte al uso agrícola.

El perfil P3 se corresponde con un **Leptosol háplico** caracterizado por un perfil muy somero y poco desarrollado de tipo A-R, en el que la roca madre aflora a los 20 cm de profundidad. El horizonte A presenta una textura arcillo limosa y una pedregosidad del 25%. El pH es alcalino y presenta un alto contenido de materia orgánica (4,0%). La conductividad eléctrica es baja (0,609 dSm^{-1}) y los carbonatos alcanzan una concentración del 34%. Estos suelos están cubiertos mayoritariamente por zonas de bosque y matorral denso.

El perfil P4 es un **Calcisol háplico** caracterizado por una textura franco limosa, con un 17% de arcilla, 72% de limo y 11% de arena. Presenta una elevada pedregosidad (50%), pH alcalino (8,0) y muy baja conductividad eléctrica (0,295 dSm^{-1}). Es un suelo pobre en materia orgánica (1,3%) y con un elevado porcentaje de carbonatos (70%). Presenta un perfil bien desarrollado de tipo A-B-R, en el que la capa de roca aflora a los 55 cm de profundidad. Junto a los Leptosoles son los suelos predominantes del área de estudio y ambos representan más de un 60% del territorio (p. ej. Machín *et al*., 2008 y Gaspar, 2011 "dato aproximado para la cuenca de *Estaña*, lugar donde se sitúa la zona de estudio"), cubiertos por bosque abierto y matorral, aunque también son destinados al uso agrícola.

El perfil P5 se corresponde con un **Regosol háplico** caracterizado por un perfil muy somero de tipo A-B. Presenta una textura franco arcillo-limosa, con un 34% de arcilla y un 66% de limo. La pedregosidad es del 24%, el pH alcalino (7,93) y la conductividad eléctrica es muy baja (0,377 dSm^{-1}). Son suelos ricos en materia orgánica (3,6%) y la concentración promedio de carbonatos alcanza el 51%. Estos suelos presentan un importante desarrollo en el área de estudio y son destinados al uso agrícola aunque también aparecen cubiertos por zonas de bosque y matorral.

Caracterización mineralógica

Los análisis de difracción de rayos X en los seis perfiles de suelo seleccionados muestran que, en términos generales, la fracción < 2 mm está dominada por porcentajes altos de cuarzo, calcita y dolomita, porcentajes más bajos de microclina, y menores de albita, yeso y arcillas totales, entre las que se identifican clinocloro, illita, caolinita, montmorillonita y, excepcionalmente, saponita (mineral autigénico). La abundancia de cuarzo se debe a que es el segundo grupo de minerales más abundante en la superficie terrestre (Monger y Kelly, 2002), mientras que las arcillas, especialmente las silicatadas, y en proporciones menores, son los minerales que influyen de forma más significativa en las propiedades químicas y físicas de los suelos por su pequeño tamaño, alta superficie es-

pecífica y elevada capacidad de intercambio catiónico (Schulze, 2002). La presencia de carbonatos está asociada a las características climáticas subhúmedas, donde la evaporación es mayor a la precipitación (Doner y Grossl, 2002), así como por el material parental calcáreo presente en la zona de estudio. Mientras que la presencia de hematites es característica de suelos tipo Gleysol (Tabla 1).

Los **Regosoles háplicos** (perfiles a, b) se caracterizan por porcentajes de cuarzo mayores en los intervalos más profundos y porcentajes medios de arcillas, en las que predominan clinocloro, illita y montmorillonita, con caolinita restringida a algunos horizontes y excepcionalmente saponita, coincidiendo con el intervalo del perfil con mayor contenido en microclina. El **Regosol gypsico** (perfil c) se caracteriza por porcentajes muy altos de cuarzo, especialmente en los horizontes más superficiales y un ligero aumento en el contenido de arcillas respecto al Regosol háplico, en este caso con ausencia total de caolinita y presencia de clinocloro, illita y montmorillonita. Estos suelos registran los porcentajes máximos de microclina y los porcentajes de calcita son mayores en los intervalos superficiales.

El **Calcisol háplico** (perfil d) se caracteriza por porcentajes altos de dolomita, mayores en los intervalos más profundos y bajos porcentajes de yeso que no alcanzan el 1%. Las arcillas presentan una proporción uniforme a lo largo del perfil, próxima al 3%, en el que predominan el clinocloro y la illita, la montmorillonita aparece en algunos intervalos, mientras que la caolinita queda restringida a los primeros 15 cm de suelo. Excepcionalmente, aparece saponita en el intervalo 25-30 cm coincidiendo con los valores más bajos de microclina, así como con un horizonte mineralógico (20-25 cm) rico en dolomita, cuarzo y calcita.

El **Leptosol** (perfil e) presenta los mayores contenidos de calcita, valores altos de albita y arcillas (clinocloro, illita y montmorillonita) y valores bajos de dolomita y cuarzo. Por su parte, el **Gleysol háplico** (perfil f) se caracteriza por porcentajes elevados de yeso en los primeros 20 cm del perfil, mientras que por debajo de esta profundidad se identifica un aumento brusco del porcentaje de arcillas (clinocloro, illita, caolinita y montmorillonita), albita y microclina, registrando los porcentajes más altos de entre todos los suelos analizados y un contenido mínimo de calcita (< 19%). Es muy característica la presencia de hematites ($Fe_2 O_3$) en los intervalos profundos (30-40 cm) debido a que estos suelos son hidromorfos y pueden permanecer saturados parte del año, presentando los óxidos de hierro en forma ferrosa (Fe^{+2}) debido a las condiciones reductoras (FAO, 2007).

Caracterización del contenido de ^{137}Cs en suelos agrícolas y forestales

Actividad e inventario de ^{137}Cs

Los valores de la concentración de la actividad (Bq kg^{-1}) e inventario (Bq m^{-2}) de ^{137}Cs en los 13 perfiles de suelo seccionados presentan un elevado rango de variación. Las concentraciones de la actividad de ^{137}Cs varían entre valores mínimos no detectables a máximos de 34,2 Bq kg^{-1} (± 5,8) siendo 4,5 Bq kg^{-1} el valor medio, mientras que el inventario de ^{137}Cs varía entre 0 y 2.081,3 Bq m^{-2} (± 292,3) con un valor medio de 217,1 Bq m^{-2} (Tabla 2). Este alto rango de variación se explica por la distribución en profundidad del radioisótopo, que difiere significativamente entre suelos agrícolas y forestales, y debido a que los puntos de muestreo se corresponden con sitios que han sufrido diferentes procesos de redistribución de suelo, tanto de pérdida como de acumulación de suelo.

Las propiedades fisicoquímicas del suelo también muestran un amplio rango de variación, y a excepción de la fracción limo, el resto de propiedades analizadas presentan diferencias estadísticamente significativas en función del tipo de suelo, mientras que todas

Tabla 1. Composición mineralógica de los 6 perfiles de suelo estudiados analizada por DRX
Table 1. The mineral composition of the 6 soil profiles based on X-ray diffraction

Profundidad cm	Yeso	Dolomita	Cuarzo	Microclina	Calcita %	Albita	Arcillas	1	2	3	4	5
Regosol háplico RGha (a)												
0-5	1,64	20,27	17,18	4,10	48,33	1,82	6,66	X	X	X	X	
5-10	1,13	26,86	24,30	5,77	37,73	1,47	2,75	X	X	X		X
10-15	1,39	24,46	19,61	4,93	42,47	1,17	5,98	X	X		X	
15-20	0,79	25,39	18,92	5,90	39,53	2,98	6,49	X	X		X	
20-25	1,53	46,27	76,72	4,25	79,95	0	5,95	X	X	X	X	
25-30	0,77	31,50	21,25	4,74	33,98	1,87	5,89	X	X		X	
Regosol háplico RGha (b)												
0-5	0,83	2,34	18,54	1,92	71,59	1,01	3,78	X	X		X	
15-22	0,79	1,19	33,06	1,08	57,20	1,41	5,28	X	X		X	
Regosol Gypsico (c)												
5-10	1,88	18,15	159,87	7,35	56,78	0	6,10	X	X		X	
10-15	2,99	13,85	140,70	16,65	48,83	0	8,42	X	X		X	
15-20	2,78	5,37	137,84	13,69	61,24	0	8,88	X	X		X	
25-30	1,77	2,25	37,36	16,67	27,06	2,52	12,36	X	X		X	
30-35	1,03	2,19	35,16	12,68	33,29	6,06	9,60	X	X		X	
35-40	0,00	32,48	33,89	14,54	13,94	0,00	5,15	X	X		X	
40-45	1,04	1,46	53,75	12,28	14,78	7,13	9,55	X	X		X	
45-48	1,03	1,41	22,58	13,38	48,00	6,16	7,44	X	X		X	

Tabla 1. Composición mineralógica de los 6 perfiles de suelo estudiados analizada por DRX (continuación)
Table 1. The mineral composition of the 6 soil profiles based on X-ray diffraction (continuation)

Profundidad cm	Yeso	Dolomita	Cuarzo	Microclina	Calcita %	Albita	Arcillas	1	2	3	4	5
Calcisol háplico CLha (d)												
0-5	0,33	45,67	12,97	4,27	32,00	1,16	3,59	X	X	X	X	
5-10	0,48	47,58	15,28	2,84	30,13	1,50	2,19	X	X	X		
10-15	0,77	59,99	9,05	3,34	24,20	1,00	1,65	X	X	X		
20-25	0,73	121,31	29,03	2,09	46,60	0	3,09	X	X		X	
25-30	0,40	59,42	5,36	1,52	30,33	0,71	2,26	X	X			X
30-35	0,00	62,36	7,35	1,77	25,19	0,65	2,69	X	X			
40-45	0,46	64,97	10,77	2,86	16,38	1,79	2,78	X	X		X	
Leptosol (e)												
15-20	0,81	2,03	8,51	5,54	68,02	3,32	11,77	X	X		X	
25-30	0,69	1,41	5,14	2,82	80,79	1,03	8,11	X	X		X	
Gleysol háplico GLha (f)												
0-5	14,74	8,95	48,13	3,23	18,75	0,79	5,43	X	X		X	
5-10	31,18	15,30	31,02	4,24	11,91	1,42	4,94	X	X	X	X	
10-15	38,39	15,20	18,40	8,73	6,17	3,25	9,86	X	X	X	X	
15-20	15,66	19,14	24,28	10,52	14,15	3,80	12,46	X	X	X	X	
20-25	2,72	21,89	29,38	9,26	14,52	4,34	17,88	X	X	X	X	
25-30	4,26	24,65	29,18	9,17	14,33	3,21	15,19	X	X	X	X	
30-35	3,75	21,95	29,97	11,37	14,47	4,09	14,41	X	X	X	X	
35-40	4,40	22,33	27,63	8,50	16,62	3,64	16,88	X	X	X	X	
45-50	3,42	25,55	22,42	14,08	11,96	5,25	17,32	X	X	X	X	

Formulación: yeso ($SO_4\ H_2O$), dolomita ($Mg(CO_3)_2$), cuarzo (SiO_2), microclina ($KAlSi_3O_8$), calcita ($CaCO_3$), albita ($NaAlSi_3O_8$).

Arcillas: 1. Clinocloro ($(Mg,Fe)_6(SiAl)_4O_{10}(OH)_8$), 2. Illita ($(K,H_3O)Al_2Si_3AlO_{10}(OH)_2$), 3. Caolinita ($Al_2Si_2O_5(OH)_4$), 4. Montmorillonita ($Ca_{0,2}(Al,Mg)_2Si_4O_{10}(OH)_2\ 4H_2O$), 5. Saponita ($Ca_{0.5}(Mg,Fe)_3(Si,Al)_4O_{10}(O,H)_2\ 4H_2O$)

Tabla 2. Valor medio de la concentración de la actividad e inventario de ^{137}Cs y de las propiedades fisicoquímicas analizadas en las muestras de suelo en función del a) tipo y b) uso del suelo
Table 2. Mean value of ^{137}Cs mass activity and inventory, and physicochemical soil properties of soil samples according to a) soil types and b) land uses

	Tipo de suelo					Uso de suelo	
	Gleysol	Gypsisol	Leptosol	Calcisol	Regosol	Agrícola	Forestal
N	15	22	5	20	29	56	35
^{137}Cs Bq kg^{-1}	4,5 a	2,0 a	18,1 b	4,8 a	4,0 a	2,5 a	7,8 b
^{137}Cs Bq m^{-2}	185,9 a	142,1 a	709,1 b	188,8 a	224,9 a	142,5 a	336,5 b
MO%	2,1 a	1,4 a	12,1 b	1,7 a	2,4 a	1,6 a	4,0 b
Piedras%	43,3 c	10,6 a	41,5 cd	56,6 d	22,5 b	21,5 a	47,7 b
Arena%	19,7 b	5,3 a	26,3 c	9,9 a	5,3 ab	9,0 a	11,2 a
Limo%	65,7 a	69,1 a	61,4 a	70,0 a	70,9 a	68,5 a	69,5 a
Arcilla%	14,6 a	25,7 c	12,3 a	20,1 ab	23,7 bc	22,5 a	19,3 a
pH	8,35 b	7,95 a	8,10 a	8,48 b	8,37 b	8,20 a	8,39 b
CE dSm^{-1}	0,182 a	2,451 c	0,391 b	0,163 a	0,212 a	1,081 b	0,214 a
$CO_3^{=}$%	55,2 c	17,7 a	44,3 bc	55,1 c	37,3 b	29,6 a	56,2 b

Diferentes letras indican diferencias significativas p-level < 0.05 entre las diferentes clases de cada factor.
Different letters indicate significant differences at the p-level < 0.05 between different classes for each factor.

salvo las diferentes fracciones granulométricas presentan diferencias significativas en función del uso del suelo (Tabla 2). La materia orgánica, que varía entre 0,2 y 19,4%, registra un valor medio significativamente más alto en Leptosoles frente al resto de tipos de suelo, mientras que los suelos agrícolas muestran una significativa reducción del porcentaje de MO frente a los suelos forestales. La pedregosidad presenta un amplio rango de variación con porcentajes que oscilan entre 0 y 80%, registrando el valor medio más alto en suelos forestales y Calcisoles háplicos, frente a los Gypsisoles que registran el valor medio más bajo. En cuanto a la granulometría, las fracciones arena y arcilla presentan un rango de variación de entre 0 – 85% y 1 – 83%, respectivamente, con valores medios significativamente mayores en Leptosoles y Gypsisoles, receptivamente. Por su parte, la fracción limo tiene un rango de variación que oscila entre 14 y 84% pero con valores medios similares en los diferentes tipos y usos de suelo. El pH es alcalino, con valores entre 7,3 y 8,8, siendo significativamente más alto en suelos forestales y en Calcisoles, Regosoles y Gleysoles frente a Leptosoles y Gypsisoles. La CE, que varia entre 0,11 y 2,73 dSm^{-1}, muestra un patrón inverso al pH con medias significativamente más altas en Gypsisoles y suelos cultivados. Los carbonatos oscilan entre el 7 y 81%, siendo los Calcisoles y Leptosoles no cultivados los suelos que registran los valores medios significativamente más altos.

El análisis de varianza (ANOVA) establece que tanto el tipo de suelo, como el uso del suelo afectan significativamente a la variación del radioisótopo ^{137}Cs ($p < 0,05$) (Tabla 2). Los Leptosoles registran un valor medio de la concentración de la actividad de ^{137}Cs significativamente mayor que el resto de tipos de suelo, mientras que de forma no significativa, los Calcisoles y Regosoles registran valores medios ligeramente mayores a los estimados en Gypsisoles y Gleysoles, destinados

Tabla 3. Matriz de correlación del radioisótopo ^{137}Cs con las propiedades fisicoquímicas del suelo
Table 3. Pearson correlation coefficients between ^{137}Cs with physicochemical soil properties

	MO %	Piedras %	Arena %	Limo %	Arcilla %	pH	CE dSm^{-1}	$CO_3^=$ %
^{137}Cs $Bqkg^{-1}$	**0,669**	0,141	**0,322**	-0,189	**-0,296**	-0,099	**-0,220**	0,120
n	91	91	91	91	91	91	91	91
Valor-P	0,000	0,183	0,002	0,074	0,004	0,353	0,036	0,257
^{137}Cs Bqm^{-2}	**0,460**	-0,008	**0,287**	-0,169	**-0,263**	-0,072	-0,129	0,071
n	91	91	91	91	91	91	91	91
Valor-P	0,000	0,937	0,006	0,110	0,012	0,496	0,223	0,502

En negrita valores significativo $p \leq 0.05$.
Bold face numbers are significant at $p \leq 0.05$.

mayoritariamente a las prácticas agrícolas. Asimismo, se observa como la concentración de la actividad de ^{137}Cs en suelos forestales es significativamente mayor que en suelos agrícolas (Figura 4). Los resultados de las correlaciones entre el radioisótopo y las propiedades del suelo (Tabla 3) muestran una relación directa y significativa del ^{137}Cs con la materia orgánica debido a su alta capacidad de intercambio catiónico (CIC), resultando ser un componente importante en la fijación del radioisótopo en el suelo (Nikolova *et al*., 2000). Por su parte, la falta de una correlación directa del radioisótopo con la fracción arcilla se debe a que la MO presenta una adsorción no específica, comparada con la adsorción especifica del ^{137}Cs en las arcillas (Rigol *et al*., 2002), y ocupa de forma preferente los *Frayed Edges Sites* (FES) de las arcillas, lo que bloquea el acceso del radioisótopos en la estructura de las arcillas y reduce su adsorción. La falta de correlación también se atribuye a la distribución relativamente homogénea de la arcilla en el perfil del suelo, además del escaso rango de variación del contenido de la fracción arcilla en un 76% de las muestras analizadas que no presentan diferencias mayores al 10% (16 – 26%). Por otra parte, se observa una correlación significativa del radioisótopo con la fracción arena, e inversa de la concentración de la actividad de ^{137}Cs con la CE, si bien esta responde a relaciones indirectas a través de las propias características del tipo de suelos. Al diferenciar entre suelos agrícolas y forestales se observa que los suelos forestales no disturbados presentan una mayor correlación entre el radioisótopo y la materia orgánica.

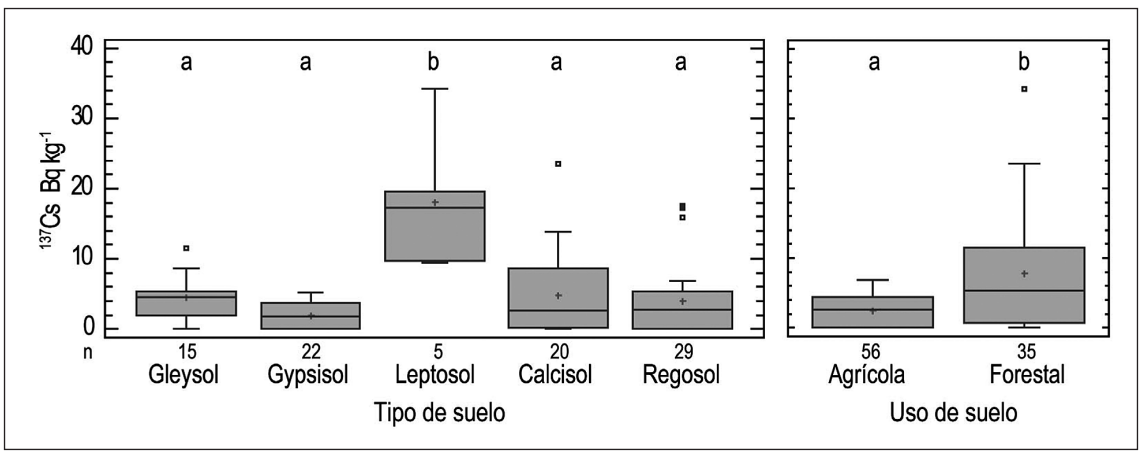


Figura 4. Diagrama de cajas de la concentración de la actividad de ^{137}Cs en función del a) tipo y b) uso del suelo. Diferentes letras indican diferencias significativas (P < 0,05) entre las diferentes clases de cada factor.
Figure 4. Box plots of ^{137}Cs mass activity according to a) soil type and b) land use. Different letters indicate significant differences (P < 0.05) between different classes for each factor.

Distribución en profundidad de ^{137}Cs

El muestreo detallado en incrementos de profundidad permite conocer el comportamiento del radioisótopo en el suelo y analizar las implicaciones de diferentes tipos y usos de suelo en su distribución. Asimismo, conocidos los perfiles de distribución de ^{137}Cs y comparando el inventario total de ^{137}Cs en cada punto respecto al inventario de refe-

rencia de la zona de estudio, estimado en 1.570 Bq m^{-2} (Soto y Navas, 2008), es posible identificar las pautas del movimiento del suelo (p. ej. Wallbrink y Murray, 1993; Walling *et al*., 1995), identificando puntos de pérdida o acumulación de suelo. Esta pérdida o acumulación de suelo en el punto de muestreo se identifica por la significativa disminución o aumento de la concentración de la actividad de ^{137}Cs en los primeros centímetros del perfil, así como por un valor de inventario total de ^{137}Cs menor o mayor al inventario de referencia, respectivamente.

La figura 5 evidencia los diferentes patrones de distribución de ^{137}Cs en suelos agrícolas y forestales. Los perfiles de ^{137}Cs en suelos forestales no cultivados se caracterizan por una distribución decreciente, con valores máximos en el horizonte superficial y una disminución exponencial con la profundidad. Los Leptosoles (perfiles 5, 6) se caracterizan por ser suelos someros en los que difícilmente se pueden discriminar intervalos de profundidad de 5 cm, y donde los perfiles de ^{137}Cs se restringen a los primeros 10-15 cm de profundidad. Los Gleysoles, Calcisoles y Regosoles no cultivados (perfiles 1, 7, 8, 10, 11) muestran perfiles de ^{137}Cs más desarrollados en profundidad, especialmente en zonas con acumulación de suelo (perfiles 1, 11), en los que se alcanza la máxima profundidad de detección del radioisótopo a 30 cm.

En suelos agrícolas se produce una mezcla del suelo arado y el radioisótopo presenta una distribución homogénea a lo largo del perfil de suelo (Figura 5). La pérdida de suelo en puntos cultivados se caracteriza por una concentración de la actividad de ^{137}Cs significativamente menor en los sucesivos incrementos de profundidad y un inventario en el punto menor al de referencia. Se observan diferencias entre los diferentes tipos de suelo, con perfiles de ^{137}Cs menos desarrollados en el Calcisol (perfil 9) y Regosol (perfil 12) frente a los Gypsisol (perfil 3) y Gleysol (perfil 2) que alcanza una profundidad de 25 y 35 cm, respectivamente. Los suelos agrícolas en los que se identifica acumulación de suelo presentan una distribución del radioisótopo en profundidad caracterizada por valores de ^{137}Cs ligeramente mayores y perfiles alargados que llegan hasta casi 50 cm de profundidad (perfiles 4 y 13) debido a que además de que se produce una mezcla del suelo arado y la distribución de ^{137}Cs se homogeniza en todo el perfil, se acumula el suelo previamente erosionado, resultando un valor de inventario en el punto mayor al de referencia que refleja la entrada adicional de ^{137}Cs.

El proceso de transferencia suelo-vegetación de ^{137}Cs a través del sistema radicular de las plantas es crucial para conocer el ingreso del radioisótopo en la cadena alimenticia humana. La posible transferencia suelo-planta del ^{137}Cs dependerá directamente de la distribución vertical del radioisótopo en el perfil de suelo y de su profundidad de relajación (Schuller *et al*., 2002). La relación de concentración de ^{137}Cs planta/suelo depende del proceso de absorción del radioisótopo en el perfil del suelo y por tanto de las propiedades de este, así como de la especie y variedad de las plantas, las condiciones climáticas y las prácticas y usos del suelo (Vosniakos, 2012).

Aunque la transferencia suelo-planta del ^{137}Cs se considera en general insignificante, estudios previos (p. ej. Rigol, 2002) han demostrado que existe una mayor posibilidad de que el radioisótopo sea absorbido por las plantas en suelos orgánicos con altos porcentajes de materia orgánica, pero en los que el contenido de la fracción arcilla sea insignificante. Schuller *et al*. (2002) confirmaron que el ratio de concentración de ^{137}Cs planta/suelo depende del proceso de adsorción del radioisótopo en el perfil de suelo, y por lo tanto de las características de este, siendo los suelos con texturas gruesas y bajos contenido en arcillas los que presentan una mayor movilidad de ^{137}Cs frente a los suelos con texturas finas (p. ej. Lee y Lee, 2000). Asi-

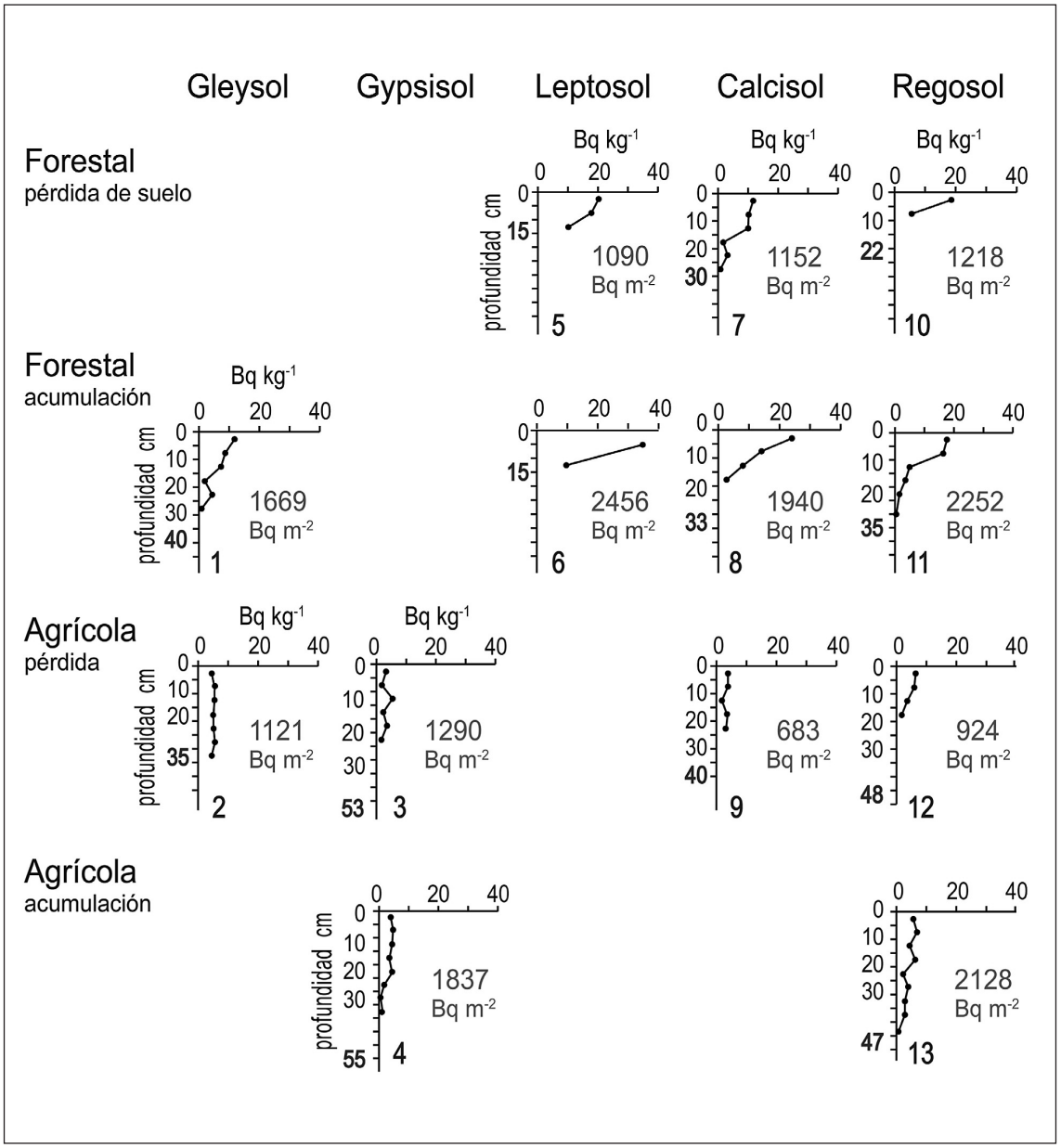


Figura 5. Distribución en profundidad de ^{137}Cs para perfiles de suelos agrícolas y forestales en tipos de suelos representativos de la zona de estudio.
Figure 5. ^{137}Cs depth distribution in agricultural and forest soil profiles from representative soil types of the study area.

mismo, Kim *et al*., (2007) demostraron una mayor afinidad del ^{137}Cs por la illita y la biotita, que tienen una mayor capacidad de intercambio catiónico, frente a las arcillas expansibles (esmectita, vermiculita), albita, clorita o microclina, que presentan una menor afinidad por el radioisótopo. Asimismo, altos contenidos de materia orgánica y la presencia de potasio y calcio intercambiables favorecen la transferencia suelo-planta del radioisótopo (Papanikolaou, 1972), mientras que para rangos de pH entre 3.9 a 8.4, Berfeijk *et al*. (1992) observaron que la transferencia de ^{137}Cs no se ve afectada.

Aunque se necesitaría realizar estudios de detalle, determinaciones del contenido de ^{137}Cs en las plantas y medidas específicas de adsorción para poder determinar la transferencia del ^{137}Cs a las plantas en los suelos estudiados, es previsible, en base a las propiedades analizadas y observando las distribución en profundidad del radioisótopo en estos suelos, que la trasferencia suelo-planta será limitada ya que, aunque en los suelos forestales se encuentran elevados contenidos de materia orgánica y mayores concentraciones del radioisótopo en superficie, el porcentaje de arcillas tanto en los suelos agrícolas como en los no cultivados se sitúa entre el 5 al 86%, siendo por lo general mayor al contenido de la fracción arena. Por tanto, la presencia de arcillas, que adsorben de forma específica el ^{137}Cs en el borde de expansión de su estructura (*frayed edges sites*, FES) quedando fuertemente fijado en el suelo, y el predominio de las texturas franco limosas y franco arcillo-limosas sugiere que los suelos estudiados tendrían una capacidad elevada de fijación del radioisótopo.

Conclusiones

La caracterización edáfica y el estudio a través de perfiles seccionados del contenido de ^{137}Cs han evidenciado que los cambios en el uso del suelo pueden modificar de forma significativa las propiedades fisicoquímicas de los suelos, así como alterar la concentración y distribución de ^{137}Cs.

El uso de la técnica de ^{137}Cs ha permitido caracterizar el contenido radioisotópico en diferentes suelos de montaña representativos del sector central del borde norte de la cuenca del Ebro, conocer las implicaciones de los diferentes tipos y usos de suelo y la importancia de la presencia de materia orgánica en el contenido de ^{137}Cs. Los resultados de esta investigación y la descripción de los perfiles de ^{137}Cs permiten una correcta identificación de los procesos de pérdida y acumulación de suelo tanto en suelos agrícolas como forestales, y confirman el potencial de uso del ^{137}Cs como trazador del movimiento del suelo en estos agroecosistemas de montaña.

Las propiedades fisicoquímicas analizadas, la caracterización mineralógica de los suelos, el contenido radioisotópico y la distribución en profundidad del ^{137}Cs sugieren que la posible transferencia suelo-planta del radioisótopo será limitada en estos suelos, sin embargo estudios de detalle y determinaciones del contenido radioisotópico en las plantas serán necesarias para proporcionar información precisa al respecto en futuras investigaciones.

Agradecimientos

Trabajo financiado por el proyecto de la CICYT, EROMED (CGL2011-25486/BTE).

Bibliografía

Berfeijk KE van, Noordijk H, Lembrechts J, Frissel MJ (1992). Influence of pH, soil type and soil organic matter content on soil-to-plant transfer of radiocesium and -Strontium as analyzed by a nonparametric method. Journal of Environmental radioactivity 15: 265-276.

CSIC (1976). Comisión de métodos analíticos. Anales de Edafología y Agrobiología 35: 813-814.

Doner E.H, Grossl PR (2002). Carbonates and evaporites. Soil mineralogy with environmental applications. Ed. Dixon J.B, Schulze D.G. SSSA Book Series 7. Soil Science Society of America. Madison, WI, USA. 199-228.

Estrany J, Garcia C, Walling DE (2010). An investigation of soil erosion and redistribution in a Mediterranean lowland agricultural catchment using caesium-137. Journal of Sedimentary Research 25: 1-16.

FAO (2007). World Reference Base. Rome, 91 pp.

Gaspar L (2011). Evaluación de la movilización y pérdida de suelo en agrosistemas de secano mediante los radiotrazadores ^{137}Cs y $^{210}Pb_{ex}$. Tesis Doctoral, Universidad de Zaragoza, 455 p.

Gaspar L, Navas A (2013). Vertical distribution and lateral variations of ^{137}Cs in cultivated and uncultivated soils on Mediterranean hillslopes. Geoderma 207-208: 131-143.

Gaspar L, Navas A, Walling DE, Machín J, Gómez Arozamena J (2013). Using ^{137}Cs and ^{210}Pb to assess soil redistribution on slopes at different temporal scales. Catena 102: 46-54.

Gómez JA, Llewellyn C, Basch G, Sutton PB, Dyson J.S, Jones CA (2011). The effects of cover crops and conventional tillage on soil and runoff loss in vineyards and olive groves in several Mediterranean countries. Soil Use and Management 27: 502-514.

He Q, Walling DE (1996). Interpreting particle size effects in the absorption of ^{137}Cs and unsupported ^{210}Pb by mineral soils and sediments. Journal of Environmental Radioactivity 30: 117-137.

Kim Y, Cho S Kang HD, Kim W, Lee HR, Doh SH, Kim K, Yun SG, Kim DS, Young G (2006). Radiocesium reaction with illite and organic matter in marine sediment. Marine Pollution Bulletin 52: 659-665.

Kim Y, Kim K, Kang HD, Kim W, Doh SH, Kim DS, Kim BK (2007). The accumulation of radiocesium in coarse marine sediment: Effects of mineralogy and organic matter. Marine Pollution Bulletin 54: 1341-1350.

Lee MH, Lee CW (2000). Association of fallout-derived ^{137}Cs, ^{90}Sr and $^{239,240}Pu$ with natural organic substances in soils. Journal of Environmental Radioactivity 47: 253-262.

López-Vicente M, Navas A, Machín J (2008). Identifying erosive periods by using RUSLE factors in mountain fields of the Central Spanish Pyrenees. Hydrol. Earth Syst. Sci. 12: 523-535.

López-Vicente M, Navas A, Machín J (2009). Geomorphic mapping in endorheic catchments in the Spanish Pyrenees: An integrated GIS analysis of karstic features. Geomorphology 111 (1-2): 38-47.

López-Vicentea M, Navas A, Gaspar L, Machín J (2013). Advanced modelling of runoff and soil redistribution for agriculturalsystems: The SERT model. Agricultural Water Management 125: 1-12.

Mabit L, Klik A, Benmansour M, Toloza A, Geisler A, Gerstman UC (2009). Assessment of erosion and deposition rates within an Austrian agricultural watershed by combining ^{137}Cs, $^{210}Pb_{ex}$ and convencional measurements. Geoderma 150: 231-239.

Mabit L, Meusburger K, Fulajtar E, Alewell C (2013). The usefulness of ^{137}Cs as a tracer for soil erosion assessment: A critical reply to Parsons and Foster (2011). Earth-Science Reviews 127: 300-307.

Machín J, Navas A (1998). Spatial analysis of gypsiferous soils in the Zaragoza province (Spain), using GIS as an aid to conservation. Geoderma, 87: 57-66.

Machín J, López-Vicente M, Navas A (2008). Cartografía digital de suelos de la cuenca de Estaña (Prepirineo Central). Trabajos de Geomorfología en España. X Reunión Nacional de Geomorfología 2006-2008. Ed. Benavente J, Gracia F.J. Cádiz. 153-156.

Menéndez-Duarte R, Fernández S, Soto J (2009). The application of ^{137}Cs to post-fire erosion in north-west Spain. Geoderma 150: 54-63.

Monger CH, Kelly EE (2002). Silica minerals. Soil mineralogy with environmental applications. Ed. Dixon J.B, Schulze D.G. SSSA Book Series 7. Soil Science Society of America. Madison, WI, USA. 611-635.

Navas A (1983). Las litofacies yesíferas de la cuenca del Ebro. Síntesis cartográfica y consideraciones sobre su papel en la planificación territorial. Tesis de Master of Science. IAMZ-CIHEAM. Zaragoza, 239 pp.

Navas A (2002). Erosion features in Mediterranean landscapes assessed by fallout ^{137}Cs. Nucleus 32: 31-37.

Navas A, Machín J, Soto J (2005). Assessing soil erosion in a Pyrenean mountain catchment using GIS and fallout ^{137}Cs. Agriculture, Ecosystems & Environment 105: 493-506.

Navas A, López-Vicente M, Gaspar L, Machín J (2013). Assessing soil redistribution in a complex karst catchment using fallout ^{137}Cs and GIS. Geomorphology 196: 231-241.

Nikolova A, Nedeva D, Tyankova L (2000). Electrophoretic patterns of proteins, isolated from soybean seeds grown under conditions of some mineral deficiency and after different periods of storage. Bulg. J. Pl. Physiol. 26: 27-38.

Papanikolaou EP (1972). Radioactive fallout-plants and soil. Geoponica 208: 224-229.

Parsons AJ, Foster IDL (2011). What can we learn about soil erosion from the use of ^{137}Cs? Earth-Science Reviews 108(1-2): 101-113.

Porto P, Walling DE (2012). Using plot experiments to test the validity of mass balance models employed to estimate soil redistribution rates from ^{137}Cs and $^{210}Pb_{ex}$ measurements. Applied Radiation and Isotopes 70: 2451-2459.

Rigol A, Vidal M, Rauret G (2002). Overview of the effect of organic matter on soil-radicaesium interaction: implications in root uptake. Journal of Environmental Radioactivity 58: 191-216.

Ritchie JC, Ritchie CA (1995). ^{137}Cs use in erosion and sediment deposition studies: Promises and problems. IAEA-TECHDOC 828: 111-124.

Sadiki A, Faleh A, Navas A, Bouhlassa S (2007). Assessing soil erosion and control factors by the radiometric technique in the Boussouab catchment, Eastern Rif, Morocco. Catena 71: 13-20.

Schoorl JM, Fayos CB, de Meijer RJ, van der Graaf ER, Veldkamp A (2004a). The Cs-137 technique applied to steep Mediterranean slopes (Part II): landscape evolution and model calibration. Catena 57(1): 35-54.

Schoorl JM, Boix Fayos C, de Meijer RJ, van der Graaf ER, Veldkamp A (2004b). The Cs-137 technique applied to steep Mediterranean slopes (Part I): the effects of lithology, slope morphology and land use. Catena 57(1): 15-34.

Schuller P, Voigt G, Handl J, Ellies A, Oliva L (2002). Global weapons" fallout ^{137}Cs in soils and transfer to vegetation in south-central Chile. Journal of Environmental Radioactivity 62: 181-193.

Schulze DG (2002). An introduction to soil mineralogy. Soil mineralogy with environmental applications. Ed. Dixon J.B, Schulze D.G. SSSA Book Series 7. Soil Science Society of America. Madison, WI, USA. 1-35.

Soto J, Navas A (2008). A simply model of Cs-137 profiles to estimate soil redistribution in cultivated stony soils. Radiation Measurements 43: 1285-1293.

Staunton S, Dumat C, Zsolnay A (2002). Possible role of organic matter in radiocaesium adsorption in soils. Journal of Environmental Radioactivity 58: 163-173.

Vinichuk M, Màrtensson A, Ericsson T, Rosén K (2013). Effect of arbuscular mycorrhizal (AM) fungi on ^{137}Cs uptake by plants grown on different soils. Journal of Environmental Radioactivity 115: 151-156.

Vosniakos FK (2012). Cs-137 and K-40 concentration in soil and their transfer to plant. Third International Scientific Symposium "Agrosym Jahorina 2012". 10.7251 /AGSY1203379V. UDK 631. 431.1: 620.9.

Wallbrink PJ, Murray AS (1993). The use of fallout radionuclide as indicators of erosion processes. Hydrologic Processes 7: 297-304.

Walling DE, Quine TA (1995). The use of fallout radionuclide in soil erosion investigations. Nuclear Techniques in Soil-Plant Studies for Sustainable Agriculture and Environmental Preservation. IAEA Publ. International Atomic Energy Agency Publication ST1/PUB/947: 597-619.

Walling DE, He Q (1999). Improved models for estimating soil erosion rates from cesium-137 measurements. Journal of Environmental Quality 28: 611-622.

(Aceptado para publicación el 24 de octubre de 2013)

Manejo básico y resultados preliminares de crecimiento y supervivencia de tencas (*Tinca tinca* L.) y lechugas (*Lactuca sativa* L.) en un prototipo acuapónico

J.R. Lobillo*, V.M. Fernández-Cabanás, E. Carmona y F.J. Candón L.

ETSIA-Universidad de Sevilla. Dpto. de Ciencias Agroforestales. Crtra. Utrera Km 1. 41013-Sevilla. España

Resumen

Este trabajo presenta el manejo básico de un prototipo acuapónico así como resultados preliminares sobre el crecimiento de tencas y lechugas en dicho prototipo. El sistema consta de una instalación de recirculación de agua con cuatro elementos en el siguiente orden de dirección del agua: depósito de peces, del que parten dos ramas: una de ellas hacia un biofiltro, zona de hidropónicos en NFT ("*Nutrient Film Technique*") y colector; y la otra hacia la zona de hidropónicos en raíz flotante, que desemboca igualmente en el colector. Los resultados obtenidos durante 66 días de ensayo, criando las tencas a densidades entre 0,68 kg/m^3 y 1,19 kg/m^3, con raciones diarias entre el 0,8 y 1,23% de la biomasa, un volumen total de la instalación de 2.800 litros con tasa media diaria de recambio de agua del 1,26% y parámetros variables de la misma, con máximos y mínimos, respectivamente, de temperaturas, entre 15 y 25ºC; de nitratos, entre 32 y 105 ppm; y de pH entre 7,3 y 8,25, muestran una elevada supervivencia de las tencas (99,32%) y las lechugas (98%); y la finalización del ciclo de estas últimas alcanzando tamaños comerciales. El control de los parámetros citados, más los niveles de oxígeno, y una instalación sencilla de baja densidad de peces sin dispositivos de separación de sólidos, permitió la regulación óptima del sistema.

Palabras clave: Acuaponía, hidroponía, acuicultura, recirculación.

Abstract

Basic operations and preliminary results on the growth and survival rates of tench (*Tinca tinca* L.) and lettuce (*Lactuca sativa* L.) in an aquaponic prototype

This paper presents the basic operations of an aquaponic prototype and preliminary results on the growth of tench and lettuce. This prototype consisting in a water recirculating system made up of: fish rearing tank with two outlet pipes, one of this connected to a biofilter, NFT hydroponics device and sump; and the other one, to a raft hydroponic device draining to the same sump. Results showed a high survival rate of tenchs (99,32%) and lettuces (98%), and finalization of vegetative cycle of lettuce with commercial sizes, under the following assay conditions: tench stock densities between 0,68 kg/m^3 and 1,19 kg/m^3, with daily food rates between 0,88 y 1,23% of fishes biomass, a total system water volume of 2,8 m^3 and 1,26% of water reposition daily rate, and water variables parameters between 15 and 25ºC temperature; 32 and 105 ppm of nitrate levels; and 8,25 and 7,3 pH values. Control of the above mentioned parameters, plus oxygen levels in water, maintaining fish at low densities and without solids removal devices, reached the optimum regulation system.

Key words: Aquaponics, hydroponics, aquaculture, recirculating systems.

* Autor para correspondencia: pepelobillo@yahoo.es

http://dx.doi.org/10.12706/itea.2014.009

Introducción

La acuaponía es el cultivo conjunto de peces y plantas en un sistema de recirculación de agua (Rakocy *et al*., 2006). En un sistema acuapónico, la materia orgánica disuelta en el agua, procedente de los productos de excreción de los peces y/o del alimento que se les suministra, es descompuesta por bacterias, que liberan en el agua sales minerales y nutrientes simples que posteriormente son asimilados por plantas que están creciendo sin suelo, en condiciones hidropónicas. Una vez que las raíces de las plantas retiran del agua los nutrientes, el agua vuelve a los depósitos donde se mantienen los peces, reiniciándose la recirculación. La acuaponía reproduce en condiciones controladas el ciclo del nitrógeno y los mecanismos de depuración del agua en la naturaleza, obteniendo además resultados productivos en términos de biomasa vegetal y animal.

Los sistemas acuapónicos están demostrando claros beneficios frente a la acuicultura o a los cultivos hidropónicos, por separado (Rakocy y Hargreaves, 1993; Rakocy *et al*., 2006; Nelson, 2008), como son: el ahorro en agua; el menor impacto ambiental de los efluentes de la explotación, al ser la carga de nitratos y fosfatos menor (ya que son parcialmente retirados del agua por las plantas); la obtención de dos fuentes de ingresos diferentes, plantas y peces, que comparten infraestructuras y costes; niveles productivos similares o superiores a la hidroponía y acuicultura por separado; y la obtención de productos más saludables, ya que en acuaponía no pueden usarse los tratamientos químicos convencionales frente a las patologías que pudieran aparecer (la mayor parte de productos fitosanitarios perjudican a los peces; y la gran mayoría de los compuestos químicos para tratar ictiopatologías afectan a las plantas). Entre las dificultades se citan: la complejidad inicial de mantener en un equilibrio óptimo las poblaciones de peces, bacterias y plantas; el coste y riesgo del control biológico; y el complejo balance (la ratio) entre la cantidad de peces y la superficie de cultivo hidropónico, todo lo cuál requiere de mayores destrezas, conocimientos y prácticas iniciales.

Actualmente, uno de los sistemas acuapónicos más desarrollados es el UVI, de la universidad de las Islas Vírgenes, que usa la tilapia como pez para la producción de múltiples especies vegetales como lechugas, tomates, pepinos, albahaca, berenjena, perejil, cebollino, espinacas, berro, verdolaga y otras (Savidov, 2004; Rakocy *et al*., 2004).

En España la acuaponía apenas tiene desarrollo, ya que la mayoría de sistemas similares que se están ensayando se encuadran en el concepto más amplio de la acuicultura integrada en el medio marino, por lo tanto, sin aprovechamiento directo de cultivos de plantas terrestres. A nivel internacional, el sistema acuapónico de tenca-lechuga parece no haber sido ensayado aún, o al menos no ha sido publicado, por lo tanto el prototipo acuapónico que presentamos es doblemente innovador, por un lado por dar uno de los primeros pasos para impulsar el desarrollo de la acuaponía en España; y por otro, por avanzar hacia la puesta a punto de un nuevo sistema acuapónico que combina tencas y lechugas.

Los objetivos de este trabajo han sido (1) conocer el funcionamiento y regulación básica de un prototipo acuapónico, determinando qué parámetros son necesarios controlar periódicamente para mantener el sistema en un grado óptimo de funcionamiento; y (2) obtener unos resultados preliminares sobre el crecimiento y la supervivencia de tencas y lechugas en dicho prototipo.

Materiales y métodos

Descripción del prototipo acuapónico

El prototipo (figuras 1 y 2) se instaló en el interior de un invernadero de arcos metálicos recubiertos con láminas de polietileno, con orientación este-oeste y ventilación natural lateral y cenital, ocupando una superficie de aproximadamente 50 m^2, de los 240 m^2 de superficie total del mismo. Dicho invernadero está ubicado en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica (ETSIA) de la Universidad de Sevilla.

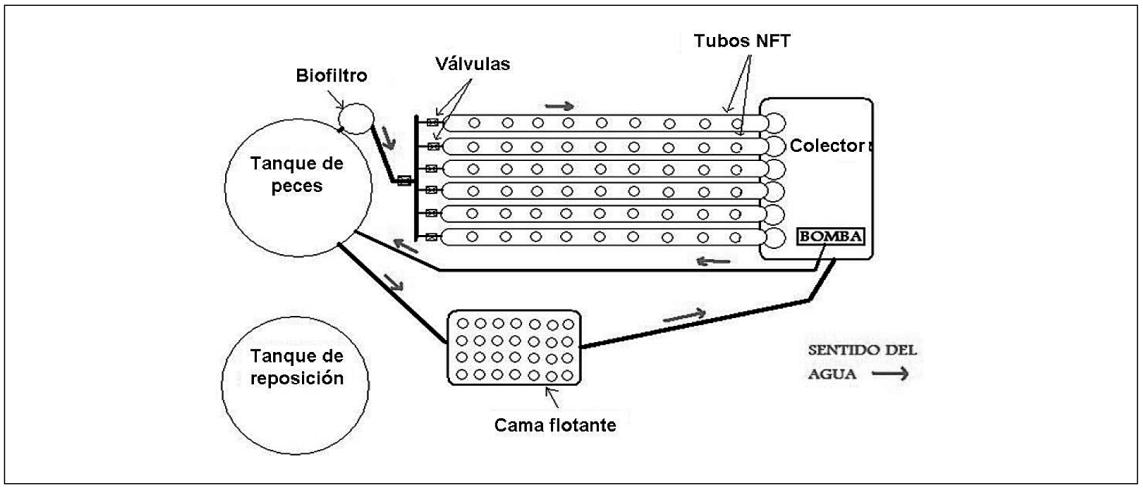


Figura 1. Croquis del prototipo acuapónico.
Figure 1. Aquaponics prototype sketch.



Figura 2. Fotografías del prototipo acuapónico en funcionamiento dentro del invernadero.
Figure 2. Aquaponics prototype running inside the greenhouse.

Los peces se mantuvieron en un depósito cilíndrico de poliéster, de 2.120 litros ("tanque de peces" en la figura 1), donde se instalaron: 2 aireadores "EHEIM" de 400 l/h y 3 calentadores "EHEIM" de 300W cada uno, que mantuvieron una temperatura media en torno a los 20ºC, con mínimos y máximos comprendidos entre los 15 a 25ºC (ver figura 3).

Desde el tanque de peces, el agua tenía dos salidas: la primera, partiendo del fondo del tanque de peces, se conectaba a un biofiltro Eheim 3445 con una capacidad máxima filtrante de 6 m^3, que incorporaba a su salida una bomba de aspiración EHEIM 11201 regulable (caudal de 1.500-3.000 l/h). El agua atravesaba el biofiltro, que albergaba colonias de bacterias nitrificantes sobre substratos de canutillos cerámicos y bolas Eheim Susbtrat Pro (con una superficie de 450 m^2/m^3 de bolas), separando ambos substratos con fibra de perlón azul.

La tubería de salida del biofiltro se dividía en 6 ramales por los que progresaba el agua hacia 6 embudos que desembocaban en 6 tubos de PVC de 90 mm de diámetro y 3 m de longitud, que servían de soporte para las lechugas en el sistema hidropónico de NFT. El agua de salida de los 6 tubos, se vertía sobre otros 6 embudos, con perlón azul en su interior y a través de ellos, a un depósito colector rectangular de poliéster, con 1.040 litros de capacidad.

En la segunda salida del tanque de peces, el agua fluía por gravedad hacia un depósito rectangular de poliéster de 320 litros de capacidad, con unas dimensiones de 104 (largo) x 73 (ancho) x 57 cm (altura), que se usó como contenedor para mantener el sistema hidropónico en raíz flotante. Desde aquí, el agua era canalizada hasta el depósito colector, donde una bomba sumergible y regulable, con un caudal de 2.500-5.000 l/h, la devolvía hasta el tanque de peces para iniciar la recirculación a través de los elementos descritos.

El volumen total de agua recirculante por la instalación era aproximadamente de 2.800 l. Otro depósito cilíndrico de poliéster, de 2.120 l, se usó para reponer las pérdidas de agua debidas a la evaporación y a la evapotranspiración de las plantas, así como para realizar las renovaciones o recambios diarios de agua. Se estableció inicialmente una tasa de renovación del 2% del total del volumen de agua recirculante, siguiendo las recomendaciones de Rakocy *et al*. (2006) que estiman que, en sistemas cerrados de recirculación de agua, con niveles de recambio de agua inferiores al 2%, los nutrientes disueltos, procedentes de las excreciones directas del metabolismo de los peces o generados por la acción bacteriana sobre los residuos orgánicos, se acumulan en concentraciones similares a las presentes en una solución hidropónica de nutrientes. Antes de incorporar el agua de este depósito al circuito acuapónico, se sometía a dos tratamientos diferentes. Por un lado, la eliminación de cloro mediante agitación con turbulencias y oxigenación del agua durante 48 horas, por medio de una bomba Eheim sumergible de 1.200 l/h y un aireador Ehiem de 400 l/h. Y posteriormente el ajuste del pH, mediante mezcla del agua de la red (con una dureza media-alta) con agua osmotizada, para reducir el kH de la primera hasta 3-4º d (grados alemanes); y posteriormente adición de HCl, para aproximar el pH del agua de este tanque de reposición, al pH que tuviera el agua del circuito acuapónico en cada momento.

Los dos subsistemas hidropónicos mencionados, fueron: el NFT ("*Nutrient Film Technique*"), donde el agua con la solución de nutrientes atraviesa las raíces de las plantas en forma de una película fina de apenas 1-2 cm de espesor, favoreciendo así el máximo contacto de las raíces con el aire. Y el otro sistema, conocido como de "cama o raíz flotante" ("*Raft system*"), donde las raíces permanecen totalmente sumergidas en el agua con la solución de nutrientes, necesitando en este caso aplicar aireación suplementaria en el agua.

Para el sistema NFT se emplearon 6 tubos de PVC de 9 cm de diámetro y 3 metros de lon-

gitud cada uno, colocados en paralelo sobre una mesa de rejilla de 1,5 x 3 m y 0,80 m de altura, que les servía de soporte, separando los tubos entre sí 20 cm. A lo largo de los 3 metros de tubos se practicaron cada 20 cm agujeros de 5 cm de diámetro en su parte superior, colocando cestillas de rejilla en su interior para el soporte de las plantas. El agua entraba en los tubos a través de un embudo colocado en una perforación próxima a un extremo, desplazándose por gravedad con una pendiente del 2% hasta el otro extremo del tubo, donde se colocaba otro embudo antes de verter el agua al colector.

Durante los 15-20 días posteriores al trasplante de las lechugas en los tubos NFT, se colocaba un tapón reductor a la salida de los tubos, para elevar el nivel del agua en su interior hasta los 3-4 cm, para ayudar a la rápida elongación de las raíces hacia la película de nutrientes que pasaba por el interior de los tubos. También se emplearon fibras de poliéster sobre las cestillas de siembra, dando soporte al cepellón de turba en el momento de los trasplantes.

El sistema de raíz flotante se instaló sobre el depósito de poliéster de 320 l descrito anteriormente, manteniéndose una altura de agua de 30 cm y colocando sobre el mismo una plancha flotante de poliespán o corcho blanco (poliestireno expandido) de 4 cm de grosor. Sobre esta plancha se practicaron orificios de 5 cm de diámetro, distanciados entre sí 10 cm, insertando en los mismos las cestillas de soporte de plantas. El agua dentro de este depósito se oxigenó mediante 2 aireadores Eheim de 400 l/h.

Descripción de las poblaciones de peces, bacterias y plantas

Los sistemas acuapónicos mantienen tres poblaciones simultáneamente, de peces, plantas y bacterias. Para los peces, se partió de una población inicial de 736 alevines de tencas (*Tinca tinca* L.), con aproximadamente 7-8 meses de edad y pesos comprendidos entre 1-3 gramos, sumando una biomasa total de 1.904 gramos. Los alevines fueron proporcionados por el Centro Regional de Acuicultura "Las Vegas del Guadiana", empresa pública perteneciente a la Junta de Extremadura, situada en Villafranco del Guadiana. Se eligió la tenca como especie para el prototipo acuapónico, por ser una especie plenamente adaptada a la climatología de la Península Ibérica y por presentar una gran resistencia a los cambios en la calidad del agua.

La tenca es una especie omnívora para la cual no existen aún piensos comerciales específicos (Quirós *et al*., 2003), por lo cual durante el ensayo se les suministró pienso de arranque para salmónidos, marca Dibaq, tipo microbaq-15, con un 50% de proteína, suplementando 1 vez a la semana con 3 gramos (peso seco) de adultos de pulga de agua (*Daphnia sp*.) y artemia (*Artemia salina*) ambas congeladas, siguiendo las recomendaciones de Wolnicki *et al*. (2003), que probó diferentes tipos de dietas y combinaciones entre pienso seco y alimento natural (vivo o congelado). El alimento se suministró partiendo de una ración del 0,8% diario de la biomasa de tencas, reajustada aproximadamente cada 28-32 días tras pesar a toda la población. Esta ración se repartía en dos tomas, una próxima al amanecer y la otra al atardecer.

Para las pesadas, se extraían el total de las tencas del tanque y se anestesiaban tras depositarlas en un recipiente con 20 litros de la misma agua del circuito acuapónico, el cual contenía esencia de clavo natural (Guinama®) a razón de 1 ml por cada 10 l de agua. A continuación se pesaba toda la biomasa en una báscula y posteriormente se depositaban en un recipiente con agua limpia del circuito acuapónico, aireada con un compresor Eheim de 400 l/hora, para facilitar la recuperación de la anestesia.

Con los datos obtenidos de las pesadas se obtenían el Índice de Conversión Medio (ICM), la Ganancia Media Diaria (GMD) y la Tasa de Crecimiento Específico (SGR, "*Specific Growth Rat*e", expresada como porcentaje del peso corporal incrementado por día.), en el intervalo de tiempo entre cada pesada, según las fórmulas a continuación, donde T1 es la fecha de la pesada inicial; T2, la de la siguiente pesada tras 28-32 días; Pm1 es el peso medio por pez en la T1, que se calcula dividiendo la biomasa de peces entre el número total de peces, y Pm2, el peso medio por pez en la siguiente pesada, obtenido dividiendo la biomasa de peces en la T2, entre el número total de peces.

$$ICM = \frac{Kg_{Pienso}}{n^{o}\,Peces \times \left(Pm2\left(Kg\right) - Pm1\left(Kg\right)\right)} \qquad GMD = \frac{Pm2 - Pm1}{T2 - T1} \qquad SGR = \frac{Ln(Pm2) - Ln(Pm1)}{T2 - T1} \times 100$$

Para las plantas, se optó por la lechuga Romana por presentar sólo crecimiento vegetativo hasta alcanzar el tamaño comercial, por no ser muy exigente en nutrientes y porque se puede cultivar sin entutorar. Se germinaron 124 semillas sobre un semillero de poliestireno expandido de dimensiones 698 x 484 x 73 mm, llenando con turba la mitad de los alveolos del semillero e introduciendo una semilla de lechuga por alveolo.

Las plantas se mantuvieron en el semillero hasta que alcanzaron 4 hojas verdaderas, aproximadamente BBCH = 14 (Meier, 2001), luego se trasplantaron a las cestillas de soporte (manteniendo parte de la turba que envolvía las raíces) y, finalmente, se repartieron entre los 3 subsistemas hidropónicos: los tubos del NFT, las láminas flotantes de poliespán y en 8 macetas individuales que contenían substrato de perlita (estas últimas, no incluidas en el prototipo acuapónico y utilizadas como testigos). Los trasplantes se realizaron en diferentes fechas de forma escalonada, según iba aumentando la cantidad de alimento suministrado a los peces, en función del aumento de su biomasa.

Del total de 124 plantas con 4 hojas, se tomaron 108 para trasplantar, de las cuales, 78 para los NFT; y otras 22 para la raíz flotante. Las restantes 8 plantas, sembradas en perlita sobre macetas individuales de 5 litros, no se incluyeron en la instalación acuapónica, regándose periódicamente con solución nutritiva de Hoagland (Hoagland y Arnon, 1950). La idea era registrar el crecimiento de estas 8 plantas con todos los nutrientes a su disposición, como referencia para observar el crecimiento del resto de lechugas en las condiciones acuapónicas.

Para estimar el grado de finalización del ciclo vegetativo, se midieron el número, altura y anchura de las hojas, así como el perímetro del cogollo y el porcentaje de materia seca en las hojas (esto último al finalizar el periodo de ensayo). Los valores se tomaron en plantas cultivadas en los tres sub-sistemas hidropónicos (NFT, raíz flotante e hidroponía convencional sobre perlita) y con la misma fecha de trasplante (el 12/01/2012), tomando al azar aproximadamente el 50% de las plantas de cada sub-sistema y realizándose las medidas una vez a la semana.

La altura de las plantas se tomaba poniendo el cero de la escala justo encima del cepellón, donde empieza la parte aérea de la planta. Para la anchura de las hojas, se tomaron dos por planta que estuviesen más o menos opuestas, señalándose con una etiqueta. Cuando las lechugas tenían unas 20 hojas desplegadas (BBCH = 45), se ataron con una gomilla con el fin de que formasen el cogollo. Siguiendo la circunferencia de la gomilla, se medía el perímetro del cogollo (a partir del atado, dejó de medirse la anchura de las hojas). Se contabilizaron también el número de hojas verdaderas que tenían las lechugas marcadas, excluyendo los cotiledones y contabilizando sólo las hojas totalmente desplegadas.

Al final del periodo de ensayo, se tomaron 5 lechugas seleccionadas al azar en los 3 subsistemas hidropónicos, anotando su peso fresco justo en el momento de la cosecha. Posteriormente se depositaron sobre bandejas metálicas numeradas, que fueron introducidas en una estufa a 65ºC durante 48 horas. Tras este tiempo se volvieron a pesar, obteniendo por la diferencia de pesadas, la media del porcentaje de materia seca de cada grupo.

Con objeto de facilitar el crecimiento y la proliferación de las bacterias nitrificantes durante la puesta a punto del sistema, se mantuvo en funcionamiento el prototipo acuapónico ya montado, sin peces ni plantas, durante 6 semanas, con el agua recirculando por toda la instalación. Durante este periodo (tiempo del ciclado del nitrógeno), se adicionaron semanalmente inóculos concentrados de bacterias "Biodigest" (Prodibio), a razón de una ampolla de 10 ml a la semana, para el total del volumen de agua de la instalación (2.800 litros, aproximadamente). En dos ocasiones, cada 3 semanas, también se adicionaron unos 28 gramos de pienso para peces, como sustrato orgánico para impulsar la nitrificación.

Control de parámetros físico-químicos del agua

Para conocer el funcionamiento del sistema acuapónico y llegar a regularlo, se registraron diariamente diferentes parámetros físico-químicos del agua, como el pH, la conductividad eléctrica y la temperatura; y semanalmente los niveles de fosfatos (PO_4^{3-}), nitratos (NO_3^-) y oxígeno (O_2) disuelto. Todas las muestras de agua se tomaron en el tanque de peces.

Otro parámetro esencial que se registró y es esencial en los sistemas acuapónicos, es la "ratio" o proporción entre la cantidad de pienso suministrado diariamente a los peces (en gramos) y la superficie del cultivo vegetal (metros cuadrados) en producción.

Resultados

La evolución de tres de los parámetros físico-químicos del agua (temperatura, pH y nitratos) durante el tiempo de ensayo se muestra en la figura 3. El pH descendió, desde 8,25 al inicio del ensayo ya con las lechugas trasplantadas en el sistema acuapónico (o desde 8,59 al inicio del ciclado), hasta 7,3 al final del ensayo al cosechar las lechugas.

La temperatura del agua osciló durante todo el periodo de ensayo, desde un mínimo de 15,5ºC hasta máximos de 24,5ºC, siendo la temperatura media de 20,04 ± 2,36ºC.

En cuanto al nivel de nitratos, la figura 3 muestra que los niveles se mantuvieron entre mínimos y máximos de 32 y 105 ppm, respectivamente, con un valor medio de 69,87 ± 15,04. Los niveles permanecieron en un intervalo constante en el segundo mes de ciclo de las lechugas, entre 60 y 80 ppm. La conductividad eléctrica (CE), se mantuvo estable entre valores de 1.000 y 1.200 µS/cm, equivalentes a 600-720 ppm de TDS (sólidos disueltos totales); y los niveles de oxígeno se mantuvieron constantes durante todo el ensayo en 5 mg/l. Por último, la tasa de renovación media diaria de agua, fue del 1,18%, es decir, renovamos 35,27 litros al día, de los 2.800 litros totales de la instalación.

Del número total de peces introducidos al comienzo del ensayo (736 tencas), sobrevivieron 731, por lo tanto la supervivencia fue del 99,32% (tabla 1). De las cinco bajas, tres de ellas se produjeron por pequeños fallos de manejo durante los muestreos para pesar los peces (aplastamientos en la red o mala recuperación de la anestesia). Tan sólo dos de los cinco peces murieron por causas desconocidas, sin mostrar síntomas patológicos reconocibles o malformaciones físicas.

Los resultados preliminares sobre el crecimiento de las tencas se recogieron a partir de las 4 pesadas durante 89 días (23 días previos a los trasplantes de lechugas y 66 días más de

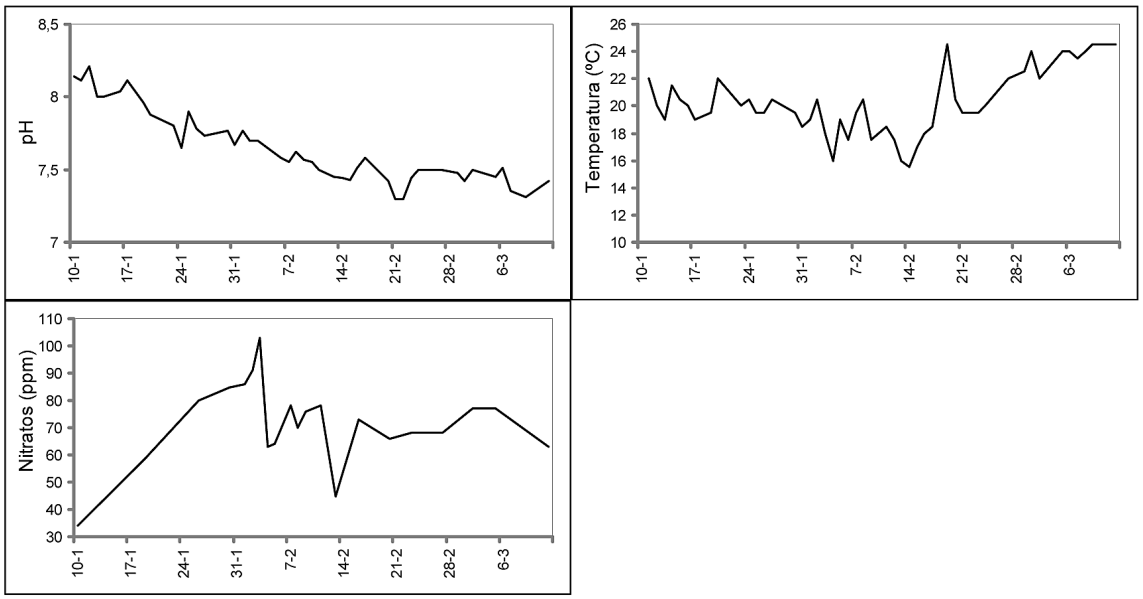


Figura 3. Cambios en pH, temperatura y niveles de nitratos en el agua del circuito acuapónico.
Figure 3. Changes in pH, temperature and nitrate levels in aquaponics water circuit.

Tabla 1. Resultados obtenidos en las cuatro pesadas de las tencas
Table 1. Results for the four weighing controls of tench

Fecha	Biomasa (g)	Alimento consumido (g)	ΔPeso (g)	Nº peces (mortalidad)	ICM	GMD (g)	SGR (%/día)
15/12/2011	1.904(1)	–	–	736 (0)	–	–	–
16/01/2012	2.335	598	431	733 (3)	1,36	0,02	0,65
13/02/2012	3.036	804	701	733 (0)	1,15	0,03	0,94
12/03/2012	3.304	656	268	731 (2)	2,37	0,01	0,31

(1). Biomasa inicial.

crecimiento conjunto de lechugas y tencas), mostrándose en la tabla 1. Las tencas aumentaron su peso en una media de 1,92 gramos/pez en los 89 días, con valores mínimos y máximos de ICM y SGR, de 1,15-2,37; y 0,31-0,94%/día, respectivamente. La media para estos tres parámetros igualmente durante los 89 días fue de 1,55 ± 0,65 para el ICM; de 0,018 ± 0,010 para la GMD; y de 0,5743 ± 0,3153%/día para la SGR.

En cuanto a la supervivencia de las lechugas, sólo se registraron 2 bajas durante los días posteriores al trasplante en el sistema NFT. De las 22 plantas que se trasplantaron en el sistema de raíz flotante, consiguieron sobrevivir el 100%. Por lo tanto, la mayoría de las 100 plantas consiguieron completar su ciclo, con una supervivencia total del 98%.

El grado de finalización del ciclo de las lechugas, se muestra en las gráficas de la figura 4 que detallan la evolución de su altura, anchura, número de hojas y perímetro del cogollo, en los tres subsistemas hidropónicos. La tabla 2 muestra finalmente, los diferentes pesos frescos, secos y porcentajes de materia seca de las lechugas en los tres subsistemas hidropónicos. Tampoco se presentaron patologías reconocibles y la única deficiencia detectable fue de potasio, cuyos síntomas desaparecían rápidamente en 48 horas, aplicando sulfato potásico al 1,5% por vía foliar. No se presentaron deficiencias ni de hierro ni de calcio.

La ratio fue descendiendo conforme aumentaba la superficie de cultivo hasta el máximo de 5,2 m^2 (4,5 m^2 en NFT y 0,7 en raíz flotante). En este punto, 24 gramos de pienso para peces, soportaron 5,2 m^2 de cultivo de lechugas creciendo durante su último mes de desarrollo vegetativo, por lo tanto una ratio final de 4,62 gr/m^2.

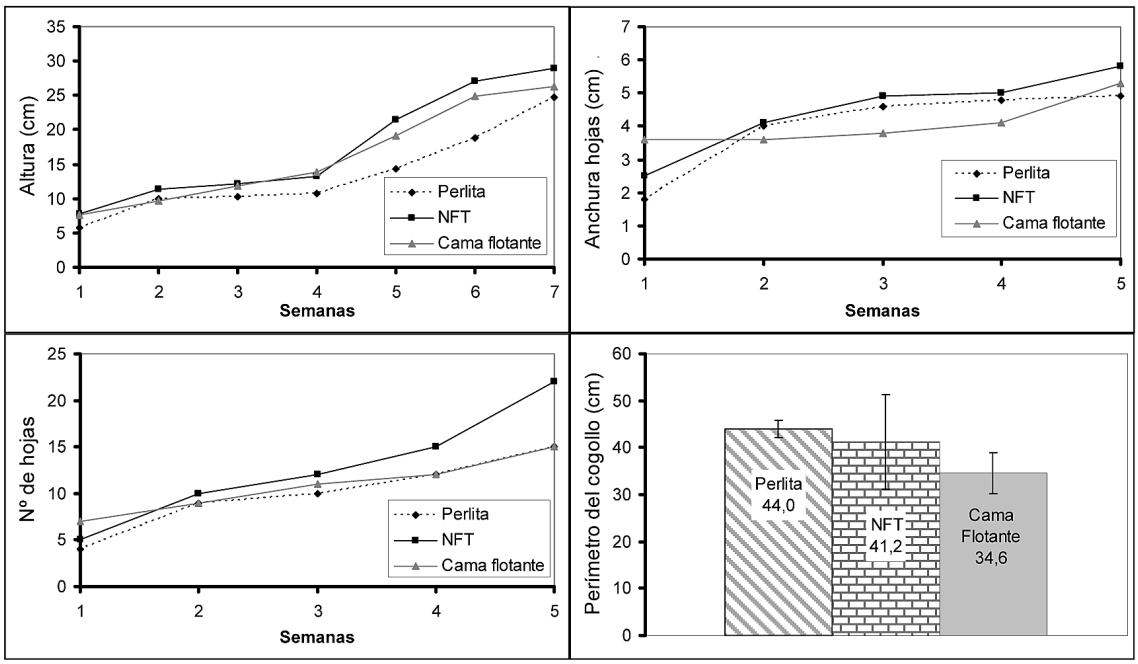


Figura 4. Evolución de la altura, anchura y número de hojas de lechugas; y perímetro del cogollo, en los tres subsistemas hidropónicos.
Figure 4. Evolution of lettuce leaves height, width and number, and perimeter of the bud in the three hydroponics subsystems.

Tabla 2. Medias (± desviación típica) del peso fresco de las lechugas cosechadas y humedad de las muestras
Table 2. Means (± standard deviation) of fresh weight of harvested lettuces and moisture contents

Subsistema hidropónico	Peso fresco (g)	Humedad (%)
Perlita	380,8 ± 44.2	93,9
NFT	611,3 ± 241.7	95,1
Cama Flotante	332,1 ± 114.9	95,2

Discusión

El manejo básico de un sistema acuapónico parte de cierta complejidad inicial por el hecho de mantener simultáneamente, a tres poblaciones de seres vivos estrechamente interrelacionadas: peces, plantas y bacterias. Este punto de partida conlleva, por un lado, un control más exhaustivo de los parámetros físico-químicos del agua; y por otro, conseguir una óptima proporción (o ratio) entre la cantidad de comida suministrada diariamente a los peces y la superficie de cultivo de plantas en crecimiento (Rakocy *et al*., 2006). El objetivo de estos controles es conseguir un equilibrio dinámico en las condiciones del sistema que favorezca, tanto la producción de peces y plantas, como la acción de las bacterias en la nitrificación y en general en la mineralización de la materia orgánica.

El progresivo descenso del pH mostrado en la figura 3 se debió principalmente a la producción de ácido nítrico resultante de la nitrificación bacteriana. Esta bajada de pH hacia el entorno de 7, es esencial para el buen funcionamiento de un sistema acuapónico, ya que hay que buscar un punto medio que garantice la disponibilidad y absorción de nutrientes para las plantas (la mayor parte de las cultivadas en hidroponía lo hacen de manera óptima entre pHs de 5,8 y 6,2); y al mismo tiempo favorezca la nitrificación bacteriana, con óptimos entre 7 y 9 (mayor eficiencia a pHs superiores a 8). En el caso de las tencas, los márgenes de pH a los que pueden vivir son bastante amplios, entre 6 y 9 (Carbó, 2009). De esta información, se deduce que los valores de pH en torno a la neutralidad, serían los favorables para las bacterias, plantas y peces (Rakocy *et al*., 2006).

Observamos en la figura 3, que desde los primeros trasplantes de las lechugas y durante un mes (07/01 al 7/02), las lechugas crecieron a pHs entre 8,25 y 7,5-7,6, margen notablemente por encima de los recomendado para la producción vegetal en hidroponía, ya que perjudican la absorción y asimilación de nutrientes como el hierro, potasio, manganeso o zinc (Rakocy *et al*., 2006). Sin embargo, la alta supervivencia de las lechugas, la finalización de su ciclo vegetativo y las deficiencias presentadas únicamente en potasio, parecen mostrar que a pHs en torno a 7,5 y con las aguas de origen calizo empleadas, en las que el pH ha ido descendiendo paulatinamente, ha sido también posible la producción acuapónica de lechugas.

También es posible que estos poco favorables márgenes de pH, se hayan visto compensados en parte por altos niveles de nutrientes disueltos. Algunos autores (Ako y Baker, 2004), encontraron que niveles de nitratos por encima de 40 mg/l, indican que los otros macro y micronutrientes (salvo el hierro), alcanzan valores óptimos en la solución acuapónica. En nuestro prototipo, los niveles de nitratos estuvieron siempre por encima de 30 ppm, con picos máximos de 105 ppm y márgenes estables en el segundo y último mes del ciclo de la lechuga, entre 60 y 80 ppm.

De estos resultados podríamos sacar una conclusión práctica para el manejo básico del pH en una instalación acuapónica, partiendo de aguas con dureza media-alta con pHs por encima de 8. Podemos dejar que el ácido ní-

trico resultante de la nitrificación bacteriana vaya reduciendo poco a poco el pH, siempre que el agua que usemos para reponer las pérdidas por evaporación o para dar recambios de agua, que en nuestro caso seguía siendo agua a pH >8, esté acondicionada de la manera ya descrita, para que se añada con un pH similar al que tenga en ese momento la instalación acuapónica. De este modo, y al no aportar más carbonatos en exceso, permitimos que la nitrificación baje el pH progresivamente.

Los valores obtenidos de conductividad (CE) están muy por debajo de los niveles máximos fitotóxicos de 2.000 ppm, y por encima de los mínimos de 200-400 ppm propuestos por Rakocy *et al.* (2006) para los sistemas acuapónicos. Como el nivel de TDS, hace referencia al nivel de los nutrientes disueltos, los valores estables obtenidos en el prototipo acuapónico de baja densidad, parecen indicar que la materia orgánica se va mineralizando a un ritmo tal que permite un suministro suficiente de nutrientes para las lechugas; y por otro lado, se evita la acumulación de sólidos en las raíces de las lechugas, hecho que terminaría por necrosar el sistema radicular.

Los niveles estables de oxígeno se consiguieron, como ya se ha descrito en el apartado de material y métodos, con compresores de aire de 400 l/h; con oxigenación extra (por difusión), en la capa de contacto agua-aire dentro de los tubos NFT; por caídas de cascada entre elementos de la instalación; y por un dispositivo Venturi en la entrada del agua al tanque de peces.

En cuanto a la temperatura, al igual que el pH, se trató de buscar un valor medio que favoreciera el crecimiento de plantas, bacterias y peces. La tenca tiene una gran tolerancia térmica, con valores mínimos críticos por debajo de 0ºC y picos máximos de temperatura cercanos a 35ºC (De La Puente, 2002), encontrándose los máximos rendimientos de crecimiento y de conversión de alimento en torno a los 27,5ºC (Wolnicki y Korwin-Kossakowski, 1993; Panagiotis y Hatzinikolau, 2011). Para la biofiltración, según DeLong y Losordo (2012), los valores óptimos de temperatura de encuentran entre 25 y 30ºC (a 18ºC la nitrificación trabaja al 50%). La mayoría de las plantas se desarrollan bien cuando la temperatura de la región alrededor de las raíces se encuentra entre 20 y 25°C, si bien la temperatura óptima para la lechuga se encuentra alrededor de 18ºC.

Según los valores citados, una temperatura óptima para las tencas, lechugas y bacterias rondaría los 25ºC. Ya que pretendíamos que el prototipo acuapónico se ensayara en condiciones lo más parecidas posibles a las de cultivo en invernaderos en la zona del ensayo, con la idea de transferir la tecnología acuapónica a escala familiar o de pequeños productores; y ya que la inversión en equipos de calentamiento de agua es muy elevada, con el consecuente consumo eléctrico, optamos por regular la temperatura del agua entre márgenes más amplios, partiendo del efecto térmico del invernadero y de equipos de calentamiento de bajo costo, disponibles fácilmente en el mercado y con baja potencia calorífica. En estas condiciones, se alcanzó la temperatura media citada de 20,04 ± 2,36ºC.

En cuanto a las oscilaciones en los niveles de nitratos, lo primero a señalar es lo ya mencionado sobre su utilidad como indicadores de los niveles de macro y micronutrientes disponibles para las plantas (Ako y Baker, 2004). Niveles por encima de 40 ppm parecen indicar que hay suficiente disponibilidad de los macro y micronutrientes (salvo el hierro). Durante la mayor parte del periodo de nuestro ensayo, los nitratos permanecieron por encima de 40 ppm, presentándose únicamente deficiencias en potasio.

Lo segundo a señalar, es que los nitratos también pueden ser útiles para estimar los diferentes puntos de equilibrio que se van alcanzando en el sistema acuapónico, en función de los factores que hacen que aumenten o

disminuyan sus niveles. Factores que aumentan, son: la nitrificación y la cantidad de alimento diario suministrado a los peces (relacionada directamente con la ratio); y aquellos que los reducen o retiran del sistema, como son: la tasa de renovación diaria de agua y la capacidad de absorción radicular de las plantas. Tomando como referencias los niveles estables de nitratos alcanzados en el último mes del ensayo (entre 60 y 80 ppm), podríamos decir que se alcanzó un punto de equilibrio entre los factores que influyen en la producción y retirada de los mismos del agua. Otros factores, aunque con mucho menor efecto, serían: el agua de origen para la instalación, como aporte extra de nitratos; y la desnitrificación, en pequeños "bolsas" anaeróbicas de la instalación, como reductora de los niveles de nitratos

También hay que considerar otro factor más complicado de controlar, que es la ingesta de los peces. Debido a la ausencia de piensos específicos para tencas (De Pedro *et al*., 2001; Wolnicki *et al*., 2006), son frecuentes los rechazos parciales de las raciones, lo que nos llevaba a disminuir de vez en cuando las raciones diarias, para evitar acúmulos indeseables de restos de pienso en el agua. También los cambios en la ingesta han podido estar influidos por las oscilaciones de la temperatura del agua.

Los niveles de nitratos también fueron utilizados como referentes para aumentar o disminuir la tasa de renovación diaria de agua. Si estos se aproximaban a 100 ppm, entonces se aumentaba dicha tasa por encima del nivel de referencia del 2%. Si los niveles descendían, se reducía igualmente esta tasa. Niveles de fosfatos alrededor de 0,5 ppm también orientaban para las renovaciones diarias de agua. Como media para los 66 días del ensayo, la tasa de renovación fue finalmente del 1,18%.

En cuanto a la supervivencia, tanto de tencas como lechugas, los resultados obtenidos muestran elevados porcentajes para ambas especies. Al instalar un único prototipo, sin repeticiones, y al no existir un grupo control de tencas en un sistema en recirculación, sin parte hidropónica, no podemos afirmar que estos elevados porcentajes de supervivencia sean concluyentes, aunque sí parecen indicar que se realizó una adecuada regulación del prototipo acuapónico que favoreció la supervivencia de ambas especies.

Además, cabe destacar que no aparecieron síntomas de patologías reconocibles en las tencas, hecho notable teniendo en cuenta que los parámetros físico-químicos del agua fueron variando gradualmente durante el tiempo del ensayo. Así por ejemplo (ver figura 3), la temperatura del agua osciló entre los 15ºC y los 25ºC, el pH fue bajando gradualmente desde 8,25 hasta un mínimo de 7,3, así como los nitratos, que oscilaron también desde valores mínimos de 32 ppm hasta máximos de 105 ppm. Y en las lechugas, sólo se presentó la ya citada deficiencia de potasio. Esto parece indicar que los nutrientes liberados en el agua por los peces, producto de la digestión y metabolismo de su alimento, y por la posterior acción bacteriana, alcanzaron niveles suficientes para hacer crecer y desarrollarse las lechugas de forma óptima.

Los resultados obtenidos sobre el crecimiento de tencas y lechugas, parecen estar dentro de los márgenes esperados. Para las primeras, los valores medios de ICM, de 1,55 ± 0,65, y de SGR de 0,5743 ± 0,3153%/día, se aproximan a los observados por otros autores que realizaron ensayos de crecimiento de tencas sólo en sistemas de recirculación, en condiciones similares de temperatura al prototipo (entre 22-27ºC), con diferentes tipos de pienso y pesos de tencas comprendidos entre 2 y 25 gramos. Así por ejemplo, Tomás-Vidal *et al*. (2011) obtuvieron un índice de conversión de 2,15 y SGR entre 0,61-0,64%/día. Panagiotis y Hatzinikolau (2011) registraron conversiones entre 1,41 y 2,77, y un mejor valor para la SGR del 0,25%/día. Finalmente, Quirós *et al*. (2003) obtuvieron SGR entre 0,7 y 1,26%/día. Estos resultados

apoyarían la idea de que el prototipo acuapónico estaría funcionando en unas condiciones tales, que favorecen el crecimiento de la tenca, de una manera similar a como lo hace en un sistema de recirculación de agua en acuicultura. Como ya indicamos, estos resultados habría que validarlos con un grupo control de tencas creciendo sólo en un sistema de recirculación, sin parte hidropónica.

Para las lechugas, los resultados en altura, anchura, número de hojas y perímetro del cogollo, (figura 4) parecen encontrarse dentro del los márgenes óptimos propuestos por Gregory (1992) para la lechuga romana. Y aquellos obtenidos para los pesos frescos, secos y% de materia seca (tabla nº 2), en los tres subsistemas hidropónicos, igualmente parecen encontrarse dentro de los valores normales propuestos por Herrmann (2001) para esta misma variedad de lechuga.

Por otro lado, el crecimiento de las lechugas en el prototipo acuapónico, medido por las variables mencionadas, parece ser similar o próximo al crecimiento en hidroponia convencional con substrato de perlita. Estos resultados, unidos a las altas tasas de supervivencia de las lechugas, parecen volver a mostrar que en el prototipo acuapónico no sólo se dan las condiciones suficientes para una alta supervivencia de estas plantas, sino que, adicionalmente, podría ofrecer resultados productivos dentro de los márgenes esperados.

Todos estos resultados referentes a los diferentes parámetros de crecimiento en tencas y lechugas, y al grado de finalización del ciclo productivo en las segundas, no son concluyentes como ya hemos mencionado y estarían pendientes de validación completando el diseño experimental. Sólo pretendíamos que dichos resultados, de acuerdo a los dos objetivos propuestos para este ensayo, nos orientaran para ensayos posteriores de una instalación acuapónica en producción, para entonces sí, validar la viabilidad técnico-productiva, medioambiental y económica.

Los resultados orientativos obtenidos con este primer prototipo, han sido útiles para mejorar el funcionamiento del mismo, esta vez con tencas-tomates (Lobillo *et al*. 2013a); y posteriormente para optimizar la regulación y completar el diseño experimental poniendo a punto una instalación por triplicado con tencas-fresas (Lobillo *et al*. 2013b). Los resultados de estos ensayos, que partieron del prototipo acuapónico aquí descrito, nos han servido finalmente para poner a punto un nuevo prototipo para la producción acuapónica, en condiciones productivas de campo, que actualmente está probando una asociación de productores hortícolas (asociación de agricultura ecológica, social y comunitaria del Polígono Sur (Sevilla), "*Verdes del Sur*").

A diferencia del UVI System (Rakocy *et al*., 2006; Nelson y Pade, 2010), u otros sistemas acuapónicos desarrollados en Alberta (Canadá) en los últimos 25 años, adaptando el sistema UVI dentro de invernaderos (Savidov, 2005), el prototipo acuapónico cuyos resultados mostramos en este artículo, parte de mantener los peces a bajas densidades, siguiendo el ejemplo de otros sistemas desarrollados con anterioridad (Van Gorder, 2003; Hughey, 2008; Friend y Mann, 2010). En el prototipo, alcanzamos una densidad máxima de peces al término de la cosecha de lechugas de 1,19 Kg/m^3, partiendo de 0,680 Kg/m^3, a diferencia del sistema UVI, que alcanza densidades máximas entre 60 y 70 kg/m^3 (Rakocy *et al*., 2006). Estas densidades tan altas liberan gran cantidad de nutrientes para las plantas, maximizando la producción vegetal y animal; sin embargo exige una mayor inversión, mayor gasto energético, y sobre todo, un mayor nivel de conocimientos tecnológicos para manejar los elevados niveles de sólidos en suspensión que produce el sistema.

En su lugar, la idea inicial de este trabajo fue poner en marcha un prototipo que fuera fácil de manejar, con una baja inversión y sencillez tecnológica, de modo que fuera fácil-

mente exportable a escala familiar o de pequeños productores, con vistas al autoconsumo o a la venta en mercados locales, en el marco de la soberanía alimentaria. Con esta idea de partida y la práctica ausencia de experiencias documentadas de producción acuapónica en España, los sistemas de alta densidad como el modelo UVI (Rakocy *et al*., 2006), que requieren de mayores conocimientos técnicos, inversión y complejidad tecnológica, no nos parecían los adecuados para la promoción inicial de sistemas acuapónicos a pequeña escala.

Además, existen aún pocos estudios sobre el cultivo de tencas a altas densidades en sistemas de recirculación de agua, por lo que era prudente empezar con bajas densidades. Por lo tanto, el prototipo que hemos puesto en marcha es del tipo de "baja densidad", lo que facilita el manejo y evita o reduce notablemente la utilización de aireación suplementaria, lo que supone un ahorro energético considerable. También evita el empleo de dispositivos para la eliminación de sólidos, así como otros dispositivos para la desnitrificación y desgasificación. Esto reduce la inversión inicial y simplifica el manejo de la instalación.

Previo a este trabajo, se ha empleado una vez la tenca en acuaponía en España, en la comunidad de Extremadura (DOE, 2006), donde el cultivo de esta especie tiene cierto desarrollo, además de en Castilla-León (De La Puente, 2002). Este trabajo ha tratado de continuar esta experiencia innovadora (Jambrina *et al*., 2011).

Otros resultados que hemos obtenido con el prototipo acuapónico tenca-lechuga, también pueden servir de orientación para abrir otras investigaciones que valoren su impacto medioambiental. Por ejemplo, el valor obtenido de la tasa de renovación media diaria de agua, es inferior al empleado en los sistemas de recirculación en acuicultura (SRAs), donde la tasa oscila normalmente entre el 5 y el 10% diario (Masser *et al*., 1999; Carbó, 2009); y también es inferior al valor de referencia del 2% propuesto por Rakocy *et al*. (2006) para los sistemas acuapónicos. Este hecho supone ventajas tanto económicas como medioambientales, derivadas del ahorro en el consumo de agua.

Respecto a los efluentes, se alcanzaron máximos de nitratos y fosfatos de 105 ppm y 1,8 ppm, respectivamente, valores altos que tendrían un impacto medioambiental negativo Para atajar esta desventaja se podría aumentar la superficie de cultivo de lechugas, de modo que extraigan más nitratos y fosfatos del agua, lo que probablemente llevaría a la aparición de nuevas y más tempranas deficiencias en las plantas, dado que se extraerían también otros macro y micronutrientes que se encuentren a concentraciones más bajas.

También se podrían plantear otras alternativas, que no fueron ensayadas en este proyecto y se proponen como nuevas líneas de investigación, como el tratamiento de los efluentes con plantas acuáticas (Savidov, 2005) o el uso del efluente para fertirrigación de huertas o cultivos anexos a la explotación acuapónica, tal y como se hace en explotaciones acuapónicas a nivel familiar (Van Gorder, 2003; Hughey, 2008; Friend y Mann, 2010).

En cuanto a la ratio alcanzada, su valor indica que se produciría 1 m^2 de cultivo de lechuga en su periodo final de crecimiento (30 días), con 4,62 gramos de alimento para peces, lo que supone entre 3,5 y 5,9 veces menos que la referencia de 15-25 gr/m^2 para el sistema NFT dada por Rakocy *et al*. (2006) para el sistema UVI. Dado que en el prototipo diseñado, la mayoría de la superficie de cultivo hidropónico la sumaba el sistema en NFT (4,5 m^2 frente a 0,7 m^2 de la raíz flotante), tomamos como referencia para establecer comparaciones, la ratio citada para el sistema NFT, con un valor de 15-25 gramos/m^2. Este valor podría considerase como un punto de equilibrio del sistema que parece permitir el crecimiento en condiciones aceptables, tanto

de las tencas como de las lechugas. A falta de validación de este valor, sorprende que esta ratio menor mantenga el cultivo de lechugas. Podríamos explicar estos resultados por el origen calizo del agua, con una dureza media-alta, que se empleó para la carga inicial del sistema y para las renovaciones diarias. Análisis previos de este agua, antes de poner en marcha el prototipo acuapónico, mostraron valores de nitratos entre 7-15 ppm; de conductividad eléctrica de 780 mS/cm; de bicarbonatos, entre 180-200 ppm; y pH, 8,4-8,59. A partir de estos datos, podríamos sospechar un aporte extra, aunque mínimo, de otras sales que puedan servir de nutrientes suplementarios para las lechugas en el sistema acuapónico. Una segunda explicación para la baja ratio registrada, es el elevado porcentaje de proteína del pienso de las tencas, en torno al 50%, lo que proporciona una cantidad mayor de compuestos nitrogenados de excreción y posteriormente mayores niveles de nitratos.

Los resultados muestran un crecimiento lento propio de la tenca, como ya han citado otros autores (Wolnicki y Myszkowski, 1998; Quirós y Alvariño, 2001) y es de sobra conocido por empresas del oeste de España que la cultivan en condiciones semiintensivas, alcanzando la talla comercial de 80-120 gramos en 2-3 años (Güelfo Fuentes, 2002).

El crecimiento tan lento de la tenca nos plantearía dudas sobre la elección de esta especie para los sistemas acuapónicos, sobre todo si la comparamos con la tilapia, una de las especies más populares y usadas en estos sistemas, que alcanza entre 500-800 gramos en tan sólo 4 meses, desde 59-79 gramos y a temperaturas próximas a 28ºC (Rakocy *et al*., 1997). Sin embargo, la tilapia aún no tiene fácil aceptación en el mercado nacional, y con un bajo precio de venta, que no sería rentable en sistemas con tan baja densidad como el ensayado. Aportamos a continuación varios argumentos que podrían justificar la elección de la tenca como una especie válida para el desarrollo de los sistemas acuapónicos en la península ibérica.

El primer argumento es de tipo económico, derivado del elevado precio de la tenca en el mercado extremeño y en parte de Castilla-León, entre 9-12 euros el kilo, a lo que se suma que la demanda del mercado supera la oferta (De La Puente, 2002).

El segundo argumento a favor es la rusticidad de la tenca como especie para la acuicultura y la acuaponia. Esta especie soporta temperaturas críticas por debajo de 0ºC y hasta 33-35ºC, así como niveles de amoniaco o nitritos que son letales para otros peces. (De La Puente, 2002). Estas cualidades la hacen especialmente recomendable para la acuaponia, donde además de los cambios no previstos en las condiciones físico-químicas del sistema, hay también que manipular algunos parámetros del agua para hacer compatibles, simultáneamente, el crecimiento de bacterias, peces y plantas.

El tercer argumento es la consideración de la tenca como especie ya adaptada durante siglos a los cursos fluviales de la Península Ibérica, lo que merece una especial atención en el contexto local, de la defensa y puesta en valor de los recursos locales.

Finalmente, el último argumento se deriva del carácter omnívoro de la tenca, lo que quizás pueda ser una ventaja a priori para sustituir parte de las harinas y aceites de pescado de los piensos Recordemos que esta sustitución plantea dos ventajas: por un lado, reducir los costos de la alimentación al ser las fuentes de proteínas y grasas de origen vegetal (por ejemplo, la soja) más baratas que aquellas obtenidas del pescado; y por otro lado, esta sustitución daría paso a una acuicultura más sostenible al reducir su dependencia de los recursos pesqueros (fuentes de las harinas y aceites de pescados en los piensos), cada vez más escasos y sometidos a fuer-

tes competencias. El trabajo de Tomás-Vidal *et al*. (2011) va en esta dirección, sustituyendo parte de las harinas de pescado en dietas para tenca, por harina de soja, encontrando que esta sustitución al 37,5% no produce efectos negativos sobre los parámetros de crecimiento, ni sobre la eficiencia nutritiva o la composición corporal.

Conclusiones

Aunque los resultados presentados no son concluyentes y estarían pendientes de validación, los elevados porcentajes de supervivencia de tencas y lechugas y los parámetros observados de crecimiento de ambas especies, dentro de los márgenes esperados, parecen indicar que se realizó una adecuada regulación de los parámetros físico-químicos del agua y de la ratio en el prototipo acuapónico.

Con el prototipo acuapónico propuesto y sin necesidad de recurrir a una tecnología cara y compleja, se ha observado que es posible mantener en equilibrio el sistema acuapónico controlando 4 parámetros básicos del agua: temperatura, pH, conductividad y oxígeno disuelto, aconsejando también una medición al menos semanal de los niveles de nitratos. Por otra parte, los bajos valores de la ratio alcanzados una vez que se estabilizó el sistema, son un argumento más que reforzarían la viabilidad del prototipo propuesto.

Los resultados obtenidos con el prototipo acuapónico de baja densidad, durante 66 días, criando tencas entre 0,68 kg/m^3 y 1,19 kg/m^3, con raciones entre el 0,8-1,23% de la biomasa y un volumen total de la instalación de 2.800 litros, podrían ofrecer un punto de referencia para poner en marcha instalaciones acuapónicas que no precisen dispositivos específicos para eliminar sólidos, lo que permite a su vez un considerable ahorro en la inversión inicial y sobre todo una simplificación en el manejo y funcionamiento del sistema.

Es necesario desarrollar líneas de investigación en varias direcciones: la validación del prototipo; el desarrollo de un pienso más adecuado para la tenca; el tratamiento de los efluentes del sistema acuapónico, o el reajuste de la ratio aumentando la superficie del cultivo para reducir los niveles de nitratos y fosfatos en los mismos. Finalmente, encontrar la densidad límite de las tencas en el cultivo acuapónico, sin necesidad de recurrir a dispositivos complejos para la eliminación de sólidos.

Agradecimientos

A César Fallola y a Paloma Moreno, del Centro de Acuicultura Vegas del Guadiana (Badajoz), por facilitarnos las tencas su apoyo y experiencia. A Antonio Rodríguez, David y Javier Flores por su participación en el diseño y montaje de las instalaciones, y a Pedro González, Yolanda Mena, y al personal de campo de la ETSIA por compartir tiempo, herramientas e ideas.

Bibliografía

Ako H, Baker A (2004). Nutrient fluxes in aquaponics systems. College of Tropical Agriculture and Human Resources. Center for Tropical and subtropical aquaculture. Molecular Biosciences and Bioengineering. University of Hawaii at Manoa. [ppt]. Disponible en http://www.ctahr.hawaii.edu/mbbe/Aquaponics%20for%20workshop.ppt (1 junio 2012).

Carbó R (2009). Sistemas de recirculación para la acuicultura (SRA). Hoja Divulgativa 2: Recirculación. Disponible en http://www.sea.org.es/docs/SEA_OESA_MARZO_10.pdf (7 junio 2012).

De La Puente A (2002). El cultivo de la tenca en España. Disponible en http://www.mispeces.com/reportajes/2002/nov/tenca/tenca.asp (3 mayo 2012).

DeLong DP, Losordo TM (2012). How to Start a Biofilter. Southerm Regional Aquaculture Center. SRAC Publication nº 4502: 4 pp.

De Pedro NA, Guijarro I, Delgado MJ, Lopez-Patiño MA, Pinillos ML, Alonso-Bedate M (2001). Journal Applied Ichthyology 17: 25-29.

D.O.E. (Diario Oficial de Extremadura) (2006). RESOLUCIÓN (25 de octubre de 2006). Convenio Interadministrativo de Colaboración entre la Consejería de Agricultura y Medio Ambiente y la Diputación de Cáceres, sobre "Desarrollo de un sistema integrado para la producción intensiva de tenca y cultivos hidropónicos". Disponible en http://doe.juntaex.es/pdfs/doe/2006/1330o/06063145.pdf (10 febrero 2012).

Friend S, Mann T (2010). Our history at Friendly Aquaponics. Disponible en http://www.friendlyaquaponics.com/about-us/friendly-aquaponics-history/ (21 marzo 2012).

Gregory PJ (1992). Crecimiento y desarrollo vegetal. Pp. 32-67. En: Wild, A. (Coordinador). Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russell. Ed. Mundi-Prensa. Madrid.

Güelfo Fuentes A (2002). Tendesala S.L.: Una empresa productora de tencas. Disponible en http://www.mispeces.com/reportajes/2002/nov/tendesala/tendesala.asp (7 abril 2012).

Herrmann K (2001). Inhaltsstoffe von Obst und Gemüse. Universität Hohenheim. Verlag Eugen Ulmer. Sttutgart (Deutschland). 200 pp.

Hoagland DR, Arnon DI (1950). The water-culture method for growing plants without soil. Journal Circular. California Agricultural Experiment Station. Vol. 347 No. 2nd edit. 32 pp.

Hughey TW (2008). The barrel-ponics manual. Disponible en http://www.fastonline.org/content/view/15/29/ (11 noviembre 2011).

Jambrina MC, Forcadell A, Cowler PP, Redó JM, Cerdá J, Jover M (2011). Desarrollo vegetal integrado a la producción intensiva de tenca. Pruebas preliminaries. Libro de actas del XIII Congreso Nacional de Acuicultura. Ed. Fundación Observatorio Español de Acuicultura. Castelldefels, Barcelona. 99 pp.

Lobillo JR, Fernández-Cabanás VM, Carmona E, Martín JJ (2013a). Densidad límite de peces en un sistema acuapónico de tencas (*Tinca tinca* L.) y tomates (*Solanum lycopersicum* L.), sin dispositivos para la eliminación de sólidos. Libro de actas del XIV Congreso Nacional de Acuicultura (Gijón, Asturias 23-25 septiembre 2013). Editores FOESA.

Lobillo JR, Fernández-Cabanás VM, Carmona E, Pradas S, Sánchez JM, Flores FJ (2013b). Ajuste de parámetros físico-químicos del agua para la optimización de un sistema acuapónico combinando la producción de tencas (*Tinca tinca* L.) y fresones (*Fragaria x ananassa* Duch). Libro de actas del XIV Congreso Nacional de Acuicultura (Gijón, Asturias 23-25 septiembre 2013). Editores FOESA.

Masser MP, Rakocy J, Losordo TM (1999). Recirculating Aquaculture Tank Production System: Management of Recirculating Systems. Southerm Regional Aquaculture Center (SRAC). Publication nº 452.

Meier U (2001). Estadios de las plantas mono-y dicotyledóneas. BBCH Monografía. Centro Federal de Investigaciones Biológicas para Agricultura y Silvicultura. Edición 2ª, 149 pp.

Nelson RL (2008). Aquaponic Food Production. Nelson and Pade Inc. Press, Montello, WI, USA: 218 pp.

Nelson RL, Pade J (2010). Aquaponics systems. Clear Flow Aquaponic Systems®. Disponible en http://aquaponics.com/page/aquaponic-systems> (13 marzo 2012).

Panagiotis AP, Hatzinikolaou A (2011). The effect of ration level on the growth and survival of sub-adult tench (*Tinca tinca* L. 1758) in a recirculating water system. Marine and Freshwater Behaviour and Physiology 44(2): 125-130.

Quirós M, Alvariño JMR (2001). Crecimiento y supervivencia de juveniles de tenca (*Tinca tinca*) bajo condiciones controladas de cultivo mantenidas a diferentes densidades y alimentadas con y sin suplemento alimenticio. Monografías del ICCM 4: 329-333.

Quirós M, Nicodemus N, Alonso M, Bartolomé M, Écija JL, Alvariño JMR (2003). Survival and changes in growth in juvenile tench (*Tinca tinca*) fed

defined diets commonly used to culture non-cyprinid species. Journal of Applied Ichthyology 19: 149-151.

Rakocy JE, Hargreaves JA (1993). Integration of vegetable hydroponics with fish culture: a review. In: Wang JK (ed) Techniques for modern aquaculture. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph Michigan USA, pp. 112-136.

Rakocy JE, Bailey DS, Shultz KA, Cole WM (1997). Evaluation of a commercial-scale aquaponic unit for the production of Tilapia and lettuce. In: Tilapia aquaculture: proceedings from the 4th international symposium on Tilapia in Aquaculture. Northeast Regional Agricultural Engineering Service, Ithaca, New York, pp. 603-613.

Rakocy JE, DS Bailey, RC Shultz, Thoman ES (2004). Update on tilapia and vegetable production in the UVI aquaponic system. in R.B. Bolivar, G.C. Mair, K. Fitzsimmons, Eds. Proceedings from the Sixth International Symposium on Tilapia in Aquaculture, Manila, Philippines. Pages 676-690.

Rakocy JE, Masser MP, Losordo TM (2006). Recirculating aquaculture tank production systems: Aquaponics – Integrating fish and plant culture. Southerm Regional Aquaculture Center (SRAC). Publication nº 454.

Savidov NA (2004). Evaluation and development of aquaponics production and product market capabilities in Alberta. Disponible en http://www.dfo-mpo.gc.ca/science/enviro/aquaculture/acrdp-pcrda/projects/reports-rapports/ca/CA-04-01-001.pdf (24 marzo 2012).

Savidov NA (2005). Evaluation of Aquaponics Technology in Alberta, Canadá. *Aquaponics Journal* (37). [publicación en línea]. Disponible en: http://aquaponics.com/media/docs/articles/Evaluation-of-Aquaponics-Technology-in-Alberta.pdf (24 marzo 2012).

Tomás-Vidal A, Martínez-Llorens S, Jambrina C, De Saja González R, Jover Cerdá M (2011). Effects of dietary soybean meal on growth, nutritive efficiency and body composition of cultured tench (*Tinca tinca*). Journal of Applied Ichthyology 27(3): 892-896.

Van Gorder S (2003). Small-scale aquaculture and aquaponics. Disponible en http://aquaponics-journal.com/docs/articles/small-Scale-Aquaculture-and-Aquaponics.pdf (26 junio 2012).

Wolnicki J, Korwin-Kossakowski M (1993). Survival and growth of larval and juvenile tench *Tinca tinca* (L.) fed different diets under controlled conditions. Aquaculture Research 24: 707-713.

Wolnicki J, Myszkowski L (1998). Evaluation of four commercial dry diets for intensive production of tench *Tinca tinca* (L.) juveniles under controlled conditions. Polish Archives of Hydrobiology. 45(3): 453-458.

Wolnicki J, Myszkowsky L, Kaminski R (2003). Effect of supplementation of a dry feed with natural food on growth; condition and size distribution of juvenile tench *Tinca tinca*. Journal of Applied. Ichthyology 19: 157-160.

Wolnicki J, Myszkowsky L, Korwin-Kossakowsky M, Kaminski R, Andrzej Stanny L (2006). Effects of different diets on juvenile tench; *Tinca tinca* reared under controlled conditions. Aquaculture International 14: 89-98.

(Aceptado para publicación el 28 de octubre de 2013)

Características de la canal y efecto de la maduración sobre la calidad de la carne de ovejas de desvieje de raza Corriedale

D. Civit*, M.D. Díaz, E. Rodríguez y C.A. González

Facultad de Ciencias Veterinarias. Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. Pinto 399 (B7000GHG). Tandil. Buenos Aires. Argentina

Resumen

El objetivo del presente trabajo fue caracterizar la canal de ovejas de desvieje de raza Corriedale y evaluar el efecto del tiempo de maduración sobre la calidad instrumental de la carne. Se utilizaron 10 ovejas adultas con una condición corporal entre 2,5 y 3. En la canal se determinaron el peso de la canal caliente y fría, el color del músculo *Rectus abdominis*, la consistencia y el color de la grasa subcutánea, la conformación, el engrasamiento, la cantidad de grasa pélvicorrenal y las medidas morfométricas. Se calcularon los índices de compacidad y se realizó el despiece de la canal. El estudio de maduración de la carne (*Longissimus dorsi*) se realizó en cuatro tiempos (1, 3, 7 y 14 días *postmortem*). En cada tiempo se realizaron determinaciones de color, pH, pérdidas por cocción y textura. El peso de la canal caliente y fría fue 22,3 kg y 21,8 kg respectivamente, con una conformación O y P (según la escala SEUROP), un engrasamiento 3 y 4 (escala 1 a 5) y una cantidad de grasa pélvicorrenal 2 y 3 (escala 1 a 3). El tiempo de maduración de la carne produjo una disminución en su dureza, cuyos valores fueron 53,0 N y 27,5 N, al día 1 y 14 respectivamente. La gran variabilidad en la dureza de la carne de los diferentes animales en el día 1 fue disminuyendo durante la maduración. En definitiva, se recomendaría un período de 7 días de maduración para lograr una dureza adecuada en la carne de ovejas de desvieje.

Palabras clave: Conformación, engrasamiento, maduración, textura, color.

Abstract
Carcass and meat characteristics of cullewes from Corriedale breed

The aim of this study was to characterize the carcass of Corriedale cullewes and to assess the effect of ageing time on the instrumental meat quality. Ten adult ewes with a body condition score of 2.5 to 3 were used. Hot and cold carcass weight, *Rectus abdominis* muscle color, consistency and color of the subcutaneous fat, conformation, fatness, amount of kidney and pelvic fat and morphometric measurements were determined. Compactness indexes were calculated and the carcass cutting was carried out. The study of meat ageing (*Longissimus dorsi*) was performed at four times (1, 3, 7 and 14 days *postmortem*). Color, pH, cooking loss and texture determinations were carried out at each time-point. Hot and cold carcass weight was 22.3 kg and 21.8 kg respectively, with an O and P (according to the SEUROP scale) conformation, a 3 and 4 (scale 1 to 5) fatness and a 2 and 3 (scale 1 to 3) kidney and pelvic fat. The ageing time of the meat showed a decrease in hardness, with values of 53.0 N and 27.5 N, at day 1 and 14 respectively. The significant variability in the meat toughness of the different animals on day 1 decreased during ageing. To sum up, a period of 7 days of ageing would be advisable to achieve an adequate hardness in the carcass of cullewes.

Key words: Conformation, fatness, ageing, texture, colour.

* Autor para correspondencia: diecivit@vet.unicen.edu.ar
http://dx.doi.org/10.12706/itea.2014.010

Introducción

En Argentina, la producción ovina se realiza principalmente en sistemas extensivos sobre pastizales naturales, siendo las provincias patagónicas (Río Negro, Neuquén, Chubut, Santa Cruz y Tierra del Fuego) las de mayor importancia, con el 62% del censo ovino. La provincia de Buenos Aires, si bien se caracteriza por la producción agrícola y de ganado bovino, posee aproximadamente 1.800.000 cabezas ovinas, lo que representa un 11,3% del censo ovino argentino. En esta provincia se utilizan razas doble propósito (carne-lana), principalmente Corriedale y, en menor medida, Romney Marsh y Lincoln. Debido al gran potencial de la ganadería ovina, en el año 2001 se promulgó la Ley Nacional Nº 25.422 para la recuperación de la ganadería ovina, la cual contempla acciones en todo el sector a través de subsidios y créditos a tasas de interés bajas (González, 2008).

Si bien en Argentina se ha priorizado la producción de lana, actualmente, está teniendo más importancia la producción de carne, siendo el cordero liviano de 10 a 13 kg peso canal el principal producto comercializado (González, 2008). Las ovejas de desvieje, con pesos de canales que oscilan entre 20 y 30 kg, son más difíciles de comercializar debido a la poca aceptabilidad en el mercado consumidor, lo que se corresponde con un bajo valor comercial. Ante esta situación, numerosos productores no venden las ovejas viejas o con problemas reproductivos, siendo éste uno de los factores que determinan la baja eficiencia productiva, debido a que la cantidad de corderos nacidos vivos por oveja parida suele descender a partir de los 5-6 años (Buratovich, 2010). Con la intención de incentivar el consumo de animales adultos, en Uruguay se ha lanzado al mercado el "churrasco ovino", que consiste en presentar al consumidor la carne de ovejas adultas con estado corporal intermedio y que hayan finalizado su vida productiva, totalmente "chuleteada" (Bianchi, 2009), lo que representa una alternativa interesante. Sin embargo, debido a la poca importancia comercial de esta categoría, los estudios relacionados con la calidad de la canal y de la carne son escasos.

La mayoría de los consumidores consideran a la dureza (o terneza), que es un atributo de textura, como el factor más importante que determina la calidad de la carne (Beltrán y Roncalés, 2005). Según Bianchi *et al.* (2004) sólo pueden apreciarse otras características cualitativas de la carne a partir de determinados umbrales de terneza.

La dureza de la carne depende de un gran número de factores tales como la raza, edad, sexo, alimentación y tipo de músculo, así como del manejo de los animales antes de su sacrificio y de las condiciones *postmortem* (Thompson, 2002). Después del sacrificio, el músculo sufre una serie de transformaciones bioquímicas, conocidas como maduración, que afectan a la estructura de las miofibrillas dando como resultado una mayor terneza de la carne (Bianchi *et al.*, 2006a). Alcalde *et al.* (1999) señalan que el manejo pre-sacrificio y el tiempo de maduración de la carne ejercen un papel determinante sobre la calidad del producto final.

El conocimiento de las características de la canal y de la carne de ovejas de desvieje puede favorecer su consumo; por ello, el objetivo de este trabajo fue caracterizar la canal de ovejas de desvieje de raza Corriedale y evaluar el efecto del tiempo de maduración sobre la calidad instrumental de la carne.

Materiales y métodos

El trabajo se realizó en la Facultad de Ciencias Veterinarias de la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires (Tandil, Buenos Aires, Argentina). Se utilizaron 10 ovejas de desvieje raza Corriedale prove-

nientes de un establecimiento agropecuario del partido de Tandil, en un sistema de producción extensivo sobre pastizales naturales. Se seleccionaron animales de 5 a 6 años de edad con una condición corporal entre 2,5 y 3 (Russel *et al.*, 1969), que fueron sacrificados en un matadero-frigorífico local, tras 12 horas de ayuno con acceso al agua.

Determinaciones en la canal

Al finalizar el sacrificio se registró el peso de la canal caliente (PCC) y, luego de 24 horas de refrigeración a 4°C, el peso de la canal fría (PCF). Se calculó la pérdida por oreo de la canal [(PCC-PCF)*100/PCC]. Se realizaron las determinaciones subjetivas del color de la carne en el músculo *Rectus abdominis* (1. Rosa pálido, 2. Rosa, 3. Rojo) y de la consistencia (1. Dura, 2. Blanda, 3. Aceitosa) y color de la grasa subcutánea (1. Blanco nacarado, 2. Blanco cremoso, 3. Amarillo) (Colomer-Rocher *et al.*, 1988).

En la canal fría (24 horas *postmortem*), se realizaron medidas subjetivas de conformación (SEUROP) y engrasamiento (escala 1 a 5) según la reglamentación europea (Reglamento (CE) N° 22/2008) y de la cantidad de grasa pélvica y renal (1. Poca, 2. Normal, 3. Mucha) (Colomer-Rocher *et al.*, 1988); además, se determinó la morfometría [perímetro de la grupa (D), anchura de la grupa (G), anchura del tórax (Wr), longitud de la pierna (F), longitud interna de la canal (L) y profundidad del tórax (Th)] (Colomer-Rocher *et al.*, 1988) y se calcularon los índices de compacidad de la pierna (G/F) y de la canal (PCF/L). Luego se realizó el despiece de la canal siguiendo la metodología descrita por Colomer-Rocher *et al.* (1988), con una modificación, ya que el costillar y el badal se consideraron como una única pieza.

Determinaciones en la carne

A las 24 horas *postmortem* se extrajeron los músculos *Longissimus dorsi* de ambas medias canales y se dividieron en dos partes. La carne fue envasada al vacío y transportada en condiciones de refrigeración al Laboratorio de Calidad de Carnes de la Facultad de Ciencias Veterinarias. El estudio de maduración se realizó en cuatro tiempos: 1, 3, 7 y 14 días *postmortem*. Las muestras se distribuyeron en forma aleatoria y equilibrada, de manera tal que todas las porciones del músculo fueron asignadas a los cuatro tiempos de maduración. Las muestras correspondientes a los 3, 7 y 14 días de maduración se mantuvieron en una cámara de refrigeración a 2-4°C. Una vez finalizado cada tiempo de maduración, la carne se retiró del envase y se mantuvo durante una hora en condiciones de refrigeración (2-4°C) para favorecer su oxigenación; cumplido ese tiempo, se determinó el pH, con un pHmetro Testo 205 provisto de un electrodo de penetración, y el color del músculo (por triplicado), utilizando un colorímetro Minolta CR-400, registrándose la luminosidad (L*), el índice de rojo (a*) y el índice de amarillo (b). Se calculó el tono (H*) y el croma o saturación de color (C*). Luego de estas determinaciones, las muestras se congelaron inmediatamente (-18°C) y se almacenaron en esas condiciones hasta su posterior análisis. En ese momento, las muestras se descongelaron en agua corriente y se realizaron las mediciones de textura y pérdidas por cocción. Las muestras se cocinaron en baño maría a 75°C hasta alcanzar una temperatura interna de 70°C, se dejaron enfriar y se cortaron en paralelepípedos de 1 cm^2 de sección (1x1) en forma longitudinal (Miranda-de la Lama *et al*., 2009), para luego ser analizados con una célula Warner-Bratzler en un equipo Instron modelo 3343. Se registraron los valores de fuerza máxima (N), siendo para cada muestra, el promedio de seis paralelepípedos. Para el cálculo de las pérdidas por cocción se utilizó el peso de la muestra cruda (Pi) y cocinada (Pc), expresándose como porcentaje, según la siguiente fórmula: (Pi-Pc)*100/Pi.

Análisis estadístico

Se calcularon diferentes medidas descriptivas para las variables de calidad de la canal y de la carne. El efecto del tiempo de maduración sobre la calidad de la carne se evaluó mediante un análisis de varianza, teniendo en cuenta las mediciones repetidas de la canal y la heterogeneidad de varianzas cuando fue necesario. Para el análisis fue utilizado el procedimiento PROC MIXED del SAS9.3 (SAS, Institute Inc., Cary, NC, USA).

Resultados y discusión

Calidad de la canal

De acuerdo a la escala SEUROP, de las 10 canales de ovejas de desvieje utilizadas en este trabajo, 6 tenían conformación "menos buena" (O) y las 4 restantes eran de conformación "inferior" (P). Con respecto al estado de engrasamiento, 3 canales tenían una cobertura grasa "media" (calificación 3) y las 7 restantes fueron clasificadas como "importante" (calificación 4). La cantidad de grasa pélvica y renal fue "normal" en 4 canales y "mucha cantidad" en las 6 restantes. El color del músculo *Rectus abdominis* se calificó como "rojo" (excepto en una canal que fue "rosa"). Con respecto a la grasa subcutánea, el color fue "blanco cremoso" y la consistencia "dura".

En la Tabla 1 se presentan las características de la canal de las ovejas de desvieje. Las pérdidas de peso canal luego de 24 horas de refrigeración fueron de 1,9%. Este valor es superior al observado por Pinheiro *et al.* (2009) en ovejas de desvieje de la raza Santa Inés sacrificadas en tres estados fisiológicos diferentes, que fue de 0,58-0,89%. Por el contrario, en ovinos de la misma categoría cruce Ile de France X Texel, las pérdidas por oreo fueron de 3,13% (François, 2009) y en las de raza Ideal y Texel fue de 3,3% y 2,8% respectivamente (Pelegrini *et al.*, 2008). Estos va-

Tabla 1. Características de la canal de ovejas de desvieje de raza Corriedale
Table 1. Carcass characteristics of cullewes from Corriedale breed

	Media	Error estándar	C. V. (%)
Peso canal caliente (PCC), kg	22,3	0,93	13,23
Peso canal fría (PCF), kg	21,8	0,92	13,27
Pérdidas por oreo, %	1,9	0,08	14,73
Perímetro de la grupa (D), cm	66,2	0,95	4,55
Anchura de la grupa (G), cm	22,6	0,40	5,58
Anchura del tórax (Wr), cm	25,7	0,83	10,23
Longitud de la pierna (F), cm	21,9	0,18	2,65
Longitud interna de la canal (L), cm	63,9	0,56	2,76
Profundidad del tórax (Th), cm	30,4	0,49	5,07
Índice de compacidad de la pierna (G/F)	1,03	0,02	4,85
Índice de compacidad de la canal (PCF/L), kg/cm	0,34	0,01	12,58

lores podrían deberse a diferencias en el estado de engrasamiento de las canales ya que, como es sabido, la cobertura grasa disminuye la desecación de la canal (Ruiz de Huidobro *et al*., 2005). Sin embargo, no se debe descartar la influencia de las condiciones de enfriamiento de las canales, fundamentalmente la velocidad del aire.

Sanz *et al.* (2008) observaron en corderos de la raza Churra Tensina, que las medidas que expresan anchuras y contornos (G, D, Th y Wr) fueron aumentando con el peso canal en relación a las que expresaban longitudes, haciéndose la canal cada vez más redonda y ancha, con un mayor índice de compacidad de la pierna y de la canal. Martínez-Cerezo *et al.* (2002) compararon corderos de diferentes razas (Churra, Rasa Aragonesa y Merina) sacrificados a distintos pesos vivos (10-12 kg, 20-22 kg y 30-32 kg) y observaron que el índice de compacidad de la canal aumentaba a mayores pesos de faena. En este trabajo el índice de compacidad de la canal fue 0,34 kg/cm (Tabla 1), valor intermedio al de ovejas de desvieje Ideal (18, 4 kg peso canal fría) y Texel (27,1 kg peso canal fría) que fue de 0,29 y 0,39 kg/cm (Pelegrini *et al*., 2008).

En la Tabla 2 se presenta la composición regional de la canal de las ovejas de desvieje. Estos valores son cercanos a los determinados por Pelegrini *et al.* (2008) en ovejas de desvieje de las razas Ideal y Texel; en las ovejas Ideal, la pierna representó el 32,2% y la espalda el 18,4% mientras que en las Texel, los porcentajes fueron 32,0% y 19,1% respectivamente. En ovejas de desvieje Ile de France X Texel, François (2009) observó valores de 32,1% y 17,9% en pierna y espalda respectivamente. Por otra parte, Bianchi *et al.* (2006b) señalan valores similares a los de este trabajo en corderos pesados de raza Corriedale y cruces Hampshire Down X Corriedale y Southdown X Corriedale. En corderos Corriedale (9,3 kg peso canal) que fueron alimentados con pastos naturales, la pierna representó un 37,7% y la espalda un 20,8% (Osório *et al*., 1998). La menor proporción de pierna y espalda en las ovejas respecto a los corderos coincide con lo señalado por Furusho-Garcia *et al.* (2004), quienes evaluaron los cortes en canales de corderos faenados a diferentes pesos vivos y determinaron que la proporción de la pierna va disminuyendo a medida que aumenta el peso de faena, y por Sanz *et al.* (2008), que observaron que al aumentar el peso de sacrificio el porcentaje de costillar fue mayor y el de espalda disminuyó, indicando que el costillar es una pieza de desarrollo tardío y la espalda tiene un desarrollo precoz; además,

Tabla 2. Porcentaje en peso de las piezas comerciales obtenidas de la canal de ovejas de desvieje de raza Corriedale
Table 2. Weight proportion of comercial joints obtained from cullewes carcass from Corriedale breed

	Media	Error estándar	C. V. (%)
Pierna (%)	30,2	0,53	5,6
Costillar + Badal (%)	24,9	0,51	6,5
Espalda (%)	17,3	0,23	4,2
Cuello (%)	6,1	0,23	12,0
Bajos (%)	21,5	0,48	7,1

la proporción de badal y bajos aumentó y los porcentajes de pierna y cuello disminuyeron al pasar de la categoría ternasco a pastenco.

El tiempo de maduración influyó sobre los parámetros de color del músculo *Longissimus dorsi* (Tabla 3). Los valores medios de L* varían entre 30,6 y 33,2, con diferencias significativas entre los días 1 y 3. A partir de ese momento, no hubo cambios significativos. Perlo *et al.* (2008) señalan un valor L* de 36,3 en el músculo *Longissimus dorsi* de corderos Corriedale (16,2 kg de peso canal) que fueron alimentados en pastizales naturales, lo que indica una carne más clara que la de las ovejas de este estudio. En otras investigaciones (Sañudo *et al.*, 1996; Martínez-Cerezo *et al.*, 2005; Abdullah y Qudsieh, 2009) realizadas en corderos, se ha observado que a medida que aumenta el peso (y la edad) de faena, los valores de L* disminuyen.

En general, las variables del color son afectadas por la edad, con una tendencia hacia el incremento de la cantidad de pigmentos y el índice de rojo (a*) y la disminución de la luminosidad (L*) (Sañudo y Alfonso, 1999). La coloración más oscura de la carne de ovejas de desvieje en comparación con la proveniente de animales de menor edad es uno de los factores que podrían limitar la aceptación de este producto en el mercado. En un trabajo realizado con carne de cordero se evaluó la relación entre el color de la carne percibido por los consumidores y el determinado en forma objetiva con un colorímetro Minolta CR-400, sugiriéndose que, en promedio, los consumidores consideran que el color de la carne fresca es aceptable cuando el valor de L* es igual o mayor a 34 y el de a* es igual o mayor a 9,5; sin embargo, estos valores son mayores (L* $\geq$ 44 y a* $\geq$ 14,5) si se pretende que el 95% de los consumidores lo consideren aceptable, indicando la gran variabilidad entre individuos respecto al color que debe tener la carne fresca (Khliji *et al.*, 2010). Se debe tener en cuenta que el trabajo de Khliji *et al.* (2010) se realizó en 2 ciudades de Australia, lo cual no significa que los consumidores de otras regiones tengan el mismo criterio para juzgar la aceptabilidad de la carne fresca. Las preferencias por un determinado color de la carne dependen del tipo de

Tabla 3. Color, pH y pérdidas por cocción (PPC) de la carne *(Longissimus dorsi)* de ovejas de desvieje de raza Corriedale a diferentes tiempos de maduración (media ± error estándar)
Table 3. Colour, pH and cooking losses (PPC) of meat (Longissimus dorsi) *of cullewes from Corriedale breed aged for different times (mean ± standard error)*

	Tiempo de maduración (días)			
	1	3	7	14
L*	30,6 ± 0,72 a	32,5 ± 0,56 b	33,2 ± 0,57 b	32,8 ± 0,68 b
a*	14,7 ± 0,44 a	15,8 ± 0,42 b	16,1 ± 0,69 b	17,2 ± 0,66 c
b*	6,3 ± 0,28 a	7,2 ± 0,22 b	7,6 ± 0,35 b	7,8 ± 0,37 b
C*	16,0 ± 0,5 a	17,4 ± 0,46 b	17,8 ± 0,77 bc	18,8 ± 0,74 c
H*	23,0 ± 0,46 a	24,4 ± 0,37 b	25,2 ± 0,38 b	24,4 ± 0,49 b
pH	5,75 ± 0,05 a	5,72 ± 0,05 a	5,78 ± 0,05 a	5,79 ± 0,06 a
PPC (%)	31,1 ± 1,88 a	33,0 ± 1,96 a	32,5 ± 1,34 a	30,1 ± 2,38 a

Letras diferentes, por fila, indican diferencias significativas (P < 0,05).

consumidor, de la costumbre del mercado local y, cada vez más, de la publicidad y las técnicas de comercialización (Albertí *et al.*, 2005).

Con respecto al índice de rojo (a*), durante la maduración se produjo un incremento desde 14,7 (día 1) hasta 17,2 (día 14). Estos valores son similares a los mostrados en trabajos realizados en animales más jóvenes (Sañudo *et al.*, 1996; Gonçalves *et al.*, 2004). Una de las ventajas del envasado al vacío es la estabilidad del color de la carne; el color rojo brillante se recupera tras exponerla al aire durante un breve período de tiempo (10-15 minutos) (Muela y Beltrán, 2009). Los valores medios del índice de amarillo (b*) se incrementaron al inicio de la maduración, con diferencias significativas entre el día 1 y el resto de los tiempos de maduración.

El índice C* es un atributo relacionado con factores *antemortem*, como raza, sexo, edad y alimento, que determinarán la cantidad de pigmento en el músculo (mioglobina). Por otra parte, el índice H* se correlaciona con los factores *postmortem* y está influido por la oxidación de la mioglobina (Albertí y Ripoll, 2009). En este trabajo se observó un aumento de estos parámetros durante la maduración, principalmente entre los días 1 y 3 (Tabla 3).

El pH de la carne a las 24 horas *postmortem* permite valorar el tratamiento que ha recibido el animal antes del sacrificio (De la Fuente *et al.*, 2005). En este caso, el pH correspondiente al día posterior al sacrificio fue de 5,75 (Tabla 3), lo que estaría indicando un adecuado tratamiento de los animales. Rota *et al.* (2006) observaron valores de pH de 5,53 a las 24 horas *postmortem* en canales de ovinos Corriedale faenados a los 360 días de edad. François (2009), en canales de ovejas de desvieje Ile de France X Texel obtuvo un pH de 5,65 luego de 15 horas *postmortem*. Generalmente, la carne ovina no posee valores de pH elevados que originen carnes DFD. Los ovinos poseen mejores mecanismos de adaptación a las condiciones de estrés que ocurren durante el transporte y manejo previo al sacrificio que los bovinos y cerdos (Linch *et al.*, 1992).

En este trabajo los valores de pH del músculo *Longissimus dorsi* no presentan diferencias significativas durante la maduración (Tabla 3), manteniéndose dentro del rango normal para el ganado ovino (Horcada *et al.*, 1997). Este resultado coincide con lo observado por Abdullah y Qudsieh (2009) en el músculo *Longissimus* de corderos Awassi faenados a diferentes pesos vivos (20, 30 y 40 kg) con 7 días de maduración.

Con respecto a las pérdidas por cocción, el tiempo de maduración no tuvo ningún efecto (Tabla 3), lo que coincide con lo señalado por Gonçalves *et al.* (2004). Por el contrario, Abdullah y Qudsieh (2009) indican una disminución de las pérdidas por cocción entre el día 1 y 7 de maduración. Los valores observados en este trabajo son cercanos a los señalados por Shackelford *et al.* (1997) en el músculo *Longissimus* de corderos (29,8%) luego de 7 días de maduración y a los de Perlo *et al.* (2008), cuyo valor fue de 29,9%.

En la Tabla 4 se presenta el efecto del tiempo de maduración sobre la textura de la carne. Se observa una mejora de la terneza, con una disminución de la fuerza de corte del 13,0% (desde el día 1 al 3 de maduración), 25,6% (desde el día 3 al 7 de maduración) y 19,8% (desde el día 7 al 14 de maduración). Cuando estos valores se expresan por día de maduración, surge que la tasa de ablandamiento entre el día 1 y 7 es mayor (5,9%) que entre el día 7 y 14 (2,8%).

Boleman *et al.* (1997) clasifican a la carne como "muy tierna" cuando la fuerza de corte mediante una célula de Warner-Bratzler es inferior a 35,3 N, mientras que si es superior a 57,9 N la consideran "dura". Los valores medios de fuerza máxima observados en este trabajo están por encima de 50 N sólo para el día 1 de maduración. Posteriormente, se produce una mejora significativa de la terneza pudiendo considerarse como muy tierna a

Tabla 4. Textura (fuerza máxima) de la carne *(Longissimus dorsi)* de ovejas de desvieje de raza Corriedale a diferentes tiempos de maduración
Table 4. Texture (shear force) of meat (Longissimus dorsi) *of cullewes from Corriedale breed aged for different times*

	Tiempo de maduración (días)			
	1	3	7	14
Media (N)	53,0 a	46,1 a	34,3 b	27,5 c
Error estándar	5,2	4,9	3,0	1,2
CV (%)	31,0	34,0	28,1	13,3
Mínimo (N)	27,5	26,5	21,6	19,6
Máximo (N)	76,5	72,6	53,0	33,3

Letras diferentes indican diferencias significativas (P < 0,05).

partir del día 7. Bianchi *et al.* (2004) evaluaron el efecto del tiempo de maduración sobre la terneza de la carne de corderos pesados Corriedale y cruce Hampshire Down X Corriedale, y observaron un ablandamiento de la carne desde 47,1 N hasta 27,5 N luego de 16 días de maduración; sin embargo, el principal efecto tuvo lugar hasta el día 8, con 30,4 N. En general, la terneza de la carne se incrementa a medida que aumenta el tiempo de maduración (Devine y Graafhuis, 1995). Esto coincide con lo señalado en numerosas investigaciones, entre ellas, los trabajos de Martínez-Cerezo *et al.* (2005), Bianchi *et al.* (2006a) y Abdullah y Qudsieh (2009).

En la Figura 1 se presentan los valores de terneza de la carne de todos los animales evaluados en este trabajo, observándose una mejora importante luego de 7 días de maduración. Si se considera la clasificación de Boleman *et al.* (1997), a las 24 horas *postmortem* 2 ovejas tenían carne muy tierna (< 35,3 N), 4 eran duras (> 57,9 N) y las 4 restantes eran intermedias. A los 14 días de maduración la dureza del músculo *Longissimus dorsi* de los 10 animales es menor a 35,3 N (carne muy tierna). Koohmaraie *et al.* (2002) señalan un comportamiento similar en el músculo *Longissimus dorsi* de corderos. Martínez-Cerezo *et al.* (2005) indican que la maduración tiende a igualar la terneza de la carne, independientemente de la raza y el peso de faena, lo cual se ve claramente en la Figura 1.

Conclusiones

Las características de la canal evaluadas en este trabajo, mediante determinaciones subjetivas y objetivas, evidencian que las ovejas con una condición corporal entre 2,5 y 3 presentaron canales bastante similares. La maduración del músculo *Longissimus dorsi* de ovejas de desvieje de raza Corriedale no produjo modificaciones importantes en la calidad, excepto en la dureza, que disminuyó considerablemente. Además, se observó que la maduración tiende a igualar la terneza de la carne de todos los animales.

Debido a la gran variabilidad que existe en la terneza inicial, el consumo de esta carne podría verse favorecido si se realiza su maduración durante al menos 7 días, si bien habría que realizar más estudios involucrando otros músculos.

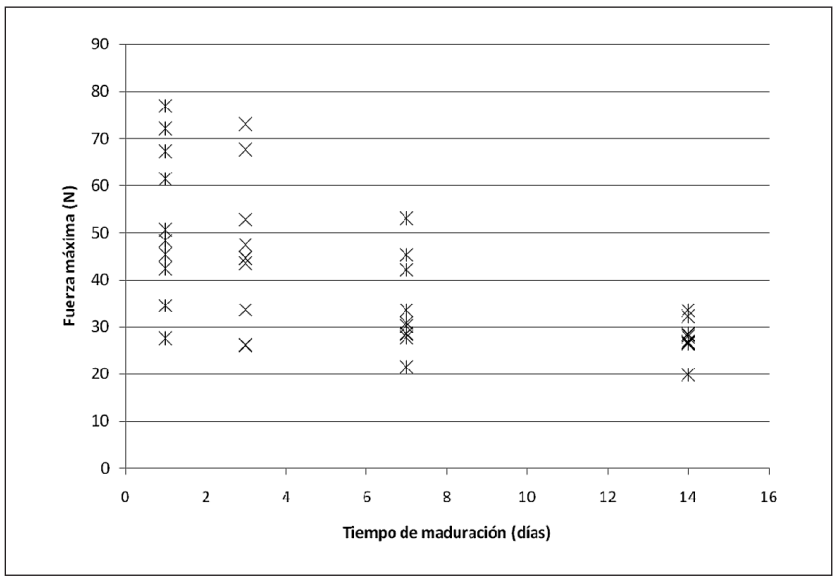


Figura 1. Efecto del tiempo de maduración sobre la dureza de la carne *(Longissimus dorsi)* de ovejas de desvieje de raza Corriedale (n = 10).
Figure 1. Effect of ageing time on meat shear force (Longissimus dorsi) *of cullewes from Corriedale breed (n = 10).*

Bibliografía

Abdullah YA, Qudsieh RI (2009). Effect of slaughter weight and aging time on the quality of meat from Awassi ram lambs. Meat Science 82: 309-316.

Albertí P, Panea B, Ripoll G, Sañudo C, Olleta JL, Hegueruela I, Campo MM, Serra X (2005). Medición del color. En: Estandarización de las metodologías para evaluar la calidad del producto (animal vivo, canal, carne y grasa) en los rumiantes. Monografías INIA: Serie ganadera N° 3. pp. 216-225.

Albertí P, Ripoll G (2009). Los pigmentos de la carne y factores que afectan su color (Capítulo 4). En: Introducción a la ciencia de la carne. Ed. Hemisferio Sur. pp. 115-128.

Alcalde MJ, Sañudo C, Osorio JC, Olleta JL, Sierra I (1999). Evaluación de la calidad de la canal y de la carne en canales ovinas ligeras del tipo comercial "ternasco". Información Técnica Económica Agraria 95A: 49-64.

Beltrán JA, Roncalés P (2005). Determinación de la textura. En: Estandarización de las metodologías para evaluar la calidad del producto (animal vivo, canal, carne y grasa) en los rumiantes. Monografías INIA: Serie ganadera N° 3. pp. 237-242.

Bianchi G, Bentancur O, Sañudo C (2004). Efecto del tipo genético y del tiempo de maduración sobre la terneza de la carne de corderos pesados. Agrociencia 8 (1): 41-50.

Bianchi G, Bentancur O, Sañudo C (2006a). La maduración de la carne de cordero como una herramienta para mejorar su terneza y calidad sensorial. Revista Argentina de Producción Animal 26: 39-55.

Bianchi G, Garibotto G, Feed O, Bentancur O, Franco J (2006b). Efecto del peso al sacrificio sobre la calidad de la canal y de la carne de corderos Corriedale puros y cruza. Archivos de Medicina Veterinaria 38 (2): 161-165.

Bianchi G (2009). Calidad de carne y de productos cárnicos ovinos (Capítulo 9). En: Introducción a la ciencia de la carne. Ed. Hemisferio Sur. pp. 259-301.

Boleman SJ, Boleman SL, Miller RK, Taylor JF, Cross HR, Wheeler TL, Koohmaraie M, Shackelford SD, Miller MF, West RL, Johnson DD, Sawell JW (1997). Consumer evaluation of beef of known categories of tenderness. Journal of Animal Science 75: 1521-1524.

Buratovich O (2010). Eficiencia reproductiva en ovinos: factores que la afectan. Parte II: Otros factores no nutricionales. Ganadería N° 36. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Esquel, Chubut, Argentina. 163-166.

Colomer-Rocher F, Delfa R, Sierra I (1988). Método normalizado para el estudio de los caracteres cuantitativos y cualitativos de las canales ovinas producidas en el área mediterránea según los sistemas de producción. Cuadernos INIA N° 17: 19-41.

De la Fuente J, Díaz MT, Álvarez I, Lauzurica S, Pérez C, Cañeque V (2005). Comportamiento y bienestar animal. En: Estandarización de las metodologías para evaluar la calidad del producto (animal vivo, canal, carne y grasa) en los rumiantes. Monografías INIA: Serie ganadera N° 3. pp. 47-60.

Devine CE, Graafhuis AE (1995). The basal toughness of unaged lamb. Meat Science 39: 285-291.

François P (2009). Desempenho, características de carcaça e a utilização da carne de ovelhas de descarte terminadas em pastagem cultivada na elaboração de embutido fermentado. Disertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, RS, Brasil. 85 pp.

Furusho-Garcia IF, Perez JRO, Bonagurio S, Lima AL, Quintão FA (2004). Estudo dos cortes da carcaça de cordeiros Santa Inês puros e cruzas Santa Inês com Texel, Ile de France e Bergamácia. Revista Brasileira de Zootecnia 33 (2): 453-462.

Gonçalves LAG, Zapata JFF, Rodrigues MCP, Borges AS (2004). Efeito do sexo e do tempo de maturação sobre a qualidade da carne ovina. Ciência e Tecnologia de Alimentos 24 (3): 459-467.

González CA (2008). Situación del sector y perspectivas en Argentina. En: Aspectos estratégicos para obtener carne ovina de calidad en el cono sur americano. Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. Tandil (Argentina). pp. 46-59.

Horcada A, Purroy A, Beriain MJ, Chasco J, Gorraiz C, Alzueta M, Mendizábal JA (1997). Efecto del peso de sacrificio sobre la calidad de la carne de los corderos de las razas Lacha y Rasa Aragonesa. Información Técnica Económica Agraria Vol. Extra 18: 715-717.

Khliji S, van de Ven R, Lamb TA, Lanza M, Hopkins DL (2010). Relationship between consumer ranking of lamb colour and objetive measures of colour. Meat Science 85: 224-229.

Koohmaraie M, Kent MP, Shackelford SD, Veiseth E, Wheeler TL (2002). Meat tenderness and muscle growth: is there any relationship? Meat Science 62: 345-352.

Ley Nº 25.422 (2001). Régimen para la recuperación de la ganadería ovina. República Argentina. Disponible en *http://www.infoleg.gob.ar/infol Internet/anexos/65000-69999/66876/norma.htm* (13 mayo 2013).

Linch JJ, Hinch GN, Adams DB (1992). The behaviour of sheep. CAB International and CSIRO, Australia. 237 pp.

Martínez-Cerezo S, Olleta JL, Sañudo C, Delfa R, Cuartielles I, Pardos JJ, Medel I, Panea B, Sierra I (2002). Calidad de la canal en tres razas ovinas españolas. Efecto del peso al sacrificio. XXVII Jornadas Científicas de la Sociedad Española de Ovinotecnia y Caprinotecnia, Valencia, España. pp. 288-295.

Martínez-Cerezo S, Sañudo C, Panea B, Medel I, Delfa R, Sierra I, Beltrán JA, Cepero R, Olleta JL (2005). Breed, slaughter weight and ageing time effects on physico-chemical characteristics of lamb meat. Meat Science 69: 325-333.

Miranda-de la Lama GC, Villarroel M, Olleta JL, Alierta S, Sañudo C, María GA (2009). Effect of the pre-slaughter logistic chain on meat quality of lambs. Meat Science 83: 604-609.

Muela E, Beltrán JA (2009). Conservación y almacenamiento de la carne y de los productos cár-

nicos de rumiantes (Capítulo 11). En: Introducción a la ciencia de la carne. Ed. Hemisferio Sur. pp. 353-393.

Osório JC, Sierra I, Oliveira N, Osório MT, Pimentel M (1998). Estudio comparativo de tres sistemas de producción de carne en ovinos Corriedale en Brasil. Producción Ovina y Caprina XXIII: 465-468.

Pelegrini LFV, Pires CC, Galvani DB, Soares Bolzan AM, Silva GCF (2008). Características de carcaça de ovelhas de descarte das raças Ideal e Texel terminadas em dois sistemas de alimentaçao. Revista Brasileira de Zootecnia 37 (11): 2024-2030.

Perlo F, Bonato P, Teira G, Tisocco O, Vicentin J, Pueyo J, Mansilla A (2008). Meat quality of lambs produced in the Mesopotamia region of Argentina finished on different diets. Meat Science 79: 576-581.

Pinheiro RSB, Jorge AM, Souza HBA (2009). Características da carcaça e dos não-componentes da carcaça de ovelhas de descarte abatidas em diferentes estágios fisiológicos. Revista Brasileira de Zootecnia 38 (7): 1322-1328.

Reglamento (CE) N° 22 (2008). Disposiciones de aplicación del modelo comunitario de clasificación de canales de ovino. Diario Oficial de la Unión Europea L 9/6 de 12 de enero de 2008.

Rota EL, Osório MTM, Osório JCS, Oliveira MM, Wiegand MM, Mendonça G, Esteves RM, Gonçalves M (2006). Influência da castração e da idade de abate sobre as características subjetivas e instrumentais da carne de cordeiros Corriedale. Revista Brasileira de Zootecnia 35 (6): 2397-2405.

Ruiz de Huidobro F, Miguel E, Cañeque V, Velasco S (2005). Conformación, engrasamiento y sistemas de clasificación de la canal ovina. En: Estandarización de las metodologías para evaluar la calidad del producto (animal vivo, canal, carne y grasa) en los rumiantes. Monografías INIA: Serie ganadera N° 3. pp. 143-169.

Russel AJF, Doney JM, Gunn RG (1969). Subjetive assessment of body fat in live sheep. Journal of Agricultural Science 72: 451-454.

Sanz A, Álvarez-Rodríguez J, Cascarosa L, Ripoll G, Carrasco S, Revilla R, Joy M (2008). Características de la canal de los tipos comerciales de cordero lechal, ternasco y pastenco en la raza Churra Tensina. Información Técnica Económica Agraria 104(1): 42-57.

Sañudo C, Santolaria MP, María G, Osorio M, Sierra I (1996). Influence of carcass weight on instrumental and sensory lamb meat quality in intensive production systems. Meat Science 42: 195-202.

Sañudo C, Alfonso M (1999). Factores que afectan a la calidad del producto en el ganado ovino de aptitud cárnica. XXIV Jornadas Científicas de la Sociedad Española de Ovinotecnia y Caprinotecnia, Soria, España. pp. 33-48.

Shackelford SD, Wheeler TL, Koohmaraie M (1997). Effect of the callipyge phenotype and cooking method on tenderness of several major lamb muscles. Journal of Animal Science 75: 2100-2105.

Thompson J (2002). Managing meat tenderness. Meat Science 62: 295-308.

(Aceptado para publicación el 15 de octubre de 2013)

Causas de eliminación en rebaños bovinos lecheros de raza frisona en Control Lechero Oficial

R. Fouz*, E. Yus**, M.L. Sanjuán** y F.J. Diéguez***,1

* Africor Lugo, Ronda de Fingoi, 117, 27002, Lugo
** Instituto de Investigación y Análisis Alimentarios (Unidad de Epidemiología y Sanidad Animal). Facultad de Veterinaria. Universidad de Santiago de Compostela. Campus Universitario, 27002, Lugo
*** Departamento de Anatomía y Producción Animal. Instituto de Investigación y Análisis Alimentarios (Unidad de Epidemiología y Sanidad Animal). Facultad de Veterinaria. Universidad de Santiago de Compostela. Campus Universitario, 27002, Lugo

Resumen

El objetivo de este trabajo fue analizar las causas de eliminación de vacas lecheras utilizando datos del Control Lechero Oficial en Galicia. La información se analizó a partir de los registros de rebaños de ganado vacuno lechero de raza frisona incluidos en ese programa. Se analizaron los registros de 22.177 animales (a partir de 2.016 granjas de vacuno lechero) que fueron eliminados durante el año 2009 para determinar las principales razones de eliminación. Los resultados indicaron que en vacas nulíparas, la "muerte" fue la causa más frecuente de eliminación (63,8%). La eliminación por infertilidad representó un 4,3% en este grupo de edad, mientras que las mamitis acumularon el 2,4% de pérdidas. La infertilidad fue la razón más común de eliminación en los animales entre el primer y tercer parto (24,7%, 26,3% y 23,1% de casos, respectivamente). A partir del cuarto parto, las mamitis representaron la causa más importante (19,1%) seguida por infertilidad (16,9%). Las causas de eliminación variaron según el parto, el estado de lactación y la calificación morfológica de los animales.

Palabras clave: Vacas lecheras, riesgo de eliminación, Control Lechero.

Abstract
Reasons for culling among Holstein dairy cattle in herds in the Dairy Herd Improvement Program

The aim of the present paper was to analyze the causes for culling Holstein dairy animals using data from the Dairy Herd Improvement Program in Galicia. The information in this study was analyzed from records from the dairy herds involved in this program with data concerning only Holstein cattle. To determine the main causes for culling in the herds being studied, records from 22,177 animals (from 2,036 dairy farms) that were culled during the year 2009 were analyzed. Results indicated that in nulliparous animals, "death" was the most frequent reason for culling (63.8% of cases). Culling because of infertility represented 4.3% of losses in this age group, whereas mastitis accounted for 2.4% of losses. In animals between their first and third parities, infertility was the most common culling reason (24.7, 26.3 and 23.1% of cases, respectively). From the fourth parity on, from the assessed reasons for culling which covers 71.2% of the cases, mastitis was the most important (19.1%) followed by infertility (16.9%). The causes of culling varied according to parity, stage of lactation and morphological score of the animals with reproductive problems being the main general cause, followed by mastitis.

Key words: Dairy cattle, culling reasons, milk recording.

* Autor para correspondencia: franciscojavier.dieguez@usc.es
http://dx.doi.org/10.12706/itea.2014.011

Introducción

La decisión de eliminar una vaca es un tema complejo, respecto al cual los ganaderos pueden considerar diversos factores del animal (raza, número de partos y estado de preñez, estado de lactación y producción láctea, estado sanitario, carácter de la vaca y rendimiento reproductivo), económicos (precio de la leche, el precio de la vaca a eliminar, el precio y la disponibilidad de novillas de reposición) y la propia actitud de los ganaderos que hace que puedan tomar decisiones diferentes en contextos similares (Bascom y Young, 1998).

Tradicionalmente, el estudio de los patrones de baja de animales ha incluido la eliminación "voluntaria" (baja producción, razones de manejo, etc.) y la "involuntaria" (enfermedades, lesiones, infertilidad o muerte). Si las decisiones de eliminación son voluntarias, el productor puede tomar medidas que maximicen el beneficio (Fetrow *et al*., 2006). El desecho de animales por causas involuntarias limita las posibilidades de selección de los mejores ejemplares para emplear como reproductores. Por ello, es importante entender cómo afecta la eliminación a la producción, porqué son eliminadas las vacas y cómo afectan los programas de manejo a las tasas de eliminación (Hadley *et al*., 2006).

El conocimiento de las causas de eliminación es básico para realizar una evaluación de la vida útil de las vacas en el rebaño, factor que determina la rentabilidad de las ganadería (Hare *et al*., 2006). La vida productiva media (período después del primer parto) de los animales en la población frisona en Galicia es aproximadamente de 39,5 meses (Africor, 2009).

Cuando los productores eliminan animales demasiado a menudo o de manera urgente, los costos de reposición son excesivos y, al contrario, cuando conserva el ganado en la explotación demasiado tiempo, la mejora de la producción láctea, el rendimiento reproductivo y la mejora genética pueden verse disminuidos (Hadley *et al*., 2006). Los gastos elevados de reposición y los bajos precios de la leche tienden a centrar la atención en decisiones de eliminación y tasas de eliminación óptimas, ya que durante los periodos de márgenes de rentabilidad pequeña o nula las tasas subóptimas resultan muy costosas.

Diversos estudios han investigado las razones de eliminación de animales en rebaños lecheros en Europa reflejando las medias de causas de desecho de animales por granja. Así, se estudió el efecto de diversas enfermedades, rendimiento reproductivo, estado de gestación y producción de leche sobre la eliminación en 39.770 vacas de raza finlandesa Ayrshire (Rajala-Schultz y Gröhn, 1999a, 1999b). Otros estudios presentaron las tasas de eliminación en 50 rebaños de vacuno lechero de raza Frisona desde 1990 a 1992, en 84 rebaños en Francia desde 1989 a 1994 y en 340 rebaños lecheros ingleses entre abril de 1998 y marzo de 1999, respectivamente (Esslemont y Kossaibati, 1997; Seegers, *et al*., 1998; Whitaker *et al*., 2000). Bell *et al*. (2010) desarrollaron un estudio en 3.498 lactaciones completas a partir de rebaños bovinos lecheros de raza frisona entre 1990 y 2008 en Escocia. En algunos trabajos previos, realizados en EE.UU., se ha abordado el estudio de la dinámica y factores de riesgo de desecho en rebaños lecheros en base a las causas de eliminación individual (Hadley *et al*., 2006; Hare *et al*., 2006; Dechow y Goodling, 2008; Pinedo *et al*., 2010). Dicha información podría ser útil ya que proporciona una idea de la percepción de los productores sobre las razones más importantes para que las vacas abandonen el rebaño y para la toma de decisiones a la hora de optimizar tanto la tasa de reposición como la de eliminación. No existen hasta la actualidad en España estudios de causas de eliminación basados registros individuales de vacas. El presente estudio se llevo a cabo en Galicia, principal región de ganado vacuno de España, produciendo el 35% de la leche

nacional y constituyendo el 1,7% de la producción láctea de la Unión Europea. En Galicia, el 35% de los rebaños de ganado vacuno lecheros se encuentran en el Control Lechero Oficial, representando aproximadamente un 82% de la leche producida en la Comunidad Autónoma.

El objetivo de este estudio fue estudiar las causas de eliminación de animales en rebaños bovinos lecheros de raza frisona a partir de registros individuales de animales en Control Lechero en Galicia. Dichas causas se analizaron en relación a distintos factores: número de parto, calificación morfológica, días en leche (DEL), producción de leche y recuento de células somáticas (RCS) previos a la eliminación.

Materiales y métodos

Animales y datos recopilados

Toda la información de este estudio fue analizada a partir de los registros del sistema de Control Lechero Oficial de Galicia. Los registros del programa incluyeron producción láctea, porcentaje de proteína y grasa y RCS, la fecha de nacimiento, la fecha de parto, número de lactación y código de eliminación de un total de 22.177 registros de animales de raza frisona dados de baja durante el año 2009. Estos registros se recogieron a partir de una población de 161.314 animales que fueron controlados durante el mencionado año y que estaban distribuidos en 2.036 ganaderías. Un total de 52.503 bovinos fueron novillas de edad comprendida entre los 3 meses y el primer parto. El censo mínimo por ganadería en el estudio fue de 21 animales, con una media de 79 animales por rebaño. La producción media normalizada de los rebaños estudiados fue de 8.755 kg por lactación.

Los datos se obtuvieron de las visitas mensuales de Control Lechero, donde el técnico controlador preguntaba al ganadero el motivo de eliminación de los animales dados de baja desde la visita anterior. El motivo de baja se codificó del 1 al 11 según el esquema que se indica a continuación, contemplado en el Real Decreto 368/2005 de Control Lechero (BOE, 2005), normativa específica que regula el Control Lechero en España:

1. Muerta: descarte por encontrarse postrada o muerta en la explotación.
2. Sacrificio urgente: animal enviado al matadero de urgencia (accidente, toxemias, peritonitis, pericarditis, infección sistémica, etc.).
3. Improductividad: descarte por baja producción.
4. Mamitis: descarte por problemas de ubre; mamitis, pérdida de cuarterones, ubre descolgada, etc.
5. Infertilidad: descarte por problemas reproductivos; abortos, metritis, infertilidad, esterilidad, fetos momificados, etc.
6. Baja en programas oficiales de erradicación de enfermedades (zoonosis).
7. Otros: descarte por motivos no contemplados en otros puntos o causas múltiples.
11. Cojera: descarte por problemas del aparato locomotor; cojeras, infecciones de la pezuña, etc.

Los códigos 8 y 9 corresponden a ventas de animales con destino a producción láctea, mientras que las otras causas mencionadas implican sacrifico del animal, por lo que en el presente estudio no se consideran las eliminaciones de animales por venta para vida. Fundamentalmente fueron novillas de recría en su primera gestación.

El código 10 se corresponde con animales de explotaciones de baja en Control Lechero, por lo que no se incluyen en el estudio al no ser posible su seguimiento.

Para todos los animales se recogió igualmente el número de parto (0, 1, 2, 3 y 4 o más), la fecha de eliminación, la calificación morfológica del animal y la media de los restantes animales de su rebaño con el mismo número de parto. En caso de que los animales se encontraran en fase de lactación se incluyó la siguiente información: DEL en el momento de la eliminación, nivel de producción y RCS –en forma de puntuación lineal (PL)– en el control anterior a la eliminación. Además, se registraron el nivel de producción y la PL media de los tres controles lecheros previos a la eliminación. Igualmente se recogió los DEL, el nivel de producción y la PL media de los restantes animales del rebaño con el mismo número de parto que los eliminados.

La calificación morfológica se estableció según el estándar de la raza Frisona española (Conafe, 1998), con un rango de variación de 65 a 90 puntos. Solo tienen calificación los animales paridos. Las vacas fueron calificadas después de su primer parto.

Análisis estadísticos

Los datos recogidos fueron analizados con el programa SPSS 15.0 (SPSS Inc., Chicago).

Inicialmente, se valoró la proporción e incidencia real (por cada mil animales y mes en riesgo) de animales eliminados durante el año 2009 en función del número de parto.

Para comparar la distribución de las diferentes causas de eliminación por número de parto se utilizó un test χ^2.

Para estudiar variaciones en las razones de eliminación de acuerdo a los DEL se estimó, para cada una de las causas recogidas, la incidencia acumulada durante la lactación en base al método de Kaplan-Meier. El test de Breslow se empleó para comparar los datos obtenidos en función del número de parto.

Para las vacas eliminadas en lactación, se estimaron, para cada causa analizada, los valores medios (junto con el intervalo de confianza al 95%) de producción lechera y RCS correspondientes al control previo a la baja así como los correspondientes a la media de los tres últimos controles lecheros. Posteriormente, se realizaron las mismas estimaciones para los animales no eliminados presentes en el rebaño cuando tenían lugar las diferentes bajas. El t-test se utilizó para evaluar diferencias entre las medias estimadas (tanto para comparar los diferentes parámetros tras la eliminación por diferentes causas como para comparar los valores medios de los animales eliminados con los valores de los restantes animales de sus rebaños).

Para los cálculos donde se incluían células somáticas, este valor se transformo en PL de acuerdo a la siguiente fórmula: (LOGe(RCS)/0.6931)-3.6439 (Schukken *et al*., 2009) donde RCS es miles de células somáticas por mililitro.

Resultados

En la tabla 1 se refleja el número y proporción de animales eliminados en base al número de parto y totales. La proporción de eliminación anual fue del 13,8% (desde el 2,1% en novillas no paridas al 27% en vacas de 4 o más partos), mientras que la reposición fue del 26%. Un 67% de las eliminaciones fueron clasificadas como involuntarias. La tasa de incidencia real fue de 12,3 bajas por 1000-animales y mes en riesgo (desde el 1,8 en novillas no paridas a 26,1 en vacas de 4 o más partos).

Resultados en función del número de parto

En la tabla 2 se observa que la distribución de las causas de eliminación es diferente en cada grupo de parto. Esta diferencia fue estadísticamente significativa comparando cada grupo con los restantes ($p<0,001$ para todas las comparaciones).

Tabla 1. Número de animales (N), porcentaje de animales desechados en 2009 (PD) y tasa de desecho por cada 1000 animales-mes en riesgo (TD/1000) por número de parto y en total
Table 1. Number of animals (N), percentage eliminated in 2009 (PD) and incidence rate per 1000 animals-month at risk (TD/1000) stratified per parity number and totals

	Nulíparas	Primíparas	Segundo parto	Tercer parto	Cuarto o más partos	Total
N	52.503	24.599	26.738	21.049	36.425	161.314
PD (%)	2,1	10,7	16,3	20,1	27,0	13,8
TD/1000	1,8	9,4	14,7	18,6	26,1	12,3

En animales no paridos, la "muerte" fue la causa más frecuente de baja (63,8% de los casos). La eliminación por infertilidad representó un 4,3% de las bajas en este grupo de edad, mientras que la mamitis significó el 2,4% de las bajas. En animales de primer a tercer parto, la infertilidad fue la causa más habitual de baja (24,7%, 26,3% y 23,1% de los casos, respectivamente). A partir del cuarto parto, el factor denominado "otros" fue el más importante representando el 28,8% de las bajas, seguido en este caso por las mamitis (19,1%) y la infertilidad (16,9%).

Resultados en función del momento de lactación

La dinámica de las causas de eliminación también difería en función del estado de lactación para los grupos de partos considerados ($p<0,001$) (Figura 1).

En vacas en lactación, se observó que para todos los grupos de edad, las bajas por muerte y sacrificio fueron más frecuentes en los 60 primeros días post-parto y se reducían conforme avanzaba la lactación. Por el contrario, como era esperable, las bajas por infertilidad se concentraron fundamentalmente al final de lactación en todos los grupos, aunque fundamentalmente en los animales de primer a tercer parto. En animales de cuarto o más partos, la infertilidad representó un menor porcentaje debido al aumento de bajas por "otras causas".

Las mamitis representaron una causa creciente de bajas a medida que avanzaba la lactación hasta el día 240 cuando el incremento se modera; para las vacas de cuarto o más parto el incremento si es continuo durante toda la lactación. En el caso de primíparas, por el contrario, los porcentajes que representó la eliminación por esta causa el aumento observado es mucho más lento.

Respecto a las cojeras, se observó una tendencia a que éstas representaban un mayor porcentaje de bajas conforme aumentaba la edad y los DEL, en especial en los animales de mayor edad.

En relación a la fecha en que se produjo la baja, no hubo tendencias estacionales para ninguna de las causas estudiadas.

Características productivas previas al momento de la eliminación y su relación con éste

Los datos medios de los registros de la leche estimados para las vacas primíparas, y de segundo y tercer parto previamente a la eliminación, por cada causa de baja, se describen respectivamente en las tablas 3, 4 y 5. Se observó que la PL de los animales eliminados por mamitis fue significativamente superior a

Tabla 2. Número de animales desechados (número de rebaños a los que pertenecían) y porcentaje de desecho por causa de eliminación (DCE) y en relación al número de animales en esa clase de parto (DNP)
Table 2. Number of animals culled (nº herds in which events were observed) and percentage of culling for each reason (DCE) and relative to each parity number (DNP)

Causa de desecho		Nulíparas	Primíparas	Segundo parto
Muerte (1)	Vacas (rebaños)	705 (461)	528 (399)	694 (499)
	DCE/DNP	63,8%/1,3%	20,0%/2,1%	16,0%/2,6%
Sacrificio urgente (2)	Vacas (rebaños)	80 (75)	213 (191)	260 (214)
	DCE/DNP	7,2%/0,1%	8,1%/0,8%	6,0%/0,9%
Improductividad (3)	Vacas (rebaños)	0 (0)	191 (147)	301 (209)
	DCE/DNP	0,0%/0,0%	7,2%/0,7%	6,9%/1,1%
Mamitis (4)	Vacas (rebaños)	27 (26)	255 (213)	583 (431)
	DCE/DNP	2,4%/0,0%	9,7%/1,0%	13,4%/2,2%
Infertilidad (5)	Vacas (rebaños)	47 (44)	652 (451)	1.144 (671)
	DCE/DNP	4,3%/0,0%	24,7%/2,6%	26,3%/4,3%
Programas Oficiales de erradicación de enfermedades (6)	Vacas (rebaños) DCE/DNP	1 (1) 0,1%/0,0%	1 (1) 0,0%/0,0%	3 (3) 0,1%/0.0%
Otros (7)	Vacas (rebaños)	226 (166)	640 (426)	1.057 (590)
	DCE/DNP	20,5%/0,4%	24,3%/2,6%	24,3%/3,9%
Cojera (11)	Vacas (rebaños)	19 (19)	159 (140)	303 (248)
	DCE/DNP	1,7%/0,0%	6,0%/0,6%	7,0%/1.1%

Tabla 2. Número de animales desechados (número de rebaños a los que pertenecían) y porcentaje de desecho por causa de eliminación (DCE) y en relación al número de animales en esa clase de parto (DNP) (continuación)
Table 2. Number of animals culled (nº herds in which events were observed) and percentage of culling for each reason (DCE) and relative to each parity number (DNP)

Causa de desecho		Tercer parto	Cuarto o más partos	Total
Muerte (1)	Vacas (rebaños)	684 (501)	1.194 (761)	3.805 (1.369)
	DCE/DNP	16,2%/3,2%	12,1%/3,3%	17,2%/2,3%
Sacrificio urgente (2)	Vacas (rebaños)	238 (202)	521 (405)	1.312 (765)
	DCE/DNP	5,6%/1,1%	5,3%/1,4%	5,9%/0,8%
Improductividad (3)	Vacas (rebaños)	283 (211)	820 (520)	1.595 (757)
	DCE/DNP	6,7%/1,3%	8,3%/2,2%	7,2%/1.0%
Mamitis (4)	Vacas (rebaños)	706 (505)	1.881(1.030)	3.452 (1.352)
	DCE/DNP	16,7%/3,3%	19,1%/5,2%	15,6%/2,1%
Infertilidad (5)	Vacas (rebaños)	977 (645)	1.670 (954)	4.490 (1.456)
	DCE/DNP	23,1%/4,6%	16,9%4,6%	20,2%/2,7%
Programas Oficiales de erradicación de enfermedades (6)	Vacas (rebaños) DCE/DNP	1 (1) 0,0%/0,0%	9 (9) 0,1%/0,0%	15 (9) 0,1%/0.0%
Otros (7)	Vacas (rebaños)	954 (611)	2.844 (1.288)	5.721 (1.584)
	DCE/DNP	22,6%/4,5%	28,8%/7,8%	25,8%/3,5%
Cojera (11)	Vacas (rebaños)	383 (298)	923 (623)	1.787 (949)
	DCE/DNP	9,1%/1,8%	9,3%/2,5%	8,0%/1.1%

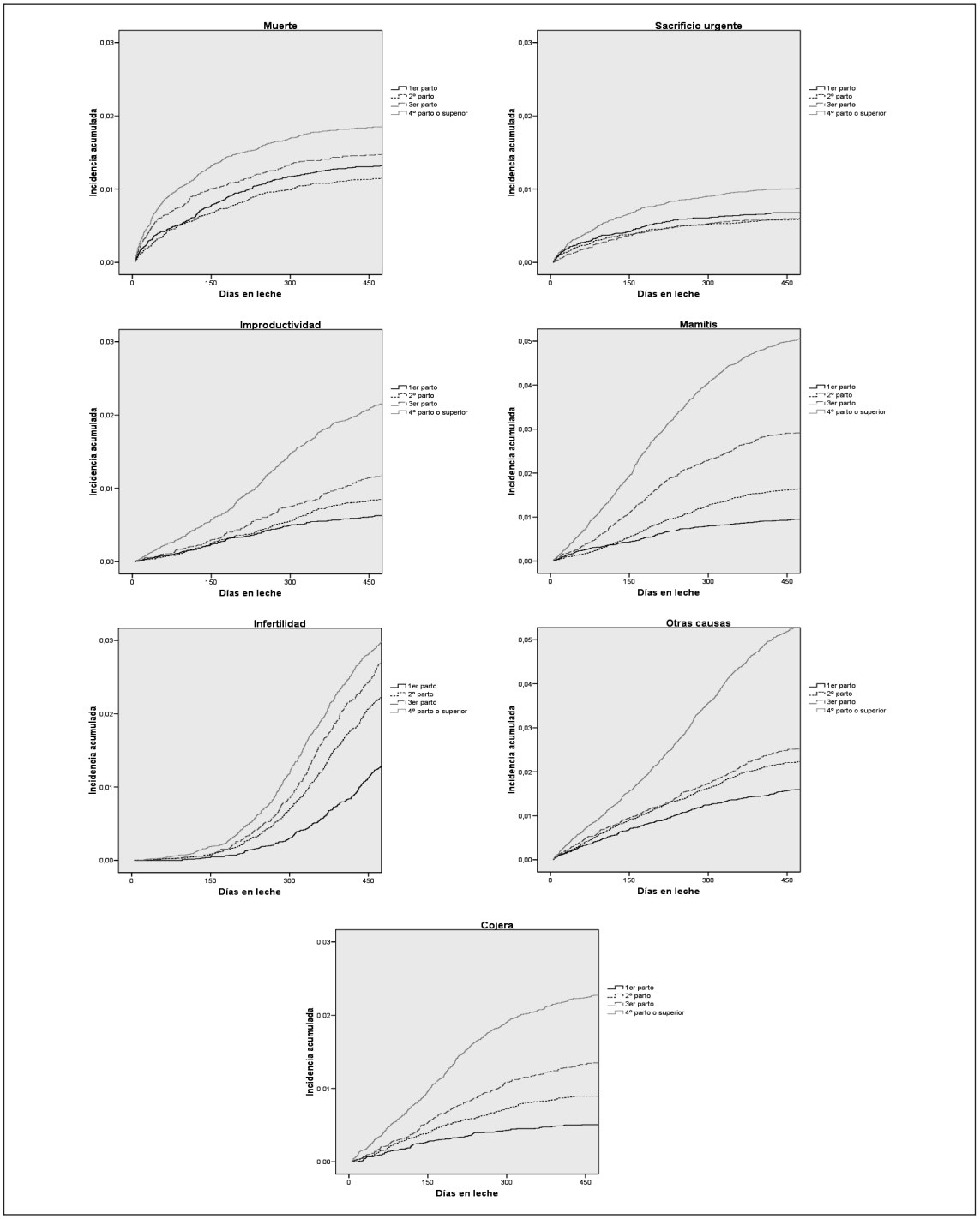


Figura 1. Gráficos de Kaplan-Meier para las diferentes causas de baja observadas en vacas en lactación de acuerdo a los días en leche y número de parto (primero, segundo, tercero, cuarto o superior)
Figure 1. Kaplan-Meier graph of culling reasons for lactating cows according to days in lactation and parity (first, second, third, fourth or higher)

Tabla 3. Datos medios de los registros de leche estimados para las vacas primíparas previamente a la eliminación por cada causa de baja

Table 3. Mean data of milk recording check estimated for primiparous cows prior to culling for each reason for loss

	Control previo*			Días en leche	Media de los últimos 3 controles		Media de primíparas del rebaño	
	Producción (L/día)	PL**	CM***		Producción (L/día)	PL	PL	CM
Muerte (1)	20,97	3,27	77,62	184,11	22,89	3,12	3,43	77,94
	(19,09-22,03)	(3,02-3,51)	(77,24-78,00)	(169,00-199,24)	(21,93-23,87)	(3,02-3,23)	(3,35-3,50)	(77,75-78,12)
Sacrificio urgente (2)	20,91	2,95	76,92	160,07	22,28	3,00	3,29	78,10
	(19,35-22,47)	(2,64-3,26)	(76,27-77,56)	(140,84-179,30)	(20,89-23,68)	(2,85-3,16)	(3,18-3,41)	(77,84-78,36)
Improductividad (3)	16,86	3,31	76,44	259,29	18,44	3,24	3,28	77,98
	(15,69-18,07)	(3,02-3,61)	(75,75-77,13)	(234,55-283,82)	(17,35-19,53)	(3,10-3,38)	(3,19-3,36)	(77,69-78,27)
Mamitis (4)	20,48	5,50	76,48	220,85	22,00	4,22	3,46	77,88
	(19,42-21,55)	(5,12-5,87)	(75,90-77,06)	(200,71-241,00)	(21,05-22,96)	(4,06-4,37)	(3,36-3,55)	(77,66-78,11)
Infertilidad (5)	18,20	3,68	77,46	458,47	14,68	3,30	3,25	78,18
	(17,51-18,88)	(3,52-3,84)	(77,22-77,70)	(446,67-470,28)	(19,08-20,27)	(3,23-3.37)	(3,19-3,31)	(78,07-78,28)
Otros (7)	19,71	3,62	76,64	253,41	21,01	3,30	3,36	77,90
	(18,82-20,59)	(3,41-3,82)	(76,32-76,96)	(236,96-269,86)	(20,24-21,78)	(3,21-3,39)	(3,29-3,43)	(77,35-78,06)
Cojera (11)	19,10	3,15	76,38	202	21,24	3,19	3,35	77,7
	(17,46-20,74)	(2,79-3,52)	(75,59-77,16)	(179,63-225,42)	(19,87-22,60)	(3,03-3,36)	(3,23-3,46)	(77,41-77,99)

* Entre paréntesis: intervalo de confianza 95.

** Puntuación lineal.

*** Calificación morfológica.

Tabla 4. Datos medios de los registros de leche estimados para las vacas de segundo parto previamente a la eliminación por cada causa de baja

Table 4. Mean data of milk recording check estimated for second parity cows prior to culling for each reason for loss

	Control previo*			Días en leche	Media de los últimos 3 controles		Media de primíparas del rebaño	
	Producción (L/día)	PL**	CM***		Producción (L/día)	PL	PL	CM
Muerte (1)	23,78	3,79	77,90	183,93	26,56	3,34	3,37	77,97
	(22,46-25,09)	(3,53-4,06)	(77,67-78,13)	(167,88-198,90)	(26,35-27,77)	(3,12-3,45)	(3,28-3,42)	(77,86-78,08)
Sacrificio urgente (2)	25,80	3,45	77,57	167,67	27,25	3,30	3,27	77,98
	(23,72-27,83)	(3,16-3,74)	(77,16-77,99)	(145,63-189,71)	(2,44-29,06)	(3,16-3,44)	(3,16-3,44)	(77,79-78,17)
Improductividad (3)	16,42	4,19	77,24	292,92	19,6	3,53	3,26	78,18
	(15,47-17,38)	(3,95-4,42)	(76,87-77,81)	(273,05-312,79)	(18,20-19,96)	(3,43-3,64)	(3,18-3,33)	(78,03-78,34)
Mamitis (4)	22,60	6,29	77,35	258,30	25,08	4,44	3,40	78,08
	(21,67-23,54)	(6,06-6,51)	(77,08-77,61)	(245,16-271,45)	(24,19-25,98)	(4,35-4,53)	(3,34-3,47)	(77,96-78,20)
Infertilidad (5)	17,74	4,40	78,21	412,74	19,85	3,60	3,25	78,22
	(17,19-18,29)	(4,28-4,52)	(78,05-78,38)	(403,38-422,10)	(19,34-20,37)	(3,55-3,65)	(3,21-3,30)	(78,13-78,31)
Otros (7)	20,34	3,94	77,76	261,04	22,2	3,44	3,31	77,98
	(19,52-21,15)	(3,78-4,10)	(77,46-77,86)	(248,22-273,87)	(21,98-23,46)	(3,37-3,51)	(3,26-3,36)	(77,89-78,07)
Cojera (11)	21,37	3,62	77,51	226,48	24,22	3,29	3,30	77,81
	(20,16-22,59)	(3,36-3,87)	(77,15-77,87)	(208,56-244,40)	(23,12-25,33)	(3,18-3,40)	(3,22-3,39)	(77,64-77,98)

* Entre paréntesis: intervalo de confianza 95.

** Puntuación lineal.

*** Calificación morfológica.

Tabla 5. Datos medios de los registros de leche estimados para las vacas de tercer parto previamente a la eliminación por cada causa de baja

Table 5. Mean data of milk recording check estimated for third parity cows prior to culling for each reason for loss

	Control previo*			Días en leche	Media de los últimos 3 controles		Media de primíparas del rebaño	
	Producción (L/día)	PL**	CM***		Producción (L/día)	PL	PL	CM
Muerte (1)	25,21 (23,78-26,63)	3,90 (3,64-4,16)	78,12 (77,88-78,36)	164,95 (148,92-180,98)	27,06 (25,80-28,33)	3,34 (3,12-3,45)	3,33 (3,26-3,40)	78,00 (77,88-78,11)
Sacrificio urgente (2)	23,28 (21,35-25,20)	3,96 (3,58-4,34)	78,42 (78,00-78,33)	185,85 (160,97-210,72)	25,68 (23,80-27,51)	3,30 (3,16-3,44)	3,34 (3,22-3,45)	78,09 (77,89-78,30)
Improductividad (3)	17,74 (16,73-18,74)	4,25 (4,01-4,19)	77,72 (77,31-78,12)	300,28 (280,23-320,33)	20,19 (19,25-21,14)	3,53 (3,43-3,64)	3,24 (3,15-3,32)	78,14 (77,96-78,33)
Mamitis (4)	23,35 (22,45-24,24)	6,24 (6,05-6,44)	77,85 (77,61-78,10)	239,51 (228,53-250,49)	25,97 (25,15-26,79)	4,44 (4,35-4,53)	3,48 (3,43-3,51)	78,18 (78,07-78,29)
Infertilidad (5)	18,21 (17,59-18,83)	4,63 (4,49-4,76)	78,35 (78,15-78,55)	402,76 (392,98-412,54)	20,17 (19,57-20,77)	3,60 (3,55-3,65)	3,27 (3,22-3,32)	78,28 (78,18-78,37)
Otros (7)	20,67 (19,81-21,53)	4,22 (4,05-4,39)	77,91 (77,71-78,10)	274,33 (259,73-288,94)	22,97 (22,18-23,76)	3,44 (3,37-3,51)	3,29 (3,23-3,35)	78,03 (77,93-78,12)
Cojera (11)	21,24 (20,04-22,24)	4,04 (3,80-4,29)	77,50 (77,19-77,82)	239,17 (223,02-255,32)	24,02 (22,99-25,06)	3,29 (3,18-3,40)	3,29 (3,21-3,37)	77,94 (77,81-78,07)

* Entre paréntesis: intervalo de confianza 95.

** Puntuación lineal.

*** Calificación morfológica.

aquellos eliminados por cualquier otra causa, tanto observando datos del último control como la evolución de los últimos tres controles lecheros; sin embargo, las explotaciones en las que se encontraban estos animales no tenían RCS más elevados que el resto.

Se observó igualmente que en primer y segundo parto los animales eliminados por cojeras producían menos que los eliminados por mamitis (a pesar de que estos tenían por término medio más DEL), si bien, la diferencia no fue estadísticamente significativa. Para animales de tercer parto, en este caso con el mismo número medio de DEL para los eliminados por ambas causas, la diferencia en producción sí fue significativa.

Como ya se comentó anteriormente, los animales eliminados por infertilidad fueron los que se encontraban en fase de lactación más avanzada. Además, se observó una tendencia a mantener los animales infértiles durante más tiempo en la explotación cuanto menor era la edad del animal. Así, la media de DEL con que se produjeron estas bajas pasó de 458 días en los animales de primer parto a 402 en los de tercero, existiendo diferencia significativa.

En cuanto a la calificación morfológica, se observó una tendencia a que los animales de primer parto eliminados por improductividad, mamitis, y cojeras tuvieran una puntuación inferior a la media del rebaño. Esta tendencia se evidenció en partos posteriores aunque las diferencias en la mayoría de los casos no mostraban significación estadística.

Discusión

El porcentaje de animales eliminados por causas involuntarias (67%) resultó ser bastante elevado, coincidiendo con lo reflejado recientemente por Bell *et al*. (2010).

La tasa de eliminación anual media (13,8%) fue menor a la estimada por otros estudios: 24 y 25% en Esslemont y Kossaibati (1997) y Bell *et al*. (2010), respectivamente. Además, estos autores observaron que las tasas de eliminación anual y de reposición en los rebaños estudiados se incrementaban conforme aumentaba el tamaño de los mismos.

En nuestro estudio y sin tener en cuenta el código "otros", la principal causa de eliminación de animales fue la infertilidad (20,2%), seguida de la muerte (17,2%), las mamitis (15,6%), las cojeras (8,1%) y la baja producción (7,2%). Nuestros resultados presentaron un acuerdo parcial con los datos reflejados por otros estudios recientes donde las lesiones/otros fueron la primera razón de eliminación de animales, en segundo lugar las alteraciones reproductivas y seguidamente las mamitis y la baja producción (Hadley *et al*., 2006; Dechow y Goodling, 2008; Pinedo *et al*., 2010). En trabajos más antiguos llevados a cabo en Inglaterra y Francia, la infertilidad es la primera causa de eliminación, seguida por mamitis alternando con baja producción y cojeras (Esslemont y Kossaibati, 1997; Seegers *et al*., 1998; Whitaker *et al*., 2000). Las diferencias existentes pueden ser debidas a la propia evolución del manejo en rebaños de producción de leche, con una mayor tendencia a sistemas intensivos, donde por ejemplo se observan con más frecuencia problemas metabólicos post-parto. Por otro lado, existen diferencias en la codificación empleada, produciéndose igualmente una mejora en la recogida de información gracias a una mayor tecnificación y nivel de profesionalización de las granjas.

Por otro lado, el hecho de emplear los códigos oficiales de Control Lechero hace que un motivo de eliminación como "causas múltiples" tenga que ser asimilado en el mismo código que otros, cuando este debería estar reservado a motivos menos frecuentes. Un elevado número de animales (5.721) fueron descarta-

dos sin que se consignara una razón específica. Este motivo de baja tiene mayor casuística a medida que aumenta el número de partos ya que la decisión de eliminar los animales obedece a múltiples causas: vacas con mamitis crónica, cojas y con problemas para quedar preñadas, son vacas a las que se les aprovecha la producción en esa lactación y son eliminadas por no rentables. En la población de referencia el número medio de partos por vaca es de 3,6, cifra superior a la de otras regiones españolas, con una cabaña con producciones ligeramente inferiores a la media nacional, al igual que el tamaño medio de explotación (Conafe, 2009), lo que hace que existan diferencias en el manejo que condicionan las causas de eliminación. Esto podría suponer una cierta limitación del presente estudio, especialmente en los grupos de mayor edad.

Resultados en función del número de parto

La muerte fue la causa más frecuente en novillas no paridas, datos análogos a los observados por Pinedo *et al*. (2010). De todos los animales evaluados, el 17,2% fueron descartados por encontrase postrados o por morir en el establo, llegando al 63,8% en este grupo de no paridas. No existen registros sobre el motivo de las muertes, estimándose como causas, infecciones hiperagudas, falta de atención terapéutica o falta de respuesta al tratamiento. El elevado porcentaje de este tipo de bajas en los animales más jóvenes podría corresponder a enfermedades como diarreas o neumonías mucho más frecuentes en este grupo que en animales adultos. El sacrificio urgente supone el 5,9 % de las bajas. En muchos casos, la diferencia de codificación entre muerte y sacrificio es que el ganadero detectó a tiempo el animal enfermo, diagnosticándose que no tenía posibilidad de curación o que el coste de su tratamiento no era rentable. El porcentaje de animales sacrificados o muertos se reduce con la edad, resultados similares a los indicados previamente por Seegers *et al*. (1998). Esto podría estar relacionado con un balance energético negativo post-parto más acusado en animales más jóvenes, siendo más frecuentes los problemas metabólicos.

La mamitis en vacas de primer parto como causa de eliminación justificó el 9,7% de las eliminadas, dato similar al obtenido por De Vliegher *et al*. (2005). Además, este grupo tuvo un mayor riesgo de eliminación debido a improductividad en comparación con las vacas de segundo y tercer parto. Sin embargo, en términos relativos, estos animales tienen menor probabilidad de ser eliminados por infertilidad, mamitis o cojeras, dado que sus sistemas reproductor, mamario y locomotor han estado menos forzados y expuestos a las causas que pueden determinar la baja por estos motivos. De esta manera el ganadero prioriza sobre su rendimiento productivo.

La infertilidad como causa de eliminación más frecuente en vacas de primer a tercer parto es también similar a lo descrito por Pinedo *et al*. (2010). El incremento de producción medio durante los últimos años se podría correlacionar negativamente con el rendimiento reproductivo (Dochi *et al*., 2010; Leblanc, 2010).

A efectos de realizar comparaciones de resultados entre diversos estudios, es necesario considerar si en la población de estudio se tienen en cuenta todas las bajas o solo las de los animales paridos. Así, en nuestro estudio, las bajas por muerte en animales no paridos supusieron el 63,8% lo que hace que disminuya la distribución relativa del resto de las causas. También es importante considerar la distribución de partos en la población en estudio, ya que difiere significativamente con la de otras poblaciones que presentan tasas de reposición más elevadas, en las que más del 30% de los animales paridos son de primer parto.

Resultados en función del momento de lactación

La dinámica de bajas según el estado de lactación observada en este trabajo concuerda con otros estudios previos. La muerte como principal causa de eliminación al inicio de lactación (60 primeros días post-parto) coincide con lo indicado por Hadley *et al.* (2006), Dechow y Goodling (2008) y Pinedo *et al.* (2010). Esto parece consolidar la hipótesis de que esta causa está relacionada con patologías propias del post-parto.

La mamitis se comprobó como razón de eliminación que se incrementaba hasta los 240 días posparto, reduciéndose a partir de ese período debido al incremento de la infertilidad, de manera similar a lo indicado por Pinedo *et al*. (2010). La mamitis y las cojeras variaron según el estado de lactación de forma similar a lo que reflejó Rajala-Schultz y Gröhn (1999b) ya que en caso de alguno de estos problemas sanitarios al final de lactación se podría plantear terapia antibiótica de mayor duración durante el secado.

Pinedo *et al*. (2010) también indicaron que el verano fue la estación con mayor riesgo de eliminación. Además, observaron un incremento en la eliminación por infertilidad después del verano que puede ser consecuencia del fallo en conseguir vacas gestantes durante la estación de calor. En nuestro estudio no se observaron tendencias estacionales para ninguna causa de eliminación, debido a que posiblemente en Galicia no se alcanzan temperaturas tan elevadas durante el verano como las comprobadas en los estados donde se realizó el estudio mencionado (que abarcan una amplia zona de EEUU, incluidas algunas del sur donde la temperatura puede ser elevada en determinada época), por lo que los animales no padecerían estrés térmico que ocasionará infertilidad.

Características productivas previas al momento de la eliminación y su relación con éste

Los datos de Control Lechero indicaron que las cojeras parecen tener un efecto mayor sobre la producción que la propia mamitis, al contrario de lo que se considera habitualmente. Así, los animales con cojera limitan su acceso al pesebre, permaneciendo postrados más tiempo e ingiriendo menos alimento.

La carencia en muchos casos de registros fiables de mamitis clínicas hace que la información procedente de los RCS, especialmente de recuentos elevados persistentemente, podría usarse para proporcionar información sobre el riesgo de una vida productiva disminuida debido a la mamitis.

Se encontraron diferencias significativas en la calificación morfológica de los animales según el tipo de baja. Aunque numéricamente las diferencias son pequeñas, se debe tener en consideración que actualmente la población frisona muestra muy poca dispersión en este parámetro, por lo que biológicamente si pueden ser importantes. Así, se podría concluir que los animales con calificación más baja tienen más probabilidad de ser eliminados por mamitis, improductividad o cojera, al estar relacionadas estas causas de baja con una peor conformación de la ubre, poca capacidad corporal o mala conformación de las patas. Los animales con mayores calificaciones morfológicas son eliminados con más frecuencia por causas "ajenas" a su conformación, como "muerte". Esto parece indicar que determinados caracteres lineales podrían estar relacionados con diferentes causas de baja, por lo que serían necesarias investigaciones específicas a este respecto. El estándar racial de la vaca Frisona se basa en una relación entre la productividad y longevidad con la morfología del animal. Los animales inscri-

tos en el Libro Genealógico son calificados de acuerdo con un prototipo racial definido, asignándoles una puntuación en función de lo próximos que estén al valor máximo de 90. De este modo, los animales con una mayor calificación morfológica tenderán a ser los más productivos del rebaño, y por eso, quizás los más probables a ser eliminados por infertilidad (Zavadilová *et al.*, 2011).

Conclusiones

Las dinámicas de eliminación variaron según el parto, el estado de lactación y las características morfológicas de los animales.

La infertilidad fue la causa de baja más frecuente entre las vacas de primer a tercer parto.

Las mamitis incrementó el riesgo de eliminación a lo largo de la lactación en animales de segundo o más partos.

En general, se confirman las principales causas de eliminación encontradas en la bibliografía, siendo en promedio los problemas reproductivos la principal causa de eliminación, seguida de la mamitis.

Bibliografía

Africor (2009). Memoria Africor (Asociación Provincial para el Control de Rendimientos). Lugo 2009. Ed. Africor Lugo, Lugo.

Bascom SS, Young AJ (1998). A summary of the reasons why farmers cull cows. Journal of Dairy Science, 81, 2299-2305.

Bell MJ, Wall E, Rusell G, Roberts DJ, Simm G (2010). Risk factors for culling in Holstein-Friesian dairy cows. Veterinary Record, 167, 238-240.

BOE (Boletín Oficial del Estado) (2005). Real Decreto 368/2005 por el que se regula el control oficial del rendimiento lechero para la evaluación genética en las especies bovina, ovina y caprina. Ed. Imprenta Nacional, Madrid.

Conafe (Confederación Nacional de Frisona Española) (1998). Manual de calificación. Ed. CONAFE, Madrid.

Conafe (Confederación Nacional de Frisona Española) (2009). Estadísticas. www.conafe.com. Acceso el 15 de octubre, 2009.

Dechow CD, Gooding RC (2008). Mortality, culling by sixty days in milk, and production profiles in high- and low-survival Pennsylvania Herds. Journal of Dairy Science, 91. 4630-4639.

De Vliegher S, Barkema HW, Opsomer G, De Kruif A, Duchateau L (2005). Association between somatic cell count in early lactation and culling of dairy heifers using Cox frailty models. Journal of Dairy Science, 88, 560-568.

Dochi O, Kabeya S, Koyama H (2010). Factors affecting reproductive performance in high milk producing Holstein cows. Journal of Reproduction and Development., 56, 61-65.

Esslemont RJ, Kossaibati MA, 1997. Culling in 50 dairy herds in England. Veterinary Record, 140, 36-39.

Fetrow J, Nordlund KV, Norman HD (2006). Invited review: Culling: Nomenclature, definitions, and recommendations. Journal of Dairy Science, 89, 1896-1905.

Hadley GL, Wolf CA, Harsh SB (2006). Dairy cattle culling patterns, explanations and implications. Journal of Dairy Science, 89, 2286-2296.

Hare E, Norma HD, Wright JR (2006). Survival rates and productive herd life of dairy cattle in the United States. Journal of Dairy Science, 89, 3713-3720.

Leblanc S (2010). Assesing the association of the level of milk production with reprodcutive performance in dairy cattle. J. Reprod. Dev., 56, 1-7.

Pinedo PJ, De Vries A, Webb DW (2010). Dynamics of culling risk with disposal codes reported by dairy herd improvement dairy herds. Journal of Dairy Science, 93, 2250-2261.

Rajala-Schultz PJ, Gröhn YT (1999a). Culling of dairy cows. Part II. Effects of diseases and reproductive performance on culling in Finnish Ayrshire cows. Preventive Veterinary Medicine, 41, 279-294.

Rajala-Schultz PJ, Gröhn YT (1999b). Culling of dairy cows. Part III. Effects of diseases, pregnancy status and milk yield on culling in Finnish Ayrshire cows. Preventive Veterinary Medicine, 41, 295-309.

Schukken YH, González RN, Tikofsky LL, Schulte HF, Santisteban CG, Welcome FL, Bennett GJ, Zurakowski MJ, Zadocks RN (2009). CNS mastitis: Nothing to worry about? Veterinary Microbiology, 134, 9-14.

Seegers H, Beaudeau F, Fourichon C, Bareille N (1998). Reasons for culling in French Holstein cows. Preventive Veterinary Medicine, 36, 257-271.

Whitaker DA, Kelly JM, Smith S (2000). Disposal and disease rates of 340 British Dairy herds. Veterinary Record, 146, 363-367.

Zavadilová L, Nemcová E, Stipková M (2011). Effect of type traits on functional longevity of Czech Holstein cows estimated from a Cox proportional hazards model. Journal of Dairy Science, 94, 4090-4099.

(Aceptado para publicación el 6 de noviembre de 2013)

Cambios en la productividad y sus determinantes en explotaciones lecheras de Cuba

J. Flores*,[1], J. Herrera-Toscano** y S. Flores***

* UNELLEZ-Guanare. Antiguo Convento de San Francisco, carrera 3 entre carrera 16 y 17, Mesa de Cavaca, Guanare, Estado Portuguesa. Venezuela

** Departamento de Manejo y Alimentación de Rumiantes, Instituto de Ciencia Animal. Carretera Central, Km 47 1/2. San José de las Lajas, Mayabeque. Código Postal: 32700. República de Cuba

*** Depto. Ingeniería de Organización, Administración de Empresa y Estadística, E.T.S. Ingenieros Industriales, Universidad Politécnica de Madrid. C/ José Gutiérrez Abascal, 2. 28006 Madrid, España

Resumen

El objetivo de este artículo es estudiar los cambios en la productividad y sus elementos determinantes –cambio técnico y cambio en eficiencia– de una muestra de explotaciones lecheras cubanas ubicadas en el municipio de San José de las Lajas. Con este propósito se calculan índices Malmquist de productividad con técnicas DEA y datos correspondientes al período 2006-08. Asimismo, se asumen rendimientos variables a escala y se utiliza una orientación al producto. Se consideraron dos insumos y dos productos. Los resultados indican que debido a una caída de la productividad de las explotaciones lecheras durante el periodo 2006-2007, que no fue compensada por el incremento ocurrido durante el lapso 2007-2008, todo el periodo de estudio, del 2006 al 2008, reflejó una pequeña reducción de la productividad, que fue ocasionada en su totalidad por un ligero retroceso tecnológico. Este resultado es explicado, parcialmente, por un aumento del número de vacas en el año 2007 que no se expresó proporcionalmente en la producción correspondiente a ese año.

Palabras clave: Malmquist, eficiencia, cambio tecnológico.

Abstract
Changes in productivity and its determinants in Cuba dairy farms

The objective of this paper is to study changes in productivity and its determinants-technical change and efficiency change-of a sample of Cuban dairy farms located in the municipality of San Jose de las Lajas. For this purpose Malmquist productivity indexes calculated with DEA techniques and data for the period 2006-08. Also, assume variable returns to scale and used a product orientation. We considered two inputs and two outputs. The results indicate that due to a drop in productivity of dairy farms in 2006-2007, which was not offset by the increase occurred during the period 2007-2008, the entire study period from 2006 to 2008, showed a small reduction productivity, which was caused entirely by a slight drop technology. This result is explained, in part, by an increase in the number of cows in 2007 that proportion was not expressed in the production for that year.

Key words: Malmquist, efficiency, change technological.

---

1. Autor para correspondencia: joseovidioflores@gmail.com, http://joseovidioflores.wordpress.com/
http://dx.doi.org/10.12706/itea.2014.012

Introducción

El desarrollo del sector lechero cubano no se desmarca de su particular sistema político ni de la existencia de cincuenta años de bloqueo por parte de Estados Unidos (Ponce, 2009). Ello se puede resumir en que, la leche es un producto de alta sensibilidad para la población, ya que se destina a mujeres gestantes, ancianos y enfermos, con un precio altamente subsidiado. Constituye uno de los pocos productos agrícolas que tiene precios regulados para el productor y se comercializa únicamente con la participación del estado. Cuba tiene 11.3 millones de habitantes y una población flotante de dos millones de personas anuales, fundamentalmente turistas. Existe una población de cuatro millones de cabezas de bovinos, 45 mil búfalos y 200 mil cabras. Cerca de 200 mil familias están vinculadas a la actividad lechera. La producción registrada en el año 2006 fue de 371,7 millones de litros de leche (ML), al año siguiente fue de 411,3 ML y en el 2008 se registraron 399,9 ML (aunque se estimaron 480 ML) mientras que, para estos mismos años, las vacas en ordeño (en miles de cabezas) fueron 317,6; 318,2 y 275,1, respectivamente (Nova 2008; Ponce, 2009).

Aunque los promedios nacionales de los indicadores productivos y reproductivos de la ganadería vacuna en Cuba son deficientes, el sector campesino ha mostrado índices muy favorables, sobre todo en las últimas dos décadas (Miranda *et al*., 2012). Por citar un ejemplo, en el año 2008, con solo el 27% de la superficie agrícola nacional y el 55% del rebaño vacuno, el sector campesino entregó el 62% de la leche y el 45% de la carne vacuna producida nacionalmente (Mirabal, 2010). En el año siguiente, después del comienzo del proceso de entrega de tierras en usufructo, este sector campesino produjo el 96% del tabaco, el 70% de la carne de cerdo, el 60% de las viandas y hortalizas, y el 59% de la leche de vaca, además posee el 90% del ganado menor y el 62% de la masa vacuna (González, 2009).

Para el mejoramiento de la ganadería cubana, Senra *et al*. (2010) recomiendan la utilización de metodologías –a mediano y largo plazo– para evaluar los resultados finales de la aplicación de las tecnologías. Es conveniente garantizar el control y ajuste sistemáticos, durante las etapas iniciales de su aplicación para evitar las pérdidas que conduzcan al deterioro paulatino de la ganadería, como en décadas anteriores.

Precisamente, una forma de medir el impacto en el uso de las tecnologías consiste en estimar la productividad en el tiempo. Para ello, existen varios métodos de medición como la contabilidad del crecimiento y los números índices. Sin embargo, estos enfoques adolecen de varias limitaciones, entre las que destacan la asunción de que todas las unidades de producción son plenamente eficientes y los requerimientos de información de los precios que pueden no estar siempre disponibles. Por el contrario, el índice de productividad de Malmquist (IPM) desarrollado por Färe *et al*. (1994), al estar basado en el método DEA (Data Envelopment Analysis) presenta importantes ventajas que superan sus desventajas (Schuschny, 2007). El IPM es un índice basado en *ratios* de funciones de distancia, que sirve para medir el cambio productivo que experimenta cualquier empresa que transforme recursos. Dicho cambio se puede descomponer en cambios de naturaleza técnica y cambios en la eficiencia o *catching-up*.

En el caso del sector pecuario, la productividad puede ser incrementada de dos maneras: mediante el progreso tecnológico y a través de la mejora de la eficiencia técnica. La medición y el monitoreo de estas dos medidas del crecimiento de la productividad puede ayudar, de manera muy efectiva, para formular y ejecutar políticas públicas agrarias ten-

dientes a mejorar el sector. El cambio tecnológico (o progreso tecnológico) se produce por el desarrollo y adopción de nuevas tecnologías de producción o de administración, y es una de las vías para que las mejores fincas se superen a sí mismas.

Por otra parte, los cambios en la eficiencia técnica representan la tasa de adopción de las tecnologías disponibles, o la tasa a la cual las fincas promedio alcanzan los desempeños (o logros) de las mejores fincas (Gray *et al*., 2011). Por lo general, estos cambios están asociados al factor humano y representan una mejora en las prácticas agrarias relacionadas con los procesos productivos o administrativos de las fincas ineficientes en comparación con sus pares eficientes, ubicados en la frontera de producción.

Los cambios y tendencias en la productividad agrícola han sido de gran interés para aquellas personas relacionadas con la agricultura, debido, principalmente, a las razones siguientes: a) el crecimiento de la productividad es el motor del cambio estructural en la producción, b) la necesidad de incrementar los niveles de alimentos, fibras y combustibles debido a un aumento de la población, c) una base fija o declinante del recurso tierra, d) cambios en los insumos y métodos de producción, y e) cambios reales y potenciales en las políticas nacionales y en las reglas internacionales de comercio, entre otras.

Como es lógico suponer, dada la gran cantidad de variables que inciden en la productividad agraria, los resultados de las aplicaciones empíricas son dispares, ya que en algunas se reportaron crecimientos de la productividad y en otras se obtuvieron evidencias de un relativo estancamiento, e incluso disminuciones de la productividad. En el primer grupo el crecimiento se debió, principalmente, a una de las dos fuentes de productividad: a mejoras en la eficiencia técnica o al progreso tecnológico, según se desprende de los trabajos de Tauer (1998), Graham (2009), Luik *et al*. (2011) y Zuniga (2010), entre otros. En el segundo grupo se ubican los trabajos de Karanja *et al*. (2012) y Singh y Singh (2012).

Estas discrepancias en los resultados empíricos es una importante motivación para continuar esta línea de investigación, a fin de contribuir a explicar la realidad de los procesos productivos agrarios. Por ello, el presente estudio, con base a una muestra de 24 explotaciones lecheras del municipio San José de las Lajas, Cuba, tiene como objetivo analizar la productividad agraria, separándola en los componentes de cambio de eficiencia técnica y cambio tecnológico, medida durante el periodo 2006 a 2008. Se empleó el índice de Malmquist estimado con la metodología DEA. Los resultados obtenidos representan una importante contribución empírica que puede ser utilizada como herramienta de diagnóstico para la formulación de políticas públicas destinadas a mejorar la productividad de fincas lecheras y, en general, constituye un aporte al estudio de productividad agraria en países en vías de desarrollo. Se escogió el índice de Malmquist para estimar el cambio en la productividad total de los factores por ser una propuesta no paramétrica que presenta ventajas frente a otras técnicas y, también, por su creciente utilización en el campo de las investigaciones agrarias.

Materiales y métodos

El Índice de Productividad de Malmquist

Los índices de productividad basados en números índices como el índice de Fisher y los índices de Tornqvist se emplean con frecuencia para medir el crecimiento de la productividad total de los factores (PTF por sus siglas en inglés) (Coelli *et al*., 2005; Gregg y Rolfe, 2011) y reflejan el desempeño de la industria en su conjunto. Sin embargo, estos ín-

dices no necesariamente proporcionan información para identificar los factores que contribuyen al crecimiento de la PTF (Coelli *et al*., 2005).

Otra limitación de los métodos basados en números índices es su incapacidad para diferenciar los cambios en productividad debidos a avances tecnológicos de aquellos que resultan de cambios en la eficiencia y, por tanto, no permiten establecer las causas que originan las diferencias entre la productividad y la eficiencia (Kompas y Che, 2004; Pastor, 1995). El reconocimiento de las limitaciones de los índices tradicionales para estimar la PTF ha orientado el desarrollo de técnicas que descomponen la productividad (O'Donnell, 2009 y 2010). Por estas razones en la presente investigación se descartan los índices tradicionales para estimar la PTF y se recurre al índice de productividad de Malmquist (1953) o IPM, el cual ha sido ampliamente abordado en un contexto no paramétrico (Färe *et al*., 1998; Coelli *et al*., 1998; Tone, 2004). En este índice, que mide el crecimiento de la productividad total de los factores (PTF) de una finca, se cuantifican dos aspectos importantes: a) la mejora en la eficiencia técnica (desplazamiento a la frontera de producción, si la finca era ineficiente al inicio del periodo de evaluación) y b) el progreso o cambio tecnológico evidenciado por el desplazamiento de la frontera tecnológica en el tiempo (las fincas consideradas eficientes al inicio del periodo de estudio aumentan sus niveles de productividad en el tiempo), en un sistema productivo caracterizado por múltiples insumos y productos.

El índice de la variación de productividad Malmquist fue introducido por Caves *et al*. (1982), inspirados en el trabajo de Malmquist (1953), y su objetivo es medir la variación de la productividad entre dos periodos de tiempo diferentes, utilizando como medida de los cambios en la productividad total la relación (razón o cociente) entre dos funciones distancia. Según estos autores, con el IPM se pueden comparar, en dos momentos diferentes, los niveles de insumos (o *inputs*), productos (u *outputs*) y productividad de una misma unidad de decisión (finca), o también, de dos fincas diferentes en el mismo momento o en diferentes momentos.

Para analizar los cambios ocurridos entre esos dos periodos de tiempo, se pueden tener dos tecnologías de producción para realizar la comparación, que corresponden a la del periodo inicial y a la del periodo final, y según cuál de esas tecnologías se asuma como referencia se pueden estimar dos índices de productividad. Esta situación introduce un elemento de arbitrariedad al tener que elegir el periodo de referencia en *t* o en *t+1*. Färe *et al*. (1992) construyeron un índice Malmquist basado en DEA, el cual corresponde a la media geométrica de dichos índices.

A diferencia de otras aproximaciones propuestas para medir la productividad, el IPM también proporciona información sobre el origen del cambio de productividad mediante la descomposición de este índice en dos componentes: uno de cambio tecnológico (CT) y otro de cambio en la eficiencia (CE), bajo el supuesto de rendimientos constantes a escala. El primero también es conocido como movimiento de frontera, progreso técnico o *Frontier-Shift* y recoge la variación debida al desplazamiento de la frontera eficiente, por lo que revela los desplazamientos, entre dos periodos de tiempo, generados por incrementos en la productividad de las fincas inicialmente eficientes. Es decir, se relaciona con el conjunto de innovaciones y cambios en las técnicas agrarias que desplazan la frontera de producción obteniéndose, así, un mayor nivel de producto sin variar la cantidad de insumos utilizados, o bien obtener el mismo nivel de producto, utilizando menor cantidad de insumos en el proceso productivo (Martín, 2000).

El segundo componente cambio en la eficiencia también es conocido como convergencia

a la frontera o *catching-up*, y refleja la mejora en la eficiencia de una finca en comparación con sus pares eficientes (las fincas con la mejores prácticas agrarias). O dicho de otra manera, este tipo de eficiencia muestra el resultado de la capacidad que tienen las fincas en la gestión de su proceso productivo para incorporar progreso técnico (Martín, 2000). En concreto, este componente mide la parte de la variación de la productividad global de la finca asociada al factor trabajo (las personas): los niveles de aprendizaje y experiencia del personal, la transferencia de la tecnología agraria, los avances en la gestión y organización de los recursos y los planes de incentivos laborales, entre otros, que en esencia representan factores que no están vinculados directamente con el progreso técnico, pero si con la eficacia con que éste se adopta o incorpora.

Cuando se asumen rendimientos variables a escala el cambio en la eficiencia técnica (CE) se desglosa en cambio en la eficiencia técnica pura (CETP) y cambio en la eficiencia de escala (CEE), que se ajusta más a la realidad del mundo empresarial según la propuesta de Färe *et al*. (1994). El primer tipo de cambio refleja el resultado que se correspondería con la gestión exclusivamente técnica de la empresa independientemente de su tamaño, y el segundo se derivada del tamaño de la finca con relación a la escala óptima (Martín, 2000). Esta descomposición del índice de Malmquist es un punto que ha generado una importante controversia según Coelli *et al*. (2005), quienes señalaron que el punto crítico principal es que sí existe cambio en la eficiencia en escala, lo cual implica que la verdadera tecnología de producción es con rendimientos variables a escala y no con rendimientos constantes, pero la descomposición propuesta por Färe *et al*. (1994) refleja los movimientos en la frontera de rendimientos constantes a escala (RCE) y no en la de rendimientos variables a escala (RVE). Previamente, Ray y Desli (1997) al asomar esta inconsistencia, que fue rápidamente replicada por Färe *et al*. (1997), propusieron una descomposición alternativa basada en RVE que denominaron componente de cambio en escala, que no es equivalente al cambio en la eficiencia en escala. Aunque este método puede presentar ventajas, presenta el inconveniente de tener dificultades computacionales propiciando infactibilidades en algunos cálculos de RVE entre diferentes periodos (Canós *et al*., 2010).

Para estimar las medidas de distancia del índice de Malmquist hay que elegir una orientación: a) Hacia los insumos (reducción de las cantidades de insumos aplicados mientras se mantienen constantes los niveles de producto) o b) Hacia los productos (aumento de los niveles de producción mientras los niveles de insumos permanecen constantes). Esta imposición tampoco está exenta de controversia (Ferro y Romero, 2011), ya que en ocasiones tiene sentido (como en la orientación a los insumos si se están estudiando sectores regulados con obligación de provisión por parte del oferente), pero en otras se manifiesta como demasiado rígido o inapropiado (un mercado competitivo donde no hay restricciones a expandir la producción o reducir los insumos).

En resumen, el índice de Malmquist, al estar basado en el método DEA presenta además otras ventajas y desventajas. Entre las primeras se tienen (Schuschny, 2007): 1) Permite trabajar con múltiples insumos y productos, medidos en diferentes sistemas de unidades, 2) Al contrario de los métodos de naturaleza econométrica que emplean una aproximación a la frontera de producción estocástica, la estimación del IPM no requiere la asunción de pleno empleo de los factores productivos, 3) No impone el uso de formas funcionales explícitas para la tecnología, y 4) Las fincas son comparadas con una finca ideal, construida a partir del desempeño de fincas "pares" reales, que son productivamente más eficientes, mediante el cálculo

de una combinación lineal de estas últimas y 5) el IPM se puede descomponer en cambio técnico y cambio en la eficiencia y, por lo tanto, aporta información sobre los efectos relativos de estos factores.

Entre las desventajas o limitaciones se destacan (Schuschny, 2007): 1) Es sensible a errores de medición. Los "outliers" representados por fincas altamente productivas pueden sesgar los resultados al determinar la frontera de referencia. Por el contrario, las fincas muy poco productivas no afectan los resultados, 2) La exclusión de variables relevantes puede dar lugar a la identificación de ineficiencias (espúreas), 3) Se estiman muy bien las eficiencias (o ineficiencias) "relativas", pero no "absolutas" cuyo objetivo sea obtener resultados potenciales o ideales 4) Por ser una técnica no paramétrica no se recomienda para probar hipótesis de investigación, a menos que se utilicen técnicas de remuestreo, como la metodología *bootstrap*, en el cálculo del IPM (Simar y Wilson, 1999) y 5) Otra de las debilidades achacadas es que no distingue entre "noise" e ineficiencia técnica, como ocurre en las estimaciones obtenidas a través de fronteras estocásticas. Así, cualquier desviación de la frontera sería considerada, en este caso, como ineficiencia. Debido a ello, los *shocks* externos desfavorables, que afecten el resultado de una economía, serían captados como ineficiencias (al no computar los efectos aleatorios, la metodología DEA podría sobreestimar la medición de aquéllas).

A pesar de sus desventajas el IPM es una herramienta muy poderosa para calcular el crecimiento de la productividad cuando existen ineficiencias en los procesos productivos de las fincas (Grosskopf, 1993). Es importante destacar que la verdadera tecnología de las empresas agrarias es desconocida (Quirós y Picazo, 2001).

Formulación matemática del Índice de Productividad de Malmquist

El IPM de las fincas orientado a producto y tomando como referencia la tecnología del periodo base s^t se define como (Caves *et al*., 1982):

$$IPM_o^t\left(x,y\right)=\frac{D_o^t(x^{t+1},y^{t+1})}{D_o^t(x^t,y^t)}$$

Que viene a representar el crecimiento de la productividad medido en términos de distancias verticales, tomando como referencia la tecnología del periodo *t*.

De igual manera, el IPM de las fincas orientado a producto y tomando como referencia la tecnología del periodo siguiente s^{t+1} se define como:

$$IPM_o^{t+1}\left(x,y\right)=\frac{D_o^{t+1}(x^{t+1},y^{t+1})}{D_o^{t+1}(x^t,y^t)}$$

Que viene a representar el crecimiento de la productividad medido en términos de distancias verticales, tomando como referencia la tecnología del periodo *t+1*.

De manera que, el cambio productivo para una finca puede ser definido con relación a la frontera tecnológica, bien del periodo *t* o del *t* + 1. Con el propósito de obviar la arbitrariedad en la elección de la tecnología de referencia, Färe *et al*. (1989 y 1992) propusieron un IPM basado en la media geométrica de las dos tecnologías de referencia antes descritas.

Así, el cambio productivo experimentado por una finca entre el periodo *t* y el periodo *t* + 1, medido por el índice de productividad total de Malmquist orientado a producto, puede obtenerse a partir de la expresión siguiente:

$$IPM_O\left(x^{t+1},y^{t+1},x^t,y^t\right)=\left[\left(\frac{D_0^t(x^{t+1},y^{t+1})}{D_0^t(x^t,y^t)}\right)\left(\frac{D_0^{t+1}(x^{t+1},y^{t+1})}{D_0^{t+1}(x^t,y^t)}\right)\right]^{1/2}$$

Una de las principales razones de la utilización de este índice de PTF es que se puede desglosar en dos componentes (Färe *et al*., 1994):

$$IPM_O\left(x^{t+1},y^{t+1},x^t,y^t\right)=\frac{D_0^{t+1}(x^{t+1},y^{t+1})}{D_0^t(x^t,y^t)}$$

$$\left[\left(\frac{D_0^t(x^{t+1},y^{t+1})}{D_0^{t+1}(x^{t+1},y^{t+1})}\right)\left(\frac{D_0^t(x^t,y^t)}{D_0^{t+1}(x^t,y^t)}\right)\right]^{1/2}$$

El primer componente (o término) de esta ecuación (antes del corchete) estima el cambio en la eficiencia técnica relativa (CE). Un resultado mayor que la unidad indica un aumento de la eficiencia técnica relativa con respecto al periodo anterior, mientras que un resultado menor que la unidad evidencia una caída de la eficiencia relativa. Por su parte, un valor igual a la unidad muestra una situación estática.

El segundo componente mide el cambio en el progreso tecnológico (CT). Un cambio tecnológico mayor que la unidad indica progreso tecnológico y menor que la unidad evidencia un retroceso tecnológico. Si es igual a la unidad muestra una situación de estancamiento tecnológico (sin cambios).

Es importante destacar que los dos componentes del cambio productivo pueden evolucionar en direcciones contrapuestas, de manera que, por ejemplo, es posible que en una finca ocurran simultáneamente un progreso tecnológico y una desmejora de la eficiencia técnica o viceversa (Maroto, 2007; Coll-Serrano *et al*., 2009; Karanja *et al*., 2012), aunque bajo determinadas condiciones, las caídas de productividad pueden ser compatibles con el comportamiento racional de las empresas, sin necesidad de asumir regreso tecnológico (Pastor, 1994). Un caso hipotético de regresión tecnológica podría ser la incorporación de un lote de vacas de ordeño genéticamente muy superiores a las reemplazadas (fuente de progreso tecnológico), pero la combinación de varios factores en esa finca en particular, tales como fallas en el servicio de electricidad e impericia del personal de ordeño (fuentes de ineficiencia relativa) limitan significativamente el potencial de las vacas, hasta el punto de que apenas se supera la productividad promedio de leche por vaca reemplazada del periodo anterior (ligero progreso tecnológico). Estas ineficiencias aumentan la brecha (desmejora de la eficiencia) que ya existía en el periodo anterior entre la finca comparada y las fincas eficientes, que también adquirieron vacas de ordeño con alto potencial genético.

Dado que en el mundo real, las fincas, por lo general, no presentan procesos productivos caracterizados por rendimientos constantes a escala, sino por el contrario, esos procesos están gobernados por las tecnologías de rendimientos variables a escala, es conveniente utilizar la propuesta de Färe *et al*. (1994), que desglosa la eficiencia técnica relativa en dos componentes: cambio en la eficiencia técnica pura (CETP) y cambio en la eficiencia de escala (CEE), por lo que partiendo del componente de cambio eficiencia técnica relativa la fórmula queda expresada de la forma siguiente:

$$\frac{D_0^{t+1}(x^{t+1},y^{t+1})CRS}{D_0^t(x^{t+1},y^{t+1})CRS}=\left[\frac{D_0^{t+1}(x^{t+1},y^{t+1})VRS}{D_0^t(x^t,y^t)VRS}\right]\left[\left(\frac{D_0^t(x^t,y^t)VRS}{D_0^t(x^t,y^t)CRS}\right)\left(\frac{D_0^{t+1}(x^{t+1},y^{t+1})CRS}{D_0^{t+1}(x^{t+1},y^{t+1})VRS}\right)\right]$$

El primer término de la ecuación mide los cambios en la eficiencia técnica pura asumiendo rendimientos variables a escala y el segundo término mide los cambios en la productividad que provienen de las modificaciones en la escala de producción de la finca.

Un valor mayor que la unidad en el IPM indica una mejora en la productividad y menor que la unidad evidencia merma de la productividad, con respecto al periodo inicial o

base. Si es igual a la unidad muestra una situación de estancamiento productivo (sin cambios).

La estimación del IPM requiere del cálculo de las funciones de distancia correspondientes, para lo cual existen varias maneras de abordarlo (Färe *et al*., 1998). De todas ellas, ha cobrado mucho auge la basada en la resolución de un problema de programación matemática tipo análisis envolvente de datos, donde la función distancia de una finca *k´* en el periodo *t* es estimada a partir de la resolución de un problema de programación lineal como el que sigue:

$$[D_{\mathbf{0}}^{t}(x^{k',t}, y^{k',t})]^{-1} = m\acute{a}x\theta^{k'}$$

Donde *x* y *y* representan, respectivamente, los insumos y productos del proceso productivo agrario que realiza la finca *k´* y *k* = 1,… *K* fincas que componen la muestra contra las cuales se compara su resultado.

De manera que:

x = número de vacas totales y los gastos totales en unidades monetarias

y = producción anual de leche expresada en litros y el número de los nacimientos de becerros por año, que genera ese proceso productivo

s.a

$$\sum_{k=1}^{K} \lambda^{k,t} y_m^{k,t} \geq \theta^{k'} y_m^{k,t} \qquad m = 1,....., M$$

$$\sum_{k=1}^{K} \lambda^{k,t} x^{k,t} \leq x_n^{k,t} \qquad n = 1,....., N$$

$$\lambda^{k,t} \geq 0 \qquad k = 1,....., K$$

Similar es la expresión matemática que sirve para calcular la función de distancia con respecto del periodo *t+1*, para lo cual se sustituye el superíndice *t* por *t+1* en las ecuaciones antes presentadas. Con respecto a la función distancia $D_0^t (x^{t+1}, y^{t+1})$ se estima de forma similar, con la condición de sustituir el superíndice *t* por *t+1* en el lado derecho de las restricciones. Asimismo, la estimación de la función $D_0^{t+1} (x^t, y^t)$ se concreta reemplazando el superíndice *t* por *t+1* en el lado izquierdo de las restricciones establecidas para el modelo.

Las distancias respecto a la tecnología con rendimientos variables a escala se obtienen imponiendo la restricción adicional de que la suma de los elementos del vector de intensidades debe ser igual a la unidad (Afriat, 1972; Banker *et al*., 1984).

Para la estimación del IPM en la presente investigación se empleó el programa informático *Win4deap* versión 2.1 (Coelli, 1996), con base a un modelo orientado a producto, asumiendo rendimientos variables a escala.

Datos y muestra

El estudio abarcó el período 2006 – 2008 y se realizó en la Empresa Pecuaria Genética Valle Del Perú en el municipio San José de las Lajas, Cuba, la cual dispone de más de 13.542 hectáreas destinadas a la ganadería. La muestra estuvo conformada inicialmente por 30 fincas, que representan el 56% del total de fincas. Los datos se obtuvieron por medio de diagnósticos efectuados en la totalidad de las unidades de la empresa, pero solo se incluyeron estas explotaciones que dispusieron de información completa. Posteriormente, se eliminaron seis fincas por considerarse que sus valores eran un tanto atípicos y, por ello, la muestra final fue de 24 explotaciones lecheras, a cada una de las cuales se les midieron cuatro variables (dos insumos y dos productos). Esta información fue recabada con anterioridad para un estudio de caracterización de las fincas, lo cual impuso algunas restricciones para el presente análisis.

En la totalidad de las unidades se practica el doble ordeño (predominantemente meca-

nizado) y disponen de equipos de refrigeración para conservar la leche. En la gran mayoría de fincas se pastoreó a los animales solamente 9 horas diurnas. El genotipo predominante es el mestizo Siboney, seguido del Siboney puro. Otras características de las fincas en valores promedios son: el área agrícola por finca es de 81,65 ha, se explotan 77,0 vacas por finca, lo que da una carga de 0,95 vacas/ha y un área de pastos cultivados de 35,4%.

Los insumos correspondieron al número de vacas totales y a los gastos totales (unidades monetarias nominales) del proceso productivo medidos en una dimensión anual, y como productos se consideraron la producción anual de leche expresada en litros y el número de nacimientos de becerros por año. Los gastos totales nominales fueron deflactados utilizando el índice de precios para la agricultura, ganadería y silvicultura (Oficina Nacional de Estadísticas de Cuba, 2012), tal como lo hicieron Lerdon *et al*. (2010), Mkhabela (2011) y Li *et al*., (2010). La producción de leche, así como los insumos, gastos totales y número de vacas totales ya han sido empleados en estudios sobre la eficiencia en fincas lecheras, solo que las dos primeras variables fueron expresados con relación a un día (Arzubi y Berbel, 2002).

Para analizar el crecimiento de la productividad de las fincas se compararon los periodos 2006-2007, 2007-2008 y 2006-2008.

Las unidades estudiadas son explotaciones de tamaño pequeño, según la clasificación de Lerdon *et al*. (2010), con una producción láctea anual de 54.243,5 l/fincas y un promedio de 77,6 vacas por finca, y con una gran variabilidad en cuanto a producción y utilización de insumos por parte de las fincas.

Resultados y discusión

En una primera instancia se analiza el periodo comprendido entre los años 2006 y 2007. Al indagar en la columna (5) de la Tabla 1, se observa que la finca número 16 fue la que experimentó el mayor incremento de la productividad total (IPM = 1,324), al lograr 32,4% [(1,324-1)*100], que se debió únicamente a la mejora de su eficiencia técnica (CE en la columna 1) en 35,1% [(1,351-1)*100], ya que experimentó un pequeño retroceso tecnológico (CT en la columna 2) de 2,0%. El valor del CE indica que, de todas las fincas ineficientes, ésta fue la que se acercó más al nivel de producción de sus *Benchmarks* en el año 2007 en comparación con una mayor distancia que presentaba en el año anterior. El valor del CT revela una ligera caída de la tasa de conversión producto-insumo (disminuyó la producción de leche y aumentaron las vacas totales).

La mejora de la eficiencia (CE) se debió exclusivamente a un mejor uso de la tecnología disponible (CETP = 1,367; que equivale a un incremento del 36,7%), debido a que presentó una ligera desmejora en la eficiencia de escala (EE) en 1,2%, al operar la finca a un tamaño menos óptimo en comparación con el año 2006.

Por otra parte, la finca número 18 sufrió la mayor caída (decremento) de la productividad, al reflejar un IPM de 0,710, que equivale a un descenso de 29,0% [(1-0,710)*100], que se debió más a la desmejora de la eficiencia (26,9%), que al retroceso tecnológico (2,9%). La merma de la eficiencia técnica no fue importante por el hecho de operar a una escala subóptima (2,1%), pero sí por el uso inadecuado (por parte del recurso humano de la finca) de la tecnología disponible (25,3%), por lo cual esta finca, para el segundo año considerado, se alejó de la frontera de producción que fijaron sus *benchmarks* o fincas eficientes (considerando rendimientos variables a escala), así como del segmento de dicha frontera donde se opera a la escala apropiada. De manera que las fincas ubicadas en la frontera de producción de rendimientos variables a escala son las que alcanzan las máximas tasas de conversión de insumos en

Tabla 1. Descomposición del índice de productividad de Malmquist de 24 unidades lecheras de una región de Cuba (periodo 2006-2007)
Table 1. Decomposition of the Malmquist productivity index of 24 dairy units of a region of Cuba (period 2006-2007)

N°	CE (1)	CT (2)	ETP (3)	EE (4)	IPM (5)	N°	CE (1)	CT (2)	CETP (3)	CEE (4)	IPM (5)
1	1,000	1,032	1,000	1,000	1,032	13	0,905	0,959	0,929	0,974	0,868
2	0,762	0,947	0,945	0,806	0,722	14	1,227	1,034	1,529	0,803	1,269
3	0,887	0,918	1,000	0,887	0,814	15	0,820	1,046	0,837	0,980	0,858
4	1,094	1,026	1,077	1,016	1,123	16	1,351	0,980	1,367	0,988	1,324
5	0,939	1,042	0,941	0,998	0,979	17	1,142	0,996	1,211	0,943	1,137
6	0,940	1,002	0,998	0,942	0,941	18	0,731	0,971	0,747	0,979	0,710
7	1,159	0,872	1,140	1,016	1,011	19	0,950	0,986	0,944	1,006	0,937
8	1,049	0,998	1,035	1,013	1,046	20	0,848	1,007	1,000	0,848	0,854
9	1,110	1,002	1,020	1,088	1,112	21	1,023	0,994	1,000	1,023	1,018
10	1,295	0,976	1,172	1,105	1,264	22	0,980	0,989	0,934	1,049	0,970
11	1,032	0,997	1,032	1,000	1,029	23	0,844	0,959	1,000	0,844	0,809
12	0,944	1,000	0,944	1,000	0,944	24	1,234	0,976	1,346	0,917	1,204
					Media geométrica		0,998	0,987	1,035	0,964	0,986

CE: Cambio en la eficiencia técnica CT: Cambio tecnológico IPM: Índice de Productividad de Malmquist CETP: Cambio en la eficiencia técnica pura CEE: Cambio en la eficiencia de escala.

CE: Change in technical efficiency CT: Technological change IPM: Malmquist Productivity Index CETP: Change in pure technical efficiency CEE: Change in scale efficiency.

productos con la tecnología disponible (asumiendo un alto nivel de homogeneidad de las tecnologías de las fincas comparadas). Por ello, las estrategias más idóneas de las fincas ineficientes (no utilizan apropiadamente la tecnología disponible) se enmarcan en un proceso de *benchmarking* (Camp, 2001), que consiste en imitar (en el contenido y en la ejecución) las mejores prácticas (asociadas con el *know-how*) de las fincas *benchmark* (por ejemplo las relacionadas con los programas de salud y alimentación animal, y capacitación del personal, entre otras). Para mejorar la eficiencia de escala, la finca también debe ubicarse (o acercarse) en el segmento de rendimientos constantes de la frontera de producción.

En el mismo orden de ideas, destaca una importante heterogeneidad en lo que se refiere a cambios de productividad dentro del grupo de fincas estudiado, lo cual también ha sido reportado por Jan (2011), quien precisa que se requiere más investigación para determinar las causas de esa heterogeneidad.

Considerando la media geométrica de la muestra de fincas se puede afirmar que, para este periodo (años 2006 al 2007), hubo una pe-

queña desmejora en la productividad (1,4%), debido a una ligera caída de la eficiencia técnica (0,2%) y a un pequeño decremento tecnológico (1,3%). La desmejora en la eficiencia técnica se debió a que un mejor uso de la tecnología disponible (3,5%) fue apenas superado por la disminución de la eficiencia de escala (3,6%). En general, la mitad de la fincas de la muestra mantuvo o incrementó sus niveles de productividad en este periodo.

En el segundo periodo considerado (años 2007 al 2008), la finca número 21 fue la que experimentó el mayor incremento de la productividad (Tabla 2), al lograr un 36,4%, que se debió totalmente, a la mejora de la eficiencia técnica (37,2%), ya que presentó un ligero regreso tecnológico (0,5%). La mejora de la eficiencia técnica se explica exclusivamente porque esta finca se movió hacia una escala (o tamaño) de producción más apropiado (37,2%), pues el nivel de uso de la tecnología (CETP = 1,00) fue el mismo del año base de comparación (año 2007). El mejoramiento de su escala de producción se puede explicar mediante el comportamiento (diferencias aritméticas) de las tasas de variación anual (periodos 2006-2007 y 2007-2008), de manera que esta finca aumentó, con respecto a las tasas del periodo anterior, los *outputs* producción de leche en

Tabla 2. Descomposición del índice de productividad de Malmquist de 24 unidades lecheras de una región de Cuba (periodo 2007-2008)
Table 2. Decomposition of the Malmquist productivity index of 24 dairy units of a region of Cuba (period 2007-2008)

N°	CE	CT	CETP	CEE	IPM	N°	CE	CT	CETP	CEE	IPM
1	1,000	0,906	1,000	1,000	0,906	13	1,020	1,011	1,062	0,961	1,031
2	0,997	0,970	0,907	1,099	0,968	14	1,229	0,941	0,988	1,243	1,156
3	1,128	1,023	1,000	1,128	1,154	15	0,708	0,917	0,638	1,110	0,649
4	1,309	0,937	1,025	1,277	1,226	16	0,809	1,020	0,837	0,967	0,825
5	0,845	0,949	1,165	0,726	0,802	17	1,142	0,973	1,152	0,991	1,111
6	0,957	0,985	1,002	0,955	0,942	18	1,152	0,999	1,165	0,989	1,151
7	0,985	1,016	0,933	1,055	1,000	19	0,994	1,004	1,025	0,969	0,997
8	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	20	1,144	0,989	0,788	1,452	1,132
9	1,085	0,978	1,079	1,006	1,061	21	1,372	0,995	1,000	1,372	1,364
10	1,082	0,970	1,105	0,979	1,049	22	1,090	0,996	0,981	1,111	1,086
11	0,957	0,993	1,000	0,957	0,949	23	0,746	1,031	0,701	1,065	0,769
12	1,191	0,952	1,184	1,005	1,134	24	1,008	1,000	0,914	1,103	1,008
					Media geométrica		1,027	0,981	0,975	1,053	1,007

CE: Cambio en la eficiencia técnica CT: Cambio tecnológico IPM: Índice de Productividad de Malmquist CETP: Cambio en la eficiencia técnica pura CEE: Cambio en la eficiencia de escala.

CE: Change in technical efficiency CT: Technological change IPM: Malmquist Productivity Index CETP: Change in pure technical efficiency CEE: Change in scale efficiency.

5% y nacimientos de becerros en 15%, y aunque los insumos gastos totales crecieron en 4% (por debajo de las tasas de los productos), las vacas totales se redujeron en un 34% (del 2006 al 2007 aumento en 16% y del 2007 al 2008 se redujeron en 18%). De esta forma la finca mejoró en el periodo 2007-08 su estructura producto-insumo, lo cual le permitió acercarse a la zona media de la frontera de producción donde operan las fincas con el tamaño más apropiado.

Por otra parte, la finca número 15 sufrió la mayor caída (decremento) de la productividad, al reflejar un descenso de 35,1% de la productividad, que se debió más a la desmejora de la eficiencia técnica (29,2%) que al regreso tecnológico de 8,3%. La caída de la eficiencia se debió a que la eficiencia técnica pura disminuyó significativamente en 36,2% (CETP=0,638), no pudiendo compensar la mejora de eficiencia (11,0%) proveniente de la operación a una escala más adecuada. Debido a que se empleó un modelo de optimización orientado a producto, lo más conveniente para esta finca (en general para las que presenten problemas de productividad) es elevar significativamente la producción de leche y los nacimientos de becerros, con los mismos niveles (o valores muy cercanos) de insumos aplicados al final del periodo evaluado. Obviamente también se pueden reducir insumos manteniendo los actuales niveles de producción, pero esta opción no es muy compatible con el principio de seguridad y soberanía agroalimentaria, que rige para el sector agropecuario, y que es particularmente importante en momentos en que se manifiestan significativos déficits en la producción de alimentos. Para el proceso de mejoramiento de su productividad, los dueños de esta finca pueden guiarse por las que tienen una estructura de insumos similar y que son ciento por ciento eficientes (asumiendo preferiblemente la frontera de rendimientos variables a escala), por lo cual se consideran las fincas líderes (pares eficientes) que son detectadas utilizando el método DEA para estimar la eficiencia (Toro *et al*., 2010). Para este caso específico de la finca 5, sus pares eficientes en orden de importancia son las fincas 1, 11, 3 y 21.

En general, el 62,5% de las fincas objeto de estudio incrementó sus niveles de productividad en este periodo.

Considerando los valores promedios de la muestra de fincas, se puede afirmar que, para este periodo, el pequeño aumento en la productividad (0,7%), se debió únicamente a ligeros incrementos de la eficiencia técnica (2,7%), que superó el regreso tecnológico experimentado (1,9%). La eficiencia técnica mejoró debido a que se operó a una escala de producción más adecuada (5,3%), pero el uso inapropiado de la tecnología disponible (el CETP disminuyó en 2,5%) canceló en gran parte la ventaja competitiva obtenida.

Al comparar los cambios en la productividad y sus componentes en las unidades lecheras durante los periodos 2006 al 2007 y 2007 al 2008 (Tabla 3), destaca que la caída de la productividad total de 1,4% ocurrida en el primer periodo no fue totalmente contrarrestada por un ligero aumento en el segundo periodo considerado (0,7%), por lo cual, en promedio, hubo una pequeña caída de la productividad (aprox. 0,4%) en los tres años comparados. Al indagar en las causas de este resultado mediante el examen de sus componentes, se evidencia que hubo mejora (aunque muy pequeña) en el segundo periodo con respecto al primero en cambio de eficiencia técnica, que contribuyó a que el promedio fuese positivo de 1,2%. El regreso tecnológico se acentúo ligeramente en el segundo periodo con respecto al primero, por lo cual el promedio indica un ligero retroceso tecnológico de 1,6%. El cambio favorable en la eficiencia se debió a una ligera mejora en cuanto a la escala de producción (0,8%) y en el uso de la tecnología disponible (0,5%). Estos valores promedios son los que caracterizan la productividad del sistema estudiado.

Tabla 3. Comparación de los cambios en la productividad y sus componentes en 24 unidades lecheras (periodos 2006-2007 y 2007-2008)
Table 3. Comparison of changes in productivity and its components in 24 dairy units (periods 2006-2007 and 2007-2008)

Periodos	CE	CT	CETP	CEE	IPM	IPM (%)
2006-2007	0,998	0,987	1,035	0,964	0,986	-1,40
2007-2008	1,027	0,981	0,975	1,053	1,007	0,70
Media geométrica	1,012	0,984	1,005	1,008	0,996	-0,36
Tasa de crecimiento anual (%)(1)	1,43	-0,30	-2,99	4,42	1,05	

CE: Cambio en la eficiencia técnica CT: Cambio tecnológico IPM: Índice de Productividad de Malmquist CETP: Cambio en la eficiencia técnica pura CEE: Cambio en la eficiencia de escala.

(1) Se empleó la ecuación: $x = x_0 e^{gt} \rightarrow ln\ x = ln\ x + g\ t$

CE: Change in technical efficiency CT: Technological change IPM: Malmquist Productivity Index CETP: Change in pure technical efficiency CEE: Change in scale efficiency.

(1) *Equation used*: $x = x_0 e^{gt} \rightarrow ln\ x = ln\ x + g\ t$

Para corroborar las variaciones señaladas en el párrafo anterior, se realizó un análisis longitudinal (*cross time*) del comportamiento de las tasas anuales del IPM y sus componentes del primer periodo respecto al segundo. Destaca que la productividad se incrementó a una tasa de 1,05%, influida únicamente por la tasa de 1,43% de cambio en la eficiencia, ya que se evidenció una tasa de regreso tecnológico de 0,3%. En el primer componente resalta la caída de la eficiencia técnica pura a una tasa de 2,99%, contrarrestada por una tasa positiva del cambio en la eficiencia de escala (4,42%).

Finalmente, en la Tabla 4 se presenta un resumen de los valores promedios de los cambios en la productividad y sus componentes en 24 unidades lecheras considerando los tres años de estudio, estimados por la media geométrica de los periodo 2006-07 y 2007-08, que representa la media anual de los índices. Desde esta perspectiva, la finca número 14 fue la que experimentó el mayor incremento anual de la productividad total (21,1%), que se debió únicamente a la mejora de su eficiencia técnica en 22,8%, ya que mostró un retroceso tecnológico de 1,4%. Al profundizar en el análisis destaca que la mejora de su eficiencia por un uso más apropiado de la tecnología disponible (22,9%) superó con creces el ligero descenso de su eficiencia de escala (0,1%).

Por otra parte, la finca número 15 sufrió la mayor caída (decremento) de la productividad total (25,4%), que se debió más a la desmejora de la eficiencia (23,8%) que al retroceso tecnológico (2,0%). Aunque mejoró al operar a una escala más apropiada (4,3%), el uso inadecuado de la tecnología disponible es el factor crítico en esta finca, al abatir su eficiencia en 27,0%, alejándola de sus competidoras eficientes. En general, el 50,0% de las fincas mantuvo o incrementó sus niveles de productividad en este periodo; solo en una finca (que representa el 4,2% del total) hubo progreso tecnológico y de un 58,3% que mantuvo o elevó su eficiencia técnica, el 66,7% mantuvo o elevó su ETP y el 54,2% mejoró su tamaño de operación. Por otra parte, ninguna finca logró progresar simultáneamente en productividad y todos sus componentes.

Tabla 4. Descomposición del índice de productividad de Malmquist de 24 unidades lecheras de una región de Cuba (2006-2008)
Table 4. Decomposition of the Malmquist productivity index of 24 dairy units of a region of Cuba (2006-2008)

N°	CE	CT	CETP	CEE	IPM	N°	CE	CT	CETP	CEE	IPM
1	1,000	0,967	1,000	1,000	0,967	13	0,961	0,984	0,993	0,967	0,946
2	0,872	0,959	0,926	0,941	0,836	14	1,228	0,986	1,229	0,999	1,211
3	1,000	0,969	1,000	1,000	0,969	15	0,762	0,980	0,730	1,043	0,746
4	1,197	0,981	1,051	1,139	1,174	16	1,045	1,000	1,070	0,977	1,045
5	0,891	0,995	1,047	0,851	0,886	17	1,142	0,985	1,181	0,967	1,124
6	0,948	0,993	1,000	0,948	0,942	18	0,918	0,985	0,932	0,984	0,904
7	1,068	0,941	1,031	1,036	1,005	19	0,971	0,995	0,984	0,988	0,966
8	1,024	0,999	1,017	1,007	1,023	20	0,985	0,998	0,888	1,110	0,983
9	1,097	0,990	1,049	1,046	1,087	21	1,185	0,994	1,000	1,185	1,178
10	1,184	0,973	1,138	1,040	1,152	22	1,033	0,993	0,957	1,080	1,026
11	0,994	0,995	1,016	0,978	0,988	23	0,793	0,994	0,837	0,948	0,789
12	1,060	0,976	1,057	1,003	1,035	24	1,115	0,988	1,109	1,006	1,102
					Media geométrica		1,012	0,984	1,005	1,008	0,996

CE: Cambio en la eficiencia técnica CT: Cambio tecnológico IPM: Índice de Productividad de Malmquist CETP: Cambio en la eficiencia técnica pura CEE: Cambio en la eficiencia de escala.

CE: Change in technical efficiency CT: Technological change IPM: Malmquist Productivity Index CETP: Change in pure technical efficiency CEE: Change in scale efficiency.

Al comparar los resultados de la presente investigación con los reportados por la literatura especializada de otros países, destaca una importante variabilidad del índice de productividad y sus componentes. Por ejemplo, Graham (2009) mediante el índice de Malmquist (IPM), calculado con el método DEA, estimó el crecimiento promedio de productividad para una muestra de 22 fincas en 12,5% anual. El estudio reportó que una disminución del 5,8% en la eficiencia técnica fue contrarrestada por un incremento de 19,5% en el progreso tecnológico. Estas variaciones son muy grandes en comparación con los resultados obtenidos en la presente investigación y, también, con respecto a la mayoría de los cambios de productividad reportados en fincas lecheras, que tienden a estar entre 0 y 2% (Gray *et al*., 2011; Jan, 2011; Karanja *et al*., 2012). Es probable que estas mediciones estén afectadas por factores climáticos coyunturales, los cuales pueden incidir de manera significativa en las estimaciones de productividad obtenidas de datos de un pequeño número de fincas, estudiadas por un corto periodo de tiempo. Es importante señalar que el IPM también puede ser influenciado por otros factores, tales como los tipos de productos e insumos empleados en sus cálculos, la calidad de la información

colectada (Luik *et al*., 2011), el periodo analizado, así como por el nivel de desarrollo del país donde se realiza el estudio (Jan, 2011), por lo cual, las comparaciones entre grupos de fincas de países o regiones diferentes deben ser tomadas con la debida precaución.

Luik *et al*. (2011) también reportaron cambios del IPM con algunos valores interanuales de crecimiento o decrecimiento rondando un 20,0%, en una muestra de 58 explotaciones lecheras de Estonia analizadas durante el período 2001-2009, mostrando además, que el progreso tecnológico, más que la eficiencia técnica, fue el factor de mayor incidencia en la productividad.

En el mismo orden de ideas, los resultados globales que se obtuvieron en la presente investigación son similares a los reportados por Karanja *et al*. (2012) en el estado de Victoria en Australia, donde el análisis global para un periodo de tres años, en una muestra de 35 fincas, mostró un estancamiento de la productividad total de los factores, debido a que el pequeño aumento del cambio en la eficiencia técnica (1,4%) fue contrarrestado por un regreso tecnológico de la misma proporción. Este atípico o inusual regreso tecnológico es teóricamente factible (Maroto 2007; Coll-Serrano *et al*., 2009) y, en el caso de las fincas de Victoria, fue explicado por factores externos que influyeron negativamente en la tecnología que determina la frontera de producción, tales como los problemas de medición de datos, las variaciones climáticas, la degradación ambiental, los cambios en las restricciones regulatorias y la insuficiente investigación y políticas de desarrollo. Sin embargo, estimaron que la disponibilidad de agua de riego y los factores climáticos (en particular en la Región Norte) fueron probablemente las causas primarias.

Asimismo, en una serie de estudios previos de productividad total de los factores en las explotaciones lecheras también se reportó el problema de la regresión tecnológica. Así, Moreira-López *et al*. (2006) encontraron una significativa regresión tecnológica promedio de 17% anual en 46 explotaciones lecheras en Argentina, al analizar los periodos de 1997-98 a 2001-02. Tauer (1998) observó que 17 de las 70 granjas lecheras de Nueva York experimentaron una regresión tecnológica. Brummer *et al*. (2002) reportaron un 9% de regresión tecnológica para las granjas lecheras polacas, mientras Latruffe y Fogarasi (2009) reportaron una regresión tecnológica anual del 14% en el caso de Hungría. Finalmente, Singh y Singh (2012) reportaron resultados similares al estudiar la productividad agrícola (a nivel agregado) de la India, donde el aumento de la eficiencia técnica fue contrarrestado por un retroceso tecnológico debido, entre otras razones, a la caída de las inversiones públicas en investigación y desarrollo.

Para indagar sobre las posibles causas del retroceso tecnológico en las fincas cubanas objeto de estudio, es menester explicar el comportamiento de los productos e insumos durante el periodo 2006-2008 mostrados en la Figura 1, donde la variable producción de leche por finca, a diferencia de las demás, fue graficada con referencia en la ordenada (eje) de la derecha. Allí se observa que los dos productos (Producción de leche y nacimientos) tendieron a crecer durante el periodo, al igual que gastos totales, pero el insumo vacas totales aumentó en el 2007, para luego decrecer ligeramente. Este aumento de las vacas no se reflejó proporcionalmente en la producción de leche y en los nacimientos de becerros de ese año, lo cual provocó una importante caída de la productividad asociada a este insumo, hecho que se corrobora en la Figura 2, donde se presenta la evolución de la productividad de las fincas en el periodo 2006-2008. La producción de leche por vaca fue graficada con referencia a la ordenada (eje) de la derecha, y se estimó el número de nacimientos de becerros por cada 1.000 uni-

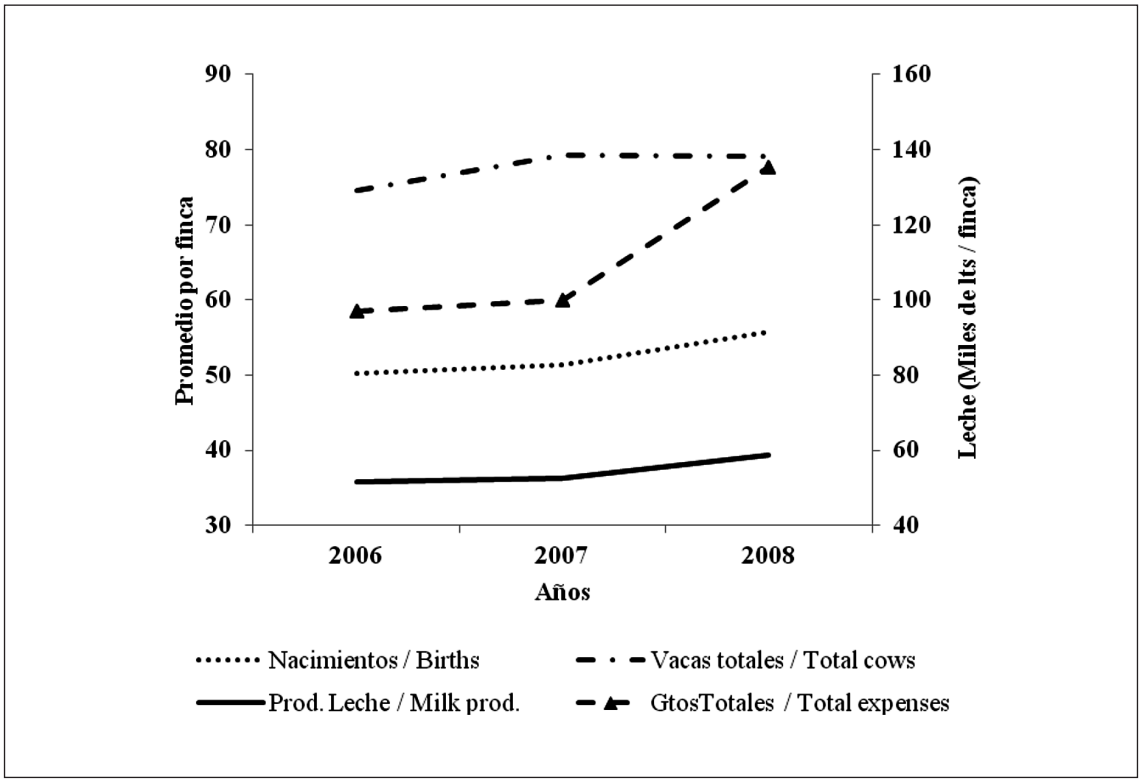


Figura 1. Comportamiento de los productos e insumos de 24 explotaciones lecheras durante el periodo 2006-2008.
Figure 1. Behavior of the outputs and inputs of 24 dairy farms in 2006-2008.

dades monetarias de gastos. Según este gráfico, los nacimientos y los litros de leche por vaca, decrecieron en el año 2007, para incrementarse al año siguiente, lo cual compensó la caída de los rendimientos de estos mismos productos, con referencia a los gastos totales en el 2008. Así pues, el aumento de las vacas totales en el 2007 abatió la relación de conversión producto-insumo, afectando a todas las fincas, incluyendo a las que estaban en la frontera de producción (fincas eficientes), por lo cual la frontera de producción del año 2007 retrocedió con respecto a la del 2006 y explica, en parte, el regreso tecnológico reportado. Otra parte puede ser explicada por el hecho de que la actividad agraria está fuertemente condicionada por variables genéticas, ambientales, administrativas y económicas, entre otras, algunas de los cuales han sido estudiadas en la ganadería cubana (Benítez *et al*., 2002). Los resultados promedios obtenidos pueden ser matizados por el hecho de que los valores del IPM y sus componentes del año 2007 determinaron los resultados promedios del periodo 2006-2008, a pesar de que en el último año estudiado hubo una ligera recuperación, lo que amerita extender la investigación a un periodo mayor, para minimizar los efectos de los factores coyunturales sobre la productividad.

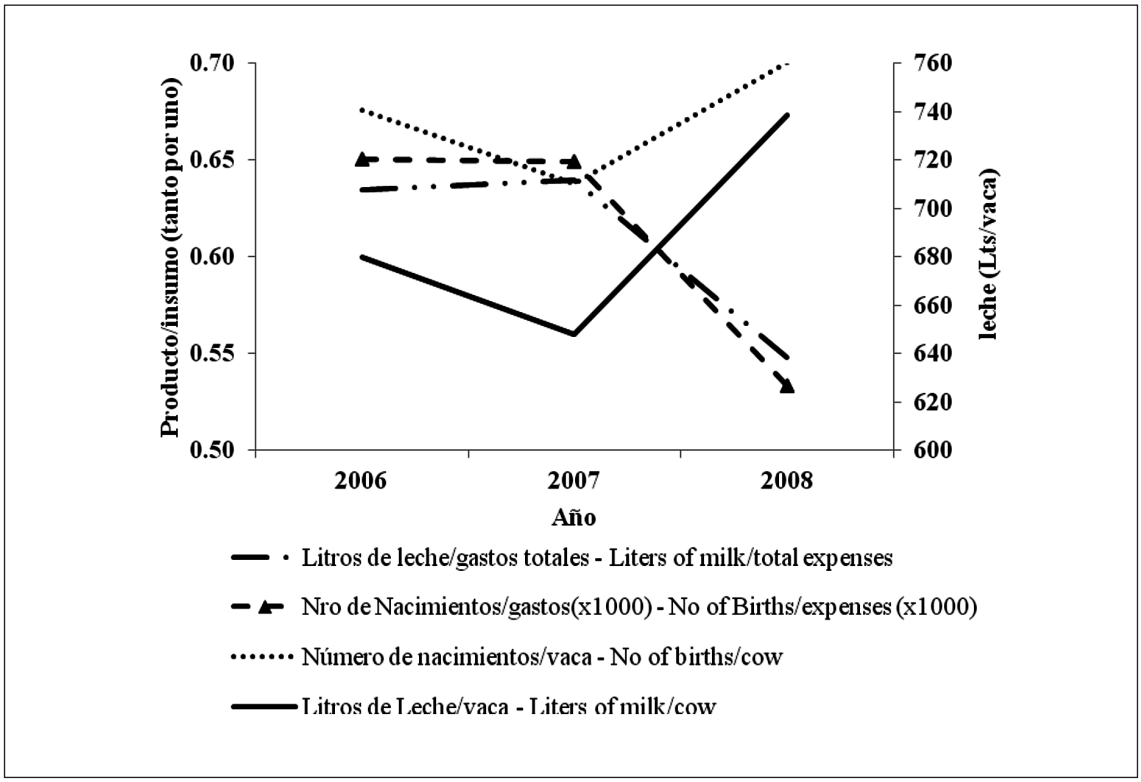


Figura 2. Comportamiento de la productividad de 24 explotaciones lecheras durante el periodo 2006-2008.
Figure 2. Productivity performance of 24 dairy farms in 2006-2008.

Asimismo, valores del IPM que reflejen caídas o incrementos promedios muy pequeños de la productividad son perfectamente viables en la ganadería cubana, ya que diversos obstáculos impiden el desarrollo eficiente de la producción de leche en el trópico (Nicholson, 1998; Osorio, 2001). Ello ha motivado el direccionamiento de un proceso de cambio dirigido a elevar los niveles actuales de producción y a reducir los costos, a partir de la utilización de sistemas basados en el uso de los recursos disponibles para las fincas lecheras en Cuba (Cino *et al*., 2004).

Debido a que los gastos totales de 2007 y 2008 fueron deflactados (expresados a precios corrientes del año 2006), se infiere que la utilización de los insumos que recoge esta cuenta se elevó durante el último periodo de estudio, pero fue apenas compensado por el crecimiento de la producción y, por ello, el IPM del último periodo fue positivo (aunque muy pequeño). También es posible que el deflactor no recoja todo el aumento de costos de los insumos (lo que es común en Latinoamérica) y entonces, la cuenta gastos totales deflactada también podría reflejar algún nivel de inflación en los precios de los insumos. El tipo de índice para deflactar es considerado un punto controvertido (Jan, 2011).

En virtud de los resultados antes mencionados, se puede concluir lo siguiente:

1. Hubo una ligera caída de la productividad de las explotaciones lecheras durante el periodo 2006 al 2008. Al comparar los cambios en la productividad y sus componentes en 24 unidades lecheras ubicadas en el municipio San José de las Lajas (Cuba), durante los periodos 2006 al 2007 y 2007 al 2008 destaca que el descenso en la productividad total del primer periodo (1,4%) no fue totalmente contrarrestado por un ligero aumento del 0,7% en el segundo periodo considerado, por lo cual, en promedio, hubo una pequeña caída de la productividad (0,4%) entre el 2006 y el 2008.

2. La caída de la productividad de las explotaciones lecheras durante el periodo 2006 al 2008 fue ocasionada por un ligero retroceso tecnológico. Al indagar en las causas de este resultado mediante el examen de sus componentes, se evidencia que hubo mejora (aunque muy pequeña) en el segundo periodo con respecto al primero en el cambio de eficiencia técnica, que contribuyó a que el promedio fuese positivo de 1,2%. El regreso tecnológico se acentúo ligeramente en el segundo periodo con respecto al primero, por lo cual, el promedio indica un ligero retroceso tecnológico de 1,6%. El cambio favorable en la eficiencia se debió a una ligera mejora en cuanto a la escala de producción (0,8%) y en el uso de la tecnología disponible (0,5%). Estos valores promedios son los que caracterizan la productividad del sistema estudiado. Es importante destacar que el mencionado regreso tecnológico se debió, en parte, a un aumento en el número de vacas en el año 2007 que no se reflejó proporcionalmente en la producción de leche y en los nacimientos de becerros de ese año, lo cual abatió la relación de conversión producto-insumo, afectando a todas las fincas, incluyendo a las que estaban en la frontera de producción.

3. Se requieren prácticas gerenciales de alto impacto para mejorar la productividad del sistema ganadero estudiado. Para incrementar la productividad ganadera en las fincas evaluadas es necesario desarrollar y ejecutar estrategias para elevar la eficiencia de escala y la eficiencia técnica pura, así como inducir cambios tecnológicos. Para ello se deberían incrementar los niveles de productos (producción de leche por vaca y número de nacimiento de becerros por finca), para lo cual se pueden realizar entre otras, las actividades siguientes: 1) mejorar la tecnología adquiriendo, por ejemplo, nuevo equipamiento e insumos, implementar programas de mejoramiento genético, entre otras inversiones en activos, 2) Invertir en la capacitación del recurso humano a fin de optimizar el uso tanto de la nueva tecnología agraria como de la que ya está disponible, a fin de mejorar la eficiencia técnica, 3) Optimizar los costos de producción y demás insumos, 4) Promover la eficiencia de escala en aquellas fincas que operan a tamaños subóptimos y 5) formular planes de mejoramiento de la producción que incluyan metas. En general, para mejorar las explotaciones pecuarias se pueden seguir las orientaciones de González y Careaba (2004) y Senra *et al*. (2010), entre otros autores.

Bibliografía

Afriat S (1972). Efficiency Estimation of production Functions. International Economic Review 13: 568-598.

Arzubi A, Berbel J (2002). Determinación de índices de eficiencia mediante DEA en explotaciones lecheras de Buenos Aires. Investigación Agraria. Producción y Sanidad Animales 17(1- 2): 104-123.

Banker R, Charnes A, Cooper W (1984). Some models for estimating technical and scale ineffi-

ciencies in data envelopment analysis. Management Science 30(9): 1078-1092.

Benítez D, Ray J, Torres V, Ramírez A, Viamontes M, Tandrón I, Díaz M, Guerra J, Pérez D (2002). Factores determinantes en la eficiencia productiva de los rebaños de fincas ganaderas en sistemas de doble propósito en el Valle del Cauto (Granma), Cuba. Revista Cubana de Ciencia Agrícola 36(3): 217-222.

Brummer B, Glauben T, Thijssen G (2002). Decomposition of productivity growth using distance function: the case of dairy farms in three European countries. American Journal of Agricultural Economics 84:628-644.

Camp R (2001). Benchmarking, La búsqueda de las mejores prácticas de la industria que conducen a un desempeño excelente. Panorama Editorial S.A, México, 30 pp.

Canós L, Canós M, Sala R (2010). Productividad y eficiencia en la Liga Española de Fútbol (2002/03-2009/10), XVIII Jornadas ASEPUMA - VI Encuentro Internacional. Anales de ASEPUMA nº 18: 509, Santiago de Compostela, España, 1-27 pp.

Caves D, Christensen L, Diewert E (1982). The Economic Theory of Index Numbers and the Measurement of Input, Output, and Productivity. Econométrica 50(6): 1393-1414.

Cino D, Martín P, Torres V (2004). Estudio económico preliminar de alternativas de producción de leche bovina. Revista Cubana de Ciencia Agrícola 38(1): 3-11.

Coelli T (1996). A Guide to DEAP Version 2.1: A Data Envelopment Analysis (Computer) Program. CEPA Working Paper No. 8/96. Universidad de Nueva Inglaterra, 50 pp.

Coelli T, Prasada-Rao D, Battesse G (1998). An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis. Kluwer Academic Publishers, Boston.

Coelli T, Rao D, O'Donnell C, Battese G (2005). An introduction to efficiency and productivity analysis. 2da Ed. Springer, New York, USA.

Coll-Serrano V, Blasco-Blasco O, Cuñat-Giménez R (2009). Análisis de la eficiencia y evolución de la productividad de las cooperativas españolas en el periodo 1996-2004. Cayapa 9(18): 32-51.

Färe R, Grosskopf S, Lindgren B, Roos P (1989). Productivity developments in Swedish hospitals: A Malmquist output index approach. En Charnes A, *Cooper WW, Lewin A, Seiford L* (eds.) Data Envelopment Analysis: Theory, methodology and applications, Kluwer Academic Publishers, Boston.

Färe R, Grosskopf S, Norris M, Zhang Z (1994). Productivity Growth, Technical Progress, and Efficiency Change in Industrialized Countries. American Economic Review 84(1): 66-83.

Färe R, Grosskopf S, Roos P (1998). Malmquist productivity indexes: a survey of theory and practice. En Färe R, Grosskopf S, Russell R (Eds.). Index Numbers: Essays in Honour of Sten Malmquist. Kluwer Academic Publishers, Norwell, MA.

Färe R, Grosskopf S, Lindgren B, Roos P (1992). Productivity Change in Swedish Pharmecies 1980-1989: A Nonparametric Malmquist Approach. Journal of Productivity Analysis 3: 85-102.

Färe R, Grosskopf S, Norris M (1994). Productivity growth, technical progress and efficiency change in industrialized countries. American Economic Review 84: 66-83.

Färe R, Grosskopf S, Norris M (1997). Productivity growth, technical progress, and efficiency change in industrialized countries: reply, American Economic Review 87 (5): 1040-1043.

Ferro G, Romero C (2011). Comparación de medidas de cambio de productividad. Las aproximaciones de Malmquist y Luenberger en una aplicación al mercado de seguros. Disponible En: http://hal.archives-ouvertes.fr/docs/00/59/79/46/PDF/Ferro_Romero_-_ AAEP_180511_ documento_de_trabajo.pdf (22 de Marzo 2012)

González A (2009). Tenemos que dar un salto cualitativo. Entrevista a Orlando Lugo Fonte. Trabajadores, 6 pp.

González E, Careaba A (2004). Efficiency improvement through learning. International Journal of Technology Management 27(6-7): 628-638.

Graham M (2009). Developing a Social Perspective to Farm Performance Analysis. Ecological Economics 68: 2390-2398.

Gray E, Sheng Y, Nossal K, Oss-Emer M, Davidson A (2011). Improving productivity - the incentives for change. Australian Commodities 18: 218-234.

Gregg D, Rolfe J (2011). Identifying sources and trends for productivity growth in a sample of Queensland broad-acre beef enterprises. Animal Production Science 51: 443-453.

Grosskopf S (1993). Efficiency and productivity. En: Fried H., Lovell K. y Schmidt S. (Eds.). The measurement of productive efficiency. Techniques and applications. Oxford University Press, 175, 428 pp.

Jan P (2011). Total Factor Productivity Change of the Swiss Dairy Sector for the Mountain Region in the Period 1999 to 2008, 2011 International Congress, Zurich, Suiza, pp. 1-16.

Karanja F, Gilmour D, Fraser I (2012). Dairy productivity growth, efficiency change and technological progress in Victoria. En: 2012 annual conference of the Australian Agricultural and Resource Economics Society. Fremantle, Australia Occidental, pp. 1-24.

Kompas T, Che T. 2004. Productivity in the Australian Dairy Industry. Australasian Agribusiness Review, vol. 12, no. 1-30, pp. 1-28.

Latruffe L, Fogarasi J (2009). Farm performance and support in Central and Western Europe: A comparison of Hungary and France. Working Paper SMART-LERECO N° 09-07, 1-16 pp.

Lerdon J, Muñoz C, Moreira V (2010). Caracterización económico-productiva de medianos y grandes productores de leche del sur de Chile. IDESIA 28(3): 41-49.

Li L, Tsunekawa A, Tsubo M, Koike A, Wang J (2010). Assessing total factor productivity and efficiency change for farms participating in Grain for Green program in China: A case study from Ansai, Loess Plateau. Journal of Food, Agriculture & Environment 8(2): 1185-1192.

Luik H, Omel R, Viira A (2011). Efficiency and productivity change of Estonian dairy farms from 2001-2009. Estonian University of Life Sciences. República de Estonia.

Malmquist S (1953). Index Numbers and Indifference Surfaces. Trabajos de Estadística 4: 209-242.

Maroto A (2007). La productividad en el sector servicios. Un análisis económico aplicado. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales. Departamento de Economía Aplicada. Universidad de Alcalá, España, 110 pp.

Martín M (2000). Eficiencia y progreso técnico en el sistema portuario español, III Encuentro de economía aplicada, Valencia, España.

Mirabal M (2010). Fomento de la base nacional forrajera: premisa fundamental para la recuperación de la ganadería vacuna. Tesis en opción al título de Licenciada en Economía. Facultad de Economía, Universidad de La Habana, Cuba, 78 pp.

Miranda T, Machado H, Suárez J, Sánchez T, Lamela L, Iglesia J, Suset A, Pérez A, Milera M, Martín G, Campo M, López O, Sánchez S, Simón L (2012). La innovación y la transferencia de tecnologías en la Estación Experimental "Indio Hatuey": 50 años propiciando el desarrollo del sector rural cubano (Parte II). Pastos y Forrajes 35(1): 3-16.

Mkhabela T (2011). An Econometric Analysis of the Economic and Environmental Efficiency of Dairy Farms in the KwaZulu-Natal Midlands. Tesis doctoral. Stellenbosch University, Sudáfrica, 11 pp.

Moreira-López V, Bravo-Ureta B, Arzubi A, Schilder E (2006). Multi-output technical efficiency for Argentinean dairy farms using stochastic production and stochastic distance frontiers with unbalanced data. Economía Agraria 10: 97-106.

Nicholson C (1998). Intensificación de sistemas de producción bovina en los trópicos americanos: su impacto social y ambiental. Archivos Latinoamericanos de Producción Animal 6: 1-18.

Nova A (2008). El sector agropecuario en Cuba. Nueva Sociedad 216: 77-89.

O'Donnell C (2009). An aggregate quantity-price framework for measuring and decomposing productivity and profitability change. Centre for Efficiency and Productivity Analysis, Brisbane.

O'Donnell C (2010). Measuring and decomposing agricultural productivity and profitability change. Australian Journal of Agricultural and Resource Economics 54: 527-560.

Oficina Nacional de Estadísticas de Cuba (2012). Índices de precios. Cuentas nacionales. Anuario estadístico de Cuba 2010. Disponible en: http://www.one.cu/aec2010/esp/05_ tabla_ cuadro.htm (12 agosto 2012).

Osorio J (2001). Costos de producción y productividad de lecherías especializadas del trópico alto en Colombia. En: Costos e Insumos. Documentos de Trabajo, Corpoica, 28 pp.

Pastor J (1994). Determinantes de la dinámica de la productividad de los bancos y cajas de ahorro españolas. WP-EC 94-07. Instituto Valenciano de Investigaciones Económicas, Universidad de Valencia, España.

Pastor J (1995). Eficiencia, cambio productivo y cambio técnico en los Bancos y Cajas de Ahorro españolas: Un análisis de la frontera no paramétrico. Universitat de València. WP-EC 95-09. 12 pp.

Ponce P (2009). Un enfoque crítico de la lechería internacional y cubana. Rev Salud Anim 31(2): 77-85.

Quirós C, Picazo A (2001). Liberalización, eficiencia y cambio tecnológico en comunicaciones, Revista de Economía Aplicada 9(25): 77-113.

Ray S, Desli E (1997). Productivity Growth, Technical Progress, and Efficiency Change in Industrialized Countries: Comment. American Economic Review 87(5):1033-1039.

Schuschny A (2007). El método DEA y su aplicación al estudio del sector energético y las emisiones de CO2 en América Latina y el Caribe. CEPAL, Santiago de Chile, 22 pp.

Senra A, Soto S, Guevara R (2010). Guía estratégica sobre la base de reservas en alternativas de la ganadería cubana, para enfrentar la crisis económica global y el cambio climático. Avances en Investigación Agropecuaria 14(3): 3-18.

Simar L, Wilson P (1999). Estimating and bootstrapping Malmquist indices. European Journal of Operations Research 115: 459-471.

Singh P, Singh A (2012). Decomposition of Technical Change and Productivity Growth in Indian Agriculture Using Non-Parametric Malmquist Index. Eurasian Journal of Business and Economics 5(9): 187-202.

Tauer L (1998). Productivity of New York dairy farms measured by non parametric Malmquist indices. Journal of Agricultural Economics 49(2): 234-249.

Tone K (2004). Malmquist Productivity Index: Efficiency Change Over Time. En: Cooper W, Seiford L, Zhu J (Eds.): Handbook on Data Envelopment Analysis. Kluwer Academic Publishers, Norwell, MA.

Toro P, García A, Aguilar C, Acero R, Perea J, Vera R (2010). Determinación de la eficiencia técnica en agroecosistemas. Documentos de trabajo. Dpto de Producción Animal y Gestión, Universidad de Córdoba 2: 1-17.

Zuniga C (2010). Impacto de los Sistemas de Producción Agropecuarios en el Desarrollo Local Sostenible de Nicaragua (1998-2005: Índice de Malmquist DEA con un Output Orientado). Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, 40 pp.

(Aceptado para publicación el 28 de mayo de 2013)

Las Denominaciones de Origen de aceite de oliva virgen en España. Un análisis de su eficiencia técnica

F. Vidal*,1, J. Aparicio**, J.T. Pastor** y D. Pastor**

* Departamento de Economía Agroambiental, I.C. y E.G.I. Universidad Miguel Hernández (UMH). EPSO. Carretera de Beniel, km 3,2 03312 Orihuela (Alicante)

** Centro de Investigación Operativa. Ed. Torretamarit. Avda. de la Universidad s/n. 03202 Elche

Resumen

España es el principal productor y exportador mundial de aceite de oliva, con más de la mitad de la producción de la Unión Europea y entorno al 40% de la mundial. En unos mercados en los que cada vez cobran más importancia los aspectos relacionados con el origen geográfico del producto, las Denominaciones de Origen son una herramienta esencial para aumentar la competitividad de aquellos productos a los que amparan. El trabajo analiza para España la eficiencia técnica de la Denominaciones de Origen Protegidas (DOP) de aceite de oliva virgen en el trienio 2008-2010, empleando la metodología no paramétrica del DEA (Data Envelopment Analysis), en particular los modelos BAM (Bounded Adjusted Measures), los cuales permiten considerar todas las fuentes de ineficiencia técnica posibles. Las DOPs analizadas presentan en dicho período una eficiencia técnica relativamente elevada, con valores en el entorno de 0,8, aunque con una tendencia decreciente en dicho trienio. También se ha constatado una mayor eficiencia en aquellas DOPs más orientadas a los mercados internacionales.

Palabras clave: BAM, DEA, eficiencia de escala, rendimientos.

Abstract
Spanish virgin olive oil Designations of Origin. A technical efficiency analysis

Spain is the world's leading olive oil producer and exporter; representing more than half of the EU's production and around the 40% of the worldwide production. In markets where increasingly become more important the aspects related to the geographical origin of the products, the Protected Designations of Origin (PDO) are an essential tool for improving the competitiveness of those products that protect. This paper analyzes for Spain the technical efficiency of virgin olive oil PDOs in 2008-2010 period, resorting to the non-parametric methodology DEA (Data Envelopment Analysis), in particular the BAM models (Bounded Adjusted Measures), which allow us to consider all the possible sources of technical inefficiencies. The analyzed PDOs show in the period a relatively high technical efficiency, with values around 0.8, although with a continued downward trend in the last three-year period. It has also been found a higher efficiency in those PDO with a greater orientation to international markets.

Key words: BAM, DEA, returns, scale efficiency.

---

1. Autor para correspondencia: fvidal@umh.es

http://dx.doi.org/10.12706/itea.2014.013

Introducción

Según los últimos datos publicados por el Consejo Oleícola Internacional (COI, 2012) la producción mundial de aceite de oliva ronda los tres millones de toneladas (3,09 mill. t). Esta cantidad supone un incremento del 9% respecto a la producción registrada hace una década. España es el primer país productor del mundo con cerca de 1,35 millones de toneladas (43,5% del total mundial), seguido por Italia y Grecia con 0,44 y 0,31 millones de toneladas respectivamente. Señalar que la producción de los países de la cuenca mediterránea supone más del noventa por ciento del total mundial, y en especial, la de los países de la Unión Europea (UE) alcanza las 2,18 millones de toneladas (70,4% de la producción mundial).

En cuanto al consumo mundial, las últimas cifras lo sitúan en el entorno del nivel de producción (3,08 millones de toneladas), con dos líderes destacados: Italia y España, con 0,66 y 0,59 millones de toneladas respectivamente. Les siguen EE.UU. (0,28 mill. t) y Grecia (0,23 mill. t). Señalar que el consumo mundial ha crecido un 15% respecto al de hace una década. De nuevo destacar el peso en el consumo mundial del área mediterránea, con cerca del 70%, suponiendo los países de la UE un peso entorno al 61%.

Analizando las grandes cifras del comercio mundial, las importaciones superan ligeramente a las exportaciones, 0,71 frente a 0,69 millones de toneladas respectivamente, con un protagonismo claro en el lado importador por parte de EE.UU. con 0,27 mill. t (38,4% del total mundial) e Italia (0,10 mill. t), mientras que el principal país exportador es España, con cerca del 40% del total mundial.

Durante los últimos años se ha concedido gran importancia a la potenciación de los aspectos relacionados con el origen geográfico del producto, principalmente a través de las Denominaciones de Origen Protegidas (DOP) y de las Indicaciones Geográficas Protegidas (IGP) dedicadas a la fabricación y comercialización de productos agroalimentarios (Tallarico, 2000; Gracia y Pérez, 2004; Gracia, 2006, Zeballos y Gracia, 2004; Martínez y Jiménez, 2006; Cambra y Villafuerte 2008; Bernabeu *et al*. 2008; García *et al*., 2010; Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino –MARM–, 2011; Rogles, 2012). Ambas figuras se centran en los beneficios que estos indicadores geográficos ofrecen, y en la importancia del compromiso que las autoridades, tanto regionales, nacionales, como europeas, han venido asumiendo en esta materia. En el caso particular del aceite de oliva, una de las características principales señaladas por los consumidores a la hora de su elección es la referente a su origen o procedencia (Espejel *et al*. 2007; Ruiz *et al*. 2007; Testu, 2010; Sisó, 2011).

El Reglamento (CE) 1151/2012 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 21 de noviembre de 2012, *sobre los regímenes de calidad de los productos agrícolas y alimenticios,* establece la definición de Denominación de Origen Protegida (DOP), como: "un nombre que identifica un producto (MAGRAMA, 2013a):

– Originario de un lugar determinado, una región o, excepcionalmente, un país,

– Cuya calidad o características se deben fundamental o exclusivamente a un medio geográfico particular, con los factores naturales y humanos inherentes a él, y

– Cuyas fases de producción tengan lugar en su totalidad en la zona geográfica definida".

Según los últimos datos disponibles (año 2010), España contaba con 87 DOPs de productos agroalimentarios, siendo las más numerosas las relacionadas con el aceite de oliva, 27 en total. A su vez, el sector oleícola es el que cuenta con mayor número de industrias inscritas (envasadoras/comercializadoras y almazaras), un total de 698. El volumen comercializado de aceite de oliva virgen protegido asciende a 22.139 toneladas (Mi-

nisterio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente –MAGRAMA–, 2013b).

Analizando exclusivamente las DOPs de aceite de oliva virgen españolas, señalar su constante crecimiento en la última década, pasando de 11 en el año 2000 a las 27 de 2010. El valor económico de este producto asciende a 76,34 millones de euros, con un claro dominio del mercado nacional (64,72 mill. €) frente al mercado exterior (11,57 mill. €). Estas cifras en el año 2000 eran claramente inferiores (49,14 mill. €). Por último, señalar que el sector del aceite de oliva virgen supone el 8,53% del valor económico total de los productos agroalimentarios amparados por DOPs e IGPs.

Las 27 DOPs españolas concentran una superficie de 703.500 hectáreas, contando con 377 almazaras y 315 envasadoras/comercializadoras. La producción total de aceite de oliva virgen protegido asciende a 99.988 toneladas. Por su parte, la cantidad comercializada es de 22.139 t, de las cuales 18.526 t están en el mercado nacional, 2.156 t en la U.E. y 1.436 t en países terceros. Esta diferencia entre producción y comercialización se debe a diferentes factores, entre los que podrían señalarse, sin ánimo de ser exhaustivos, los siguientes (Rubio, 2010): la competencia de otros aceites de calidad similar (frecuentemente bajo "marcas blancas"), el desconocimiento entre los consumidores del plus de una certificación de este tipo (DOP), el alto poder de negociación y de imposición de marcas de los grupos industriales (los cuales adquieren a granel un alto porcentaje del aceite de oliva virgen producido), la escasa presencia de los principales grupos envasadores en los Consejos Reguladores de las DOP, una imagen genérica de estos productos como de precio elevado, etc.

Aunque la estimación no paramétrica del grado de eficiencia técnica empleando el Análisis Envolvente de Datos (Data Envelopment Analysis, DEA) ha sido ampliamente utilizado en el sector agrario, no son tan numerosas las aplicaciones de esta metodología al sector oleícola. Sin ánimo de ser exhaustivos, podríamos señalar a Damas y Romero (1997), los cuales analizan la eficiencia relativa de las almazaras cooperativas en la provincia de Jaén en el período 1975-1993. Montegut *et al*. (2002) analizan la eficiencia técnica y de escala de las cooperativas productoras de aceite de oliva de la variedad Arbequina con DO Garrigues. Por su parte Dios-Palomares *et al*. (2006 y 2007) analizan la eficiencia de la industria oleícola andaluza; en el primero de los trabajos (2006) desarrollando un nuevo método para la consideración de variables de entorno, en tres etapas, desde la perspectiva de considerar posibles diferencias estructurales entre cooperativas y almazaras industriales; mientras que en el segundo de los trabajos (2007), el enfoque pretende globalizar el proceso productivo del aceite de oliva, considerando conjuntamente tanto la producción, como la calidad y el respeto medioambiental. En el caso de la producción de aceituna, Amores y Contreras (2009) analizan la eficiencia del olivar andaluz según tipologías de explotación. Dios-Palomares y Martínez-Paz (2011) estudian el nivel de eficiencia técnica en la industria oleícola andaluza desde una perspectiva multi-output, incorporando el impacto medioambiental del proceso productivo.

El objetivo de este trabajo es analizar la eficiencia técnica de las DOPs de aceite de oliva virgen españolas en las últimas tres campañas para las que se dispone de información (2008, 2009 y 2010), mediante la metodología basada en el Análisis Envolvente de Datos (DEA), en particular con los modelos BAM (Bounded Adjusted Measures; Cooper *et al*., 2011). Aunque algunos trabajos anteriores, Pastor *et al*. (2012a) y Vidal *et al*. (2012 y 2013), analizan la eficiencia de las DOPs e IGPs vitivinícolas, no se ha encontrado ningún trabajo que aborde el análisis de la eficiencia

técnica del conjunto de DOPs de aceite de oliva en nuestro país. El análisis de este sector y de las DOPs es importante, tanto por su importancia económica como social, al ser España, tal y como se ha puesto de manifiesto anteriormente, un referente mundial en la producción y comercialización de aceite de oliva. Por ello, es importante conocer cómo se comportan uno de los principales actores del sector, en este caso las DOPs. La originalidad del trabajo radica en este hecho; es la primera aplicación de la metodología DEA a las DOPs de aceite de oliva en España, considerándolas como unidades de decisión independientes, lo que permitirá la comparación entre ellas en cuanto a sus indicadores de eficiencia y potencialmente adoptar las medidas y acciones que les ayuden a mejorar su eficiencia. Al contar con datos de tres campañas, también se podrán analizar la evolución temporal de estos índices.

El artículo se estructura como sigue. En el apartado 2 se describen los datos utilizados y la metodología empleada. Los resultados obtenidos aplicando la metodología DEA, en particular los modelos BAM, a las DOPs de aceite de oliva españolas se muestran en el apartado 3. La discusión y conclusiones del trabajo aparecen en el apartado 4.

Materiales y métodos

Datos

Como se ha comentado en el apartado anterior, el trabajo se centra en las DOPs de aceite de oliva virgen españolas. Según los últimos datos, en el año 2010 existían 27 DOPs de este producto en nuestro país. De éstas, se han descartado aquellas que no han aportado al MAGRAMA los datos económico-productivos pertinentes, o lo han hecho de manera incompleta (no están disponibles sus datos para las tres campañas analizadas). Esto nos ha llevado a trabajar con un total de 17 DOPs. Para éstas se han seleccionado los datos referidos a superficie (hectáreas), número de almazaras y de envasadoras/comercializadoras, así como el volumen (kilogramos) comercializado en el mercado nacional e internacional, las cinco variables usadas en el modelo, y única información homogénea y a disposición pública por parte del MAGRAMA. Las primeras tres variables serían los inputs (Tabla 1), mientras que las dos últimas serían los outputs (Tabla 2). Como se ha comentado anteriormente, los datos se han recogido para las campañas 2008, 2009 y 2010.

Metodología empleada

En este trabajo se ha recurrido al DEA para la estimación de la eficiencia de las distintas DOPs y su evolución a lo largo del trienio 2008-2010. El DEA es una metodología no paramétrica basada en la Programación Matemática que permite el análisis de eficiencia de una muestra de unidades homogéneas que consumen el mismo conjunto de insumos para producir el mismo conjunto de productos (Cooper *et al*., 2000). Frente a otras posibilidades, como las fronteras estocásticas, el DEA no requiere de la especificación funcional de una frontera de producción, además de permitir de forma sencilla tratar con un contexto de múltiples productos.

En DEA existen múltiples medidas de eficiencia que implementan de diferente manera cómo se calcula la distancia de la unidad evaluada a la frontera de la tecnología estimada. Los primeros modelos utilizados hacían referencia a medidas "radiales" bajo dos supuestos: rendimientos constantes a escala (en inglés, CRS) (véase Charnes *et al*., 1978), dando lugar al conocido como modelo CCR, y rendimientos variables a escala (en inglés, VRS) (véase Banker *et al*., 1984), dando lugar al modelo BCC. Las medidas radiales permiten la estimación del grado de eficiencia técnica

Tabla 1. Variables utilizadas como Inputs en el modelo (2008, 2009 y 2010)
Table 1. Variables used as Inputs in the model (2008, 2009 and 2010)

DOP	Superficie (ha)			Almazaras			Comercializadoras		
	2010	2009	2008	2010	2009	2008	2010	2009	2008
Aceite de Mallorca	1.647	1.470	1.450	7	7	7	13	11	11
Aceite de Terra Alta	3.900	3.800	4.800	8	11	9	15	17	13
Aceite del Baix Ebre-Montsià	12.111	12.111	12.111	12	12	12	5	5	5
Aceite del Bajo Aragón	16.500	16.000	22.000	32	31	30	36	3	4
Aceite Monterrubio	10.000	10.000	10.000	2	2	2	2	2	2
Baena	60.000	60.000	60.000	20	19	19	22	22	22
Estepa	38.000	38.000	38.000	19	19	19	4	4	2
Gata-Hurdes	30.329	30.329	30.329	5	6	6	4	4	4
Les Garrigues	18.560	18.560	18.560	15	17	17	26	44	44
Montes de Toledo	26.780	26.780	26.800	38	41	44	26	31	33
Montoro-Adamuz	26.562	24.494	9.496	7	5	4	4	4	4
Poniente de Granada	20.752	20.752	24.700	12	13	13	13	14	14
Priego de Córdoba	29.628	29.628	29.628	13	13	13	11	14	15
Sierra de Cazorla	37.500	37.500	39.500	12	12	12	13	13	14
Sierra de Segura	38.000	33.596	38.000	20	19	19	5	9	6
Sierra Mágina	61.000	61.000	61.000	28	28	29	24	24	24
Siurana	11.523	11.343	13.038	36	38	38	40	34	34
Media	*26.047*	*25.610*	*25.848*	*17*	*17*	*17*	*15*	*15*	*15*

Fuente: elaboración propia a partir de MAGRAMA (2013b).

de la unidad que se evalúa mientras se mantiene constante el *mix* de inputs o de outputs, dependiendo de la orientación seleccionada previamente en el análisis. A partir de las medidas radiales, se han introducido en la literatura diversas medidas que corrigen total o parcialmente algunas de las debilidades presentadas por éstas. En concreto, tanto el CCR como el BCC no tienen en cuenta la ineficiencia técnica no radial, es decir, aquella asociada a las holguras que los modelos de optimización pueden generar. Adicionalmente, y al ser sendos modelos de carácter orientado, no permiten estimar a través de un único índice la ineficiencia técnica existente en inputs y en outputs de manera simultánea. Por este motivo, otras medidas, como aquellas basadas en los modelos aditivos ponderados, fueron introducidas en la literatura a finales de la década de los noventa (véase, por ejemplo, Lovell y Pastor, 1995 y Cooper *et al*., 1999). Más recientemente, Cooper *et al*. (2011) y Pastor *et al*. (2012b) han refinado estas medidas consiguiendo un ma-

Tabla 2. Variables utilizadas como Ouputs en el modelo (2008, 2009 y 2010)
Table 2. Variables used as Ouputs in the model (2008, 2009 y 2010)

DOP	Ventas mercado nacional (kg)			Ventas mercado internacional (kg)		
	2010	2009	2008	2010	2009	2008
Aceite de Mallorca	99.990	77.380	86.780	23.280	13.520	12.740
Aceite de Terra Alta	180.000	1.000.000	1.768.000	20.000	300.000	312.000
Aceite del Baix Ebre-Montsià	37.420	85.450	145.000	4.000	1.600	0
Aceite del Bajo Aragón	1.750.000	1.800.000	1.870.000	50.000	100.000	30.000
Aceite Monterrubio	16.820	6.300	9.400	77.220	18.910	0
Baena	2.439.000	2.415.000	2.300.000	1.240.000	1.228.000	1.170.000
Estepa	1.500.000	2.000.000	2.325.000	500.000	500.000	175.000
Gata-Hurdes	6.753	2.820	46.330	0	0	0
Les Garrigues	1.594.340	1.702.000	1.739.000	0	0	0
Montes de Toledo	135.000	325.000	300.000	115.000	175.000	350.000
Montoro-Adamuz	35.700	6.288	5.176	0	0	0
Poniente de Granada	615.400	406.395	318.000	0	0	350.000
Priego de Córdoba	1.350.000	960.000	303.000	750.000	422.000	517.000
Sierra de Cazorla	2.850.000	2.850.000	5.500.000	250.000	150.000	0
Sierra de Segura	556.090	277.584	450.500	46.910	185.056	192.500
Sierra Mágina	1.505.000	1.665.000	1.482.937	190.000	35.000	22.583
Siurana	2.892.900	3.948.000	3.347.000	258.100	0	0
Media	*1.033.201*	*1.148.660*	*1.293.890*	*207.324*	*184.064*	*184.225*

Fuente: elaboración propia a partir de MAGRAMA (2013b).

yor poder discriminante entre unidades ineficientes y asegurando, por otra parte, que la medida se encuentre comprendida siempre en el rango entre cero y uno, incluso asumiendo rendimientos constantes a escala, un hecho poco habitual cuando se trabaja con modelos aditivos en DEA. En concreto, siguiendo a Cooper *et al*. (2011), en este artículo haremos uso del modelo BAM (en inglés, Bounded Adjusted Measure) bajo VRS para estimar el grado de eficiencia técnica de cada DOP en cada año y, por otra parte, siguiendo a Pastor *et al*. (2012b), haremos uso también de la formulación de esta misma medida para el caso de CRS con la única intención de calcular estimaciones de la eficiencia de escala mediante la comparación de los resultados de sendos modelos. El hecho de desear medir toda ineficiencia técnica presente en los datos, ya sea ésta consecuencia de ineficiencias en el uso de los inputs o en la producción de los outputs, creemos que justifica la aplicación en este artículo de un modelo aditivo con pesos como es la medida BAM.

A continuación, introduciremos la notación necesaria para mostrar las formulaciones de la medida BAM bajo los dos tipos de rendimientos a escala considerados. Así, asumimos, de manera genérica, que deseamos estimar el nivel de eficiencia técnica de cada una de las unidades (actividades) de una muestra formada por *n* observaciones homogéneas que consumen *m* insumos para producir *s* productos. La unidad k-ésima la describiremos matemáticamente como (X_k, Y_k) = (x_{1k},..., x_{mk}, y_{1k}, ..., y_{sk}). De esta forma, para evaluar la medida BAM, bajo VRS, asociada a la unidad k-ésima, debemos resolver el siguiente modelo de Programación Lineal.

$$BAM_{VRS}(X_k,Y_k) = \min_{\lambda,s^-,s^+} \quad 1-\frac{1}{m+s}\left(\sum_{i=1}^{m}\frac{s_{ik}^-}{L_{ik}}+\sum_{r=1}^{s}\frac{s_{rk}^+}{U_{rk}}\right)$$

$$s.a.$$

$$\sum_{j\in E_{VRS}}\lambda_{jk}x_{ij} = x_{ik}-s_{ik}^-, \qquad i=1,...,m$$

$$\sum_{j\in E_{VRS}}\lambda_{jk}y_{rj} = y_{rk}-s_{rk}^+, \qquad r=1,...,s$$

$$\sum_{j\in E_{VRS}}\lambda_{jk} = 1,$$

$$\lambda_{jk}\geq 0, \qquad j\in E_{VRS}$$

$$s_{ik}^-\geq 0, \qquad i=1,...,m$$

$$s_{rk}^+\geq 0, \qquad r=1,...,s$$

donde $L_{ik} = x_{ik} - \min\{x_{ij} : j = 1, ..., n\}$, i = 1, ..., *m*, $U_{rk} = \max\{y_{rj}: j = 1, ..., n\} - y_{rk}$, *r* = 1, ..., 2, y E_{VRS} denota al conjunto de índices correspondientes a las unidades en la frontera fuerte de producción, es decir, el conjunto de unidades eficientes asumiendo VRS.

En cuanto a la determinación de la misma medida pero bajo CRS, el modelo de Programación Lineal que debería ser resuelto para la unidad k-ésima de la muestra sería el siguiente.

$$BAM_{CRS}(X_k,Y_k) = \min_{\lambda,s^-,s^+,\tau^-,\tau^+} \quad 1-\frac{1}{m+s}\left(\sum_{i=1}^{m}\frac{s_{ik}^-}{L_{ik}}+\sum_{r=1}^{s}\frac{s_{rk}^+}{U_{rk}}\right)$$

$$s.a.$$

$$\sum_{j\in E_{CRS}}\lambda_{jk}x_{ij}+\tau_{ik}^- = x_{ik}-s_{ik}^-, \qquad i=1,...,m$$

$$\sum_{j\in E_{CRS}}\lambda_{jk}y_{rj}-\tau_{rk}^+ = y_{rk}-s_{rk}^+, \qquad r=1,...,s$$

$$\sum_{j\in E_{CRS}}\lambda_{jk}x_{ij}+\tau_{ik}^-\geq \min\left\{x_{ij}: j=1,...,n\right\}, \quad i=1,...,m,$$

$$\sum_{j\in E_{CRS}}\lambda_{jk}y_{rj}-\tau_{rk}^+\leq \max\left\{y_{rj}: j=1,...,n\right\}, \quad r=1,...,s$$

$$\lambda_{jk}\geq 0, \qquad j\in E_{CRS}$$

$$s_{ik}^-\geq 0, \qquad i=1,...,m$$

$$s_{rk}^+\geq 0, \qquad r=1,...,s$$

$$\tau_{ik}^-\geq 0, \qquad i=1,...,m$$

$$\tau_{rk}^+\geq 0, \qquad r=1,...,s$$

donde E_{CRS} denota al conjunto de índices correspondientes a las unidades en la frontera fuerte de producción, es decir, el conjunto de unidades eficientes bajo CRS.

Ambos modelos comparten la misma función objetivo e intentan proyectar a cada unidad evaluada sobre la frontera de producción reduciendo insumos y aumentando, a su vez, la producción en todas sus dimensiones. Sin embargo, los modelos se diferencian en las restricciones utilizadas en su definición, como consecuencia de la influencia de las cotas en el modelo con retorno a escala constante. En particular, en el modelo bajo CRS se hace necesaria la introducción de unas nuevas variables en el modelo, τ_{ik}^{-}, i = 1, ..., m, y τ_{rk}^{+}, r = 1, ..., s, que, como Pastor *et al*. (2012b) han probado, son del todo indispensables si se desea caracterizar de manera adecuada la tecnología bajo CRS asumiendo ciertas cotas en inputs y outputs. Por otra parte, cabe indicar que la medida BAM posee ciertas propiedades de interés desde un punto de vista matemático-económico (Cooper *et al*., 2011). Entre otras, puede probarse que $0 \leq BAM_{VRS}(X_k, Y_k) \leq 1$ y $0 \leq BAM_{CRS}(X_k, Y_k) \leq 1$, para todo k = 1, ..., n, siendo mayor el grado de eficiencia técnica detectado en una unidad cuanto mayor sea el valor de la medida BAM. En particular, una unidad será Pareto-Koopmans eficiente (véase Cooper *et al*., 2000) si y sólo si la medida BAM toma el valor uno. Cabe señalar aquí que en el caso de que algún $L_{ik} = 0$ ó $U_{rk} = 0$, se debería seguir el procedimiento descrito en Cooper *et al*. (2011) y en el cual se indica que el término correspondiente en el sumatorio de la función objetivo se eliminaría antes de comenzar la resolución del modelo de optimización.

Por otra parte, y dado que en ambos modelos de optimización aparece el conjunto de unidades eficientes, E_{VRS} en el caso de VRS y E_{CRS} en el caso de CRS, cabe indicar que dicho conjunto se determina en una etapa previa de preproceso a través de la resolución del modelo aditivo debido a Charnes *et al*. (1985). De esta forma, el cálculo de las medidas BAM pasaría por un proceso de dos etapas: determinación del conjunto de unidades eficientes y, seguidamente, resolución del modelo BAM correspondiente.

En el caso de VRS, la primera etapa consistiría en la resolución del siguiente modelo de optimización para cada una de las unidades de la muestra.

$$
\begin{aligned}
A_{VRS}(X_k, Y_k) = \; & \underset{\lambda, s^-, s^+}{Max} \quad \sum_{i=1}^{m} s_{ik}^{-} + \sum_{r=1}^{s} s_{rk}^{+} \\
& s.a. \\
& \sum_{j=1}^{n} \lambda_{jk} x_{ij} = x_{ik} - s_{ik}^{-}, \quad i = 1, ..., m \\
& \sum_{j=1}^{n} \lambda_{jk} y_{rj} = y_{rk} - s_{rk}^{+}, \quad r = 1, ..., s \\
& \sum_{j=1}^{n} \lambda_{jk} = 1, \\
& \lambda_{jk} \geq 0, \qquad j = 1, ..., n \\
& s_{ik}^{-} \geq 0, \qquad i = 1, ..., m \\
& s_{rk}^{+} \geq 0, \qquad r = 1, ..., s
\end{aligned}
$$

Así, el conjunto E_{VRS} estaría formado por todas las unidades con $A_{VRS}(X_k, Y_k) = 0$. Una vez determinado dicho conjunto, pasaríamos, en una segunda etapa, a la resolución del modelo BAM bajo VRS. En el caso de CRS, la primera etapa consistiría en la resolución de un modelo muy similar al anterior donde la restricción de convexidad ha sido eliminada:

$$A_{CRS}(X_k, Y_k) = \underset{\lambda, s^-, s^+}{Max} \quad \sum_{i=1}^{m} s_{ik}^- + \sum_{r=1}^{s} s_{rk}^+$$

$$s.a.$$

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_{jk} x_{ij} = x_{ik} - s_{ik}^-, \quad i = 1,...,m$$

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_{jk} y_{rj} = y_{rk} - s_{rk}^+, \quad r = 1,...,s$$

$$\lambda_{jk} \geq 0, \qquad j = 1,...,n$$

$$s_{ik}^- \geq 0, \qquad i = 1,...,m$$

$$s_{rk}^+ \geq 0, \qquad r = 1,...,s$$

En este último caso, el conjunto E_{CRS} sería el formado por las unidades con $A_{CRS}(X_k, Y_k) = 0$. Una vez determinado dicho conjunto, pasaríamos, en una segunda etapa, a la resolución del modelo BAM bajo CRS.

Por último, para la estimación del grado de eficiencia de escala de cada unidad, recurrimos en este artículo por analogía a la fórmula empleada por Banker *et al*. (1984) con tal fin, es decir, compararemos a través de un ratio el valor de la eficiencia técnica asumiendo CRS y VRS: $BAM_{CRS}(X_k, Y_k) / BAM_{VRS}(X_k, Y_k)$. Puede probarse que este ratio es menor o igual a uno, con valor uno denotando la situación en la cual la unidad k-ésima presenta características propias de rendimientos constantes a escala. Por último, para la estimación del tipo de rendimientos a escala bajo los cuales opera cada una de las unidades analizadas, recurriremos a evaluar la suma de las variables de intensidad en la solución óptima determinada para el modelo BAM bajo CRS, es decir, trabajaremos con el valor de $\sum_{j \in E_{CRS}} \lambda_j^*$. Siguiendo a Cooper *et al*. (2000), si $\sum_{j \in E_{CRS}} \lambda_j^* = 1$ entonces podemos considerar que la correspondiente unidad evaluada opera bajo rendimientos constantes a escala, si $\sum_{j \in E_{CRS}} \lambda_j^* > 1$ entonces la unidad opera bajo rendimientos decrecientes a escala y, finalmente, si $\sum_{j \in E_{CRS}} \lambda_j^* < 1$ entonces podremos asumir rendimientos crecientes a escala.

Resultados

Describiremos en esta sección los resultados obtenidos después de aplicar la metodología comentada anteriormente a las DOPs de aceite de oliva virgen españolas**.** En primer lugar señalar que, en la primera etapa de cálculo y asumiendo rendimientos variables a escala, se determinó el conjunto de unidades eficientes, E_{VRS}, para los años 2008, 2009 y 2010, estando éste formado por las DOPs de Baena, Estepa, Sierra de Cazorla, Siurana, Aceite Monterrubio, Aceite de Mallorca y Aceite de Terra Alta en 2008, por Baena, Estepa, Sierra de Cazorla, Siurana, Aceite Mon-

terrubio, Aceite del Bajo Aragón y Aceite de Terra Alta en 2009, y por Baena, Estepa, Sierra de Cazorla, Siurana, Aceite Monterrubio, Priego de Córdoba y Aceite de Mallorca en 2010. Una vez determinado E_{VRS} para cada anualidad, se obtuvieron los valores de la medida BAM bajo VRS. En este sentido, cinco de las DOPs analizadas aparecen como eficientes bajo VRS en el período analizado: Baena, Estepa, Sierra de Cazorla, Siurana y Aceite Monterrubio (Tabla 3). Ciertas DOPs aparecen como eficientes en algunas de las campañas analizadas, como es el caso de: Priego de Córdoba, Aceite de Mallorca, Aceite del Bajo Aragón y Aceite de Terra Alta. Los valores medios de los índices de eficiencia son bastante elevados, en el entorno de 0,80. Sin embargo, este positivo dato, se ve matizado por una tendencia decreciente en el trienio analizado, con una caída cercana al 3,5%.

Por otro lado, junto a la eficiencia técnica, se ha calculado la eficiencia de escala de las diferentes DOPs (Tabla 3). Con ello se pretende comprobar lo cercana que está cada DOP a

Tabla 3. Índices de eficiencia basados en modelos BAM para las DOP de aceite españolas (2008, 2009 y 2010)
Table 3. BAM models efficiency scores for the Spanish olive oil DOP (2008, 2009 and 2010)

DOP	BAM VRS			BAM CRS			Eficiencia de escala		
	2010	2009	2008	2010	2009	2008	2010	2009	2008
Baena	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Estepa	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Sierra de Cazorla	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Siurana	1	1	1	1	1	0,7633	1	1	0,7633
Aceite Monterrubio	1	1	1	1	0,6000	0,4000	1	0,6000	0,4000
Priego de Córdoba	1	0,8224	0,8766	1	0,7483	0,8308	1	0,9099	0,9477
Aceite de Mallorca	1	0,7472	1	0,6083	0,4000	0,6024	0,6083	0,5353	0,6024
Les Garrigues	0,8119	0,7738	0,5433	0,7806	0,7005	0,5433	0,9615	0,9053	1
Aceite del Bajo Aragón	0,7596	1	0,7638	0,7558	1	0,6897	0,9950	1	0,9030
Aceite de Terra Alta	0,7399	1	1	0,4221	1	1	0,5705	1	1
Poniente de Granada	0,6215	0,6837	0,7713	0,5225	0,4760	0,7140	0,8407	0,6962	0,9257
Sierra Mágina	0,5859	0,6434	0,5481	0,5643	0,6085	0,5481	0,9632	0,9457	1
Sierra de Segura	0,5827	0,6189	0,6881	0,5361	0,5179	0,5978	0,9201	0,8368	0,8687
Aceite del Baix Ebre-Montsià	0,5678	0,6049	0,6056	0,4013	0,3967	0,4166	0,7068	0,6559	0,6879
Montoro-Adamuz	0,5622	0,5438	0,7708	0,4000	0,4000	0,4000	0,7115	0,7355	0,519
Gata-Hurdes	0,5451	0,5284	0,6073	0,4000	0,4000	0,4000	0,7338	0,7571	0,6586
Montes de Toledo	0,4959	0,5542	0,5662	0,4747	0,477	0,5617	0,9572	0,8607	0,9921
Media	*0,7807*	*0,7953*	*0,8083*	*0,6980*	*0,6897*	*0,6746*	*0,8805*	*0,8493*	*0,8393*

tener retorno de escala constante. Previamente a dicho cálculo, se determinó el conjunto E_{CRS} para cada anualidad. Así, el conjunto E_{CRS} para el año 2008 se encuentra formado por las DOPs de Baena, Estepa, Sierra de Cazorla y Aceite de Terra Alta, para 2009 por Baena, Estepa, Sierra de Cazorla, Siurana, Aceite del Bajo Aragón y Aceite de Terra Alta, y para 2010 por Baena, Estepa, Sierra de Cazorla, Siurana, Aceite Monterrubio y Priego de Córdoba. Posteriormente, y para cada año del periodo de estudio, se obtuvieron los valores de la medida BAM bajo CRS. En este caso, tres de las DOPs eficientes técnicamente, también lo son de escala para el período analizado: Baena, Estepa y Sierra de Cazorla. Otras DOPs eficientes de escala para algunas campañas concretas, son: Siurana, Aceite de Terra Alta, Aceite Monterrubio, Priego de Córdoba, Les Garrigues, Aceite del Bajo Aragón y Sierra Magina. Al contrario que con la eficiencia técnica, la eficiencia de escala de las diferentes DOPs ha mejorado considerablemente en el trienio, creciendo casi un cinco por ciento. Adicionalmente, sus resultados son ciertamente elevados, llegando en 2010 a un índice medio de 0,88.

Tabla 4. Estimación de los rendimientos a escala para las DOP de aceite de oliva españolas (2008, 2009 y 2010)
Table 4. Returns to scale estimation for the Spanish olive oil DOP (2008, 2009 and 2010)

DOP	BAM CRS		
	2010	2009	2008
Baena	CRS	CRS	CRS
Estepa	CRS	CRS	CRS
Sierra de Cazorla	CRS	CRS	CRS
Siurana	CRS	CRS	DRS
Aceite Monterrubio	CRS	IRS	IRS
Priego de Córdoba	CRS	IRS	IRS
Aceite de Mallorca	IRS	IRS	IRS
Les Garrigues	IRS	IRS	IRS
Aceite del Bajo Aragón	IRS	CRS	DRS
Aceite de Terra Alta	IRS	CRS	CRS
Poniente de Granada	IRS	IRS	IRS
Sierra Mágina	IRS	IRS	IRS
Sierra de Segura	IRS	IRS	IRS
Aceite del Baix Ebre-Montsià	IRS	IRS	IRS
Montoro-Adamuz	IRS	IRS	IRS
Gata-Hurdes	IRS	IRS	IRS
Montes de Toledo	IRS	IRS	DRS

IRS = Rendimientos crecientes a escala; CRS = Rendimientos constantes a escala; DRS = Rendimientos decrecientes a escala.

Discusión

Las DOP de aceite de oliva virgen españolas muestran valores medios de sus índices de eficiencia técnica en el período 2008-2010 bastante elevados, en el entorno de 0,8 bajo VRS y de 0,69 bajo CRS. Sin embargo, la tendencia en ese período muestra un decrecimiento de la eficiencia técnica media bajo VRS de un 3,5% y un crecimiento en igual porcentaje de los valores medios de eficiencia bajo CRS.

Si nos centramos en el análisis de los rendimientos a escala, en 2009 y 2010 todas las DOPs operan bajo CRS o en un entorno de rendimientos decrecientes IRS (Tabla 4). En 2008 ocurre algo similar, salvo para tres DOPs (Aceite del bajo Aragón, Montes de Toledo y Siurana), que operan bajo DRS. Estas tres DOPs son relativamente grandes en el uso de insumos. En concreto, Montes de Toledo supera la media del sector para los tres insumos, Siurana presenta un mayor número de almazaras y comecializadoras, mientras que Bajo Aragón supera a la media en el número de almazaras. Las tres sufren cierta re-

conversión hacia tamaños menores, fundamentalmente Bajo Aragón, el cual reduce la superficie en un 25% en el trienio analizado, aunque aumenta de manera significativa el número de empresas comercializadoras, pasando de 4 a 36. Montes de Toledo reduce su número de almazaras y comercializadoras y Siurana reduce fundamentalmente la superficie protegida (12%). Esta reconversión a un cierto tamaño algo menor, les conduce a operar en los años siguientes (2009 y 2010) bajo CRS ó IRS, abandonando los rendimientos decrecientes.

Las DOPs de aceite de oliva españolas han disminuido sus ventas dirigidas al mercado nacional cerca de un 20% en los tres años analizados. Sin embargo, las ventas exteriores se han incrementado en el mismo período un 12%. La crisis económica interna, parece que ha castigado especialmente a los aceites de oliva virgen y virgen extra con DOP, ya que en ese mismo período, el consumo per cápita de aceite de oliva de los españoles se ha mantenido prácticamente constante (en el entorno de 9,7 l/cápita; Mercasa, 2013), al igual que ha ocurrido con el aceite de girasol (3,54 l/cápita). Señalar también, que pese a que el consumo per cápita de aceite de oliva se ha mantenido prácticamente constante, sin embargo el gasto per cápita ha experimentado un descenso del 15%, lo que nos parece indicar un menor consumo de aquellos aceites con mayores precios a priori (caso de los aceites de oliva virgen con DOP).

Cabría señalar, a tenor de los datos disponibles, que el sector tiende hacía un crecimiento ligero en la superficie bajo DOP, la desaparición de almazaras (-2,4%), pero crecimiento en su lugar, y de forma sustitutiva, de empresas comercializadoras (+4,8%).

También se aprecia una gran diferencia en la eficiencia promedio entre el grupo de DOPs que centraron gran parte de su comercialización al mercado exterior y las que no. En concreto, la evolución en el trienio fue creciente en la eficiencia técnica: 0,82, 0,86 y 0,92 para aquellas DOPs no centradas únicamente en el mercado nacional (es decir, aquellas cuyo porcentaje de ventas a los mercados internacionales es superior a la media del conjunto). Aquellas DOPs más preocupadas por el mercado exterior consiguen ir mejorando su eficiencia técnica, tendencia que es contraria a lo estimado para el sector en global.

La tendencia decreciente de la eficiencia técnica de las DOPs estudiadas podría explicarse de la siguiente forma. Año a año, varias de las DOPs que forman parte del grupo de unidades con cierto peso relativo en el mercado exterior se encuentran en la frontera de producción y se aprecia que, a su vez, éstas DOPs mantienen, más o menos, en general sin grandes cambios, los insumos pero sí aumentan mucho los outputs, en concreto, las ventas en el extranjero. Eso hace desplazar la frontera eficiente hacia arriba, generando a su vez que las unidades que no se dedican al mercado exterior, y que sufren la crisis del consumo interno de forma más acusada, se encuentren paulatinamente cada vez más lejos de dicha frontera. Esto al final implica una evolución negativa de su eficiencia técnica. Probablemente, esto se solucionaría enfocando más sus esfuerzos hacia la comercialización fuera de nuestras fronteras, a lo que podría ayudar la potenciación de la Marca España por parte de los diferentes agentes políticos y económicos.

Por último, también se podría sugerir incrementar en alguna medida los inputs (no excesivamente, ya que la eficiencia de escala es bastante elevada), en especial, el número de almazaras, lo que haría al sector acercarse aún más al tamaño de escala óptimo. No parece necesario articular medidas relacionadas con la superficie protegida de cada DOP, porque la tendencia debe ser a crecer, ya que los agricultores, dada la volatilidad de los precios y los problemas del sector, parecen tender a

quedar bajo el paraguas de la DOP. Tampoco preocupa el número de comercializadoras/envasadoras, las cuales parecen bastante interesadas en este producto de calidad, seguramente atraídas por unos precios atractivos y por un alto potencial del aceite español fuera de nuestras fronteras.

Como líneas futuras de trabajo podríamos señalar, en el caso de que puedan estar disponibles, que sería interesante considerar en el análisis los precios pagados en cada DOP, lo que nos permitiría calcular la eficiencia económica (de la cual la técnica es una componente) y estimar cambios en la productividad, así como su descomposición en cambios tanto de eficiencia como derivados de la tecnología.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación a través del Proyecto MTM2009-10479 y por la Generalitat Valenciana a través del proyecto ACOMP/2012/144.

Bibliografía

Amores A, Contreras I (2009). New approach for the assignment of new European agricultural subsidies using scores from data envelopment analysis: Application to olive-growing farms in Andalusia (Spain). European Journal of Operational Research 193(3): 718-729.

Banker RD, Charnes A, Cooper WW (1984). Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis. Management Science 30: 1078-1092.

Bernabeu R, Martínez-Carrasco L, Brugarolas M, Díaz M (2008). Wine origin and organic elaboration, differentiating strategies in traditional producing countries. British Food Journal 110(2): 174-188.

Cambra J, Villafuerte A (2008). Denominaciones de Origen e Indicaciones Geográficas: justificación de su empleo y valoración de su situación actual en España, en Lamo de Espinosa J. (Ed.). El nuevo sistema agroalimentario en una crisis global. Colección Mediterráneo Económico (Nº 15): 329-352. Fundación Cajamar, Almería.

Charnes A, Cooper WW, Rhodes E (1978). Measuring the Efficiency of Decision Making Units. European Journal of Operational Research 2: 429-444.

Charnes A, Cooper WW, Golany B, Seiford L, Stutz J (1985). Foundations of Data Envelopment Analysis for Pareto-Koopmans Efficient Empirical Production Functions. Journal of Econometrics 30: 91-107.

COI (2012). Consejo Oleícola Internacional. Cifras aceite de oliva. Disponible en http://www.internationaloliveoil.org/estaticos/view/131-world-olive-oil-figures?lang=es_ES (12 enero 2013).

Cooper WW, Park KS, Pastor JT (1999). RAM: A Range Adjusted Measure of Inefficiency for Use with Additive Models, and Relations to Others Models and Measures in DEA. Journal of Productivity Analysis 11: 5-42.

Cooper WW, Seiford LM, Tone K (2000). Data envelopment analysis: a comprehensive text with models, applications, references and DEA-solver software. Kluwer Academic Publishers, Boston.

Cooper WW, Pastor JT, Borras F, Aparicio J, Pastor D (2011). BAM: a bounded adjusted measure of efficiency for usewith bounded additive models. Journal of Productivity Analysis 35: 85-94.

Damas E, Romero C (1997). Análisis no paramétrico de la eficiencia relativa de las almazaras cooperativas en la provincia de Jaén durante el período 1975-1993. Revista Española de Economía Agraria 180: 279-304.

Dios-Palomares R, Martínez-Paz J (2011). Technical, quality and environmental efficiency of the olive oil industry. Food Policy 36(4): 526-534.

Dios-Palomares R, Martínez-Paz J, Martínez-Carrasco F (2006). Variables de entorno en el análisis de eficiencia. Un método de tres etapas con variables categóricas. Estudios de Economía Aplicada 24: 559-581.

Dios-Palomares R, Martínez-Paz J, de Haro-Jiménez T (2007). Eficiencia técnica en la industria oleícola andaluza. Expoliva 2007, Jaén.

Espejel J, Fandos C, Flavián C (2007). La importancia de las Denominaciones de Origen Protegidas como indicadores de calidad para el comportamiento del consumidor. El caso del aceite de oliva del Bajo Aragón. Economía Agraria y Recursos Naturales 7(14): 3-19.

García MM, del Moral A, Galera C (2010). Valoración de la importancia de la denominación de origen desde la perspectiva de la empresa. Revista española de Estudios Agrosociales y Pesqueros 227: 99-123.

Gracia A, Pérez L (2004). Factores determinantes del precio de la carne de ternera: un análisis hedónico. Economía Agraria y Recursos Naturales 4(8): 87-104.

Gracia A (2006). Comportamiento del consumidor en la compra de carne de cordero con IGP-Ternasco de Aragón. Revista Española de Estudios Agrosociales y Pesqueros 206: 137-162.

Lovell CAK, Pastor JT (1995). Units Invariant and Translation Invariant DEA Models. Operations Research Letters 18: 147-151.

MAGRAMA (2013a). Calidad Diferenciada. Denominaciones de Origen Protegidas (DOP) e Indicaciones Geográficas Protegidas (IGP). Información general de interés. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Disponible en http://www.magrama.gob.es/es/alimentacion/temas/calidad-agroalimentaria/calidad-diferenciada/dop/htm/informacion.aspx (10 enero 2013).

MAGRAMA (2013b). Datos de las Denominaciones de Origen Protegidas (D.O.P.) e Indicaciones Geográficas Protegidas (I.G.P.) de Productos Agroalimentarios. Año 2010. Información general de interés. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Disponible en http://www.magrama.gob.es/es/alimentacion/temas/calidadagroalimentaria/calidad-diferenciada/dop/htm/cifrasydatos.aspx (10 enero 2013).

MARM (2011). Calidad diferenciada en los alimentos: DOP e IGP. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Disponible en http://www.magrama.gob.es/es/ministerio/servicios/informacion/AyP_serie_AgInfo_n%25C2%25BA_22_Calidad_Diferenciada_tcm7-187056_tcm7-196038.pdf (10 noviembre 2012).

Martínez MP, Jiménez AI (2006). La potenciación del origen en las estrategias de marketing de productos agroalimentarios. Objetivos, situación e implicaciones. Boletín Económico de ICE 2880: 13-29.

Mercasa (2013). La alimentación en España 2012. Disponible en http://www.munimerca.es/mercasa/alimentacion_2012/index2.html (12 enero 2013).

Montegut Y, Sabaté P, Clop MM (2002). Análisis de eficiencia del asociacionismo cooperativo en la «D.O. Garrigues» Lleida. Investigación Agraria Producción y Protección Vegetales 17 (3): 441- 456.

Pastor J, Vidal F, Borrás F, Pastor D (2012a). The quality wine sector in Spain. An efficiency analysis. International Conference on Business and Information (BAI 2012). Sapporo. Japón.

Pastor JT, Aparicio J, Monge JF, Pastor D (2012b). Modeling CRS bounded additive DEA models and characterizing their Pareto-efficient points. Journal of Productivity Analysis. 40(3): 285-292.

Rogles J (2012). La D.O. "Nísperos de Callosa d'En Sarrià": Estudio económico-empresarial. Trabajo Final de carrera. Escuela Politécnica Superior de Orihuela.

Rubio P (2012). Los aceites de oliva con Denominación de Origen. En Frutos L, Ruiz E (2012). Los productos con indicación geográfica en el sistema agroalimentario español. Tradición y modernidad. 43-71.

Ruiz P, Navarro l, Barea F, Vázquez A (2007). La calidad y las Denominaciones de Origen en los aceites de oliva andaluces. Distribución y Consumo Nov-Dic: 42-50.

Sisó P (2011). Actitud de los consumidores navarros y catalanes ante la DO aceite de oliva "Les Garrigues" y la de "Espárragos de Navarra". Trabajo Final de Carrera. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. Universidad de Lleida.

Tallarico G (2000). La construcción comunicativa de las denominaciones de origen: Una aproxima-

ción al análisis del sector vitivinícola español. Revista Latina de Comunicación Social Vol. 34. Disponible en http://www.ull.es/publicaciones/latina/aa2000kjl/w34oc/47s4talla.htm (20 octubre 2012).

Testu M (2010). Market for origin-labelled olive oils and table olives. International Seminar on Geographical Indications in the olive oil and table olive sector. Villa San Giovanni, Italy.

Vidal F, Pastor JT, Aparicio J, López-Lluch, DB (2012). Los Vinos de la Tierra: Caracterización y eficiencia de los vinos con Indicaciones Geográficas Protegidas en España. XIII Congreso Nacional de Ciencias Hortícolas. Almería.

Vidal F, Pastor JT, Borrás F, Pastor D (2013). Efficiency analysis of the Designations of Origin in the Spanish wine sector. Spanish Journal of Agricultural Research 11(2): 294-304.

Zeballos G, Gracia A (2004). Perfil de los consumidores de carne de ternera con denominación de origen. Estudios de consumo 70: 97-108.

(Aceptado para publicación el 12 de junio de 2013)

PREMIOS DE PRENSA AGRARIA 2014
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 2014. 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 (2014)

La revista ITEA es una publicación internacional revisada por pares que aparece en marzo, junio, septiembre y diciembre. De acuerdo con los fines de la Asociación Interprofesional para el Desarrollo Agrario (AIDA), ITEA publica artículos en español que hagan referencia a la Producción vegetal, Producción animal, Economía agroalimentaria, ya sea en formato de artículo de investigación, de revisión o de nota técnica. El envío de un artículo para que se considere su publicación en ITEA 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 correspondiente, 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 una lista con 4 posibles evaluadores (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 evaluadores.

Los manuscritos que no cumplan las normas para autores de la revista ITEA serán devueltos para su rectificación. El editor correspondiente remitirá el manuscrito a dos revisores que conocerán la identidad de los autores, no así al contrario. En caso de que las evaluaciones de los dos revisores difieran de forma significativa, el manuscrito podrá ser enviado a un tercer evaluador.

Una vez aceptados, 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 sobre la publicación del manuscrito 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 para su publicación. 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. Si los editores no reciben una respuesta por parte de los autores, tras 6 meses se dará por finalizado el proceso de evaluación y el artículo será considerado rechazado para su publicación en ITEA. Una vez recibidas las pruebas de imprenta del manuscrito, los autores deberán devolver dicho manuscrito corregido en el plazo de una semana.

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. Dentro del mismo documento, se utilizarán hojas separadas para las referencias bibliográficas, las tablas y figuras.

Los manuscritos incluirán:

- Título, que deberá ser lo más conciso posible, y no incluirá abreviaturas ni fórmulas químicas (excepción de los símbolos químicos para indicar isótopos). El formato del título será en negrita.
- 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 un autor quiere poner la dirección actual, deberá indicarlo con una segunda letra 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, UK

[2]Animal Science Department, North Carolina State University, Raleigh, NC 27695-7621, USA

[3]Laboratorio de Producción Animal, Facultad de Veterinaria, Universidad de Zaragoza, C. Miguel Servet, 177, 50013, Zaragoza, Spain

[a]Dirección actual: Dairy Science Laboratory, AgResearch, Private Bag 11008, Palmerston North, New Zealand

*autor para correspondencia: jsmith@edi.uk

- Resumen, que deberá tener un máximo de 250 palabras, e incluirá muy brevemente los objetivos del trabajo, el material y métodos, los resultados más relevantes así como la conclusión del manuscrito. 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, título de tablas y pie de figuras.
- Apartados de los artículos de investigación: Introducción, Materiales y métodos, Resultados, Discusión y Referencias bibliográficas (ver especificaciones en el siguiente apartado). 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 finalmente 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.

- **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 podrán presentar en blanco y negro o en color. 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 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. 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). 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 110
Número 2
Junio 2014

itea

información técnica económica agraria

www.aida-itea.org

REVISTA DE LA ASOCIACIÓN INTERPROFESIONAL PARA EL DESARROLLO AGRARIO