

Sumario

Producción Vegetal

- Efectos de la aplicación de la nueva PAC y la Directiva Marco de Aguas en el regadío.
El caso de la comarca de Arévalo-Madrigal (Ávila)
Effects of the application of the new CAP and the Water Framework Directive in irrigated agriculture. The case of Arévalo-Madrigal (Ávila) county
J. Gallego y J.A. Gómez-Limón 335
- Reutilización del sustrato agotado en la producción de hongos comestibles cultivados
Reuse of spent mushrooms substrates in edible mushrooms production
A. Pardo Giménez 360
- EMR 1.0: Herramienta al servicio de la vigilancia agroambiental del regadío
EMR 1.0: Tool at the service of environmental surveillance of irrigated land
Jesús Causapé Valenzuela 369

Producción Animal

- Comparación del crecimiento y la canal de diferentes tipos genéticos de pollos criados en régimen semiextensivo en la provincia de Soria
Poultry genetic type's growth and carcass comparison for semiextensive housing systems in the region of Soria (Spain)
José Angel Miguel, Jesús Ciria, Begoña Asenjo, José Luis Calvo, Alicia Gómara, Amadeu Francesch 381
- Papel del β -caroteno y la vitamina A en la reproducción en el ganado vacuno: revisión
Role of β -carotene and A vitamin in bovine reproduction: a review
L.A. Quintela, C. Díaz, J.J. Becerra, G. Alonso, S. Gracia, P.G. Herradón 399

Efectos de la aplicación de la nueva PAC y la Directiva Marco de Aguas en el regadío. El caso de la comarca de Arévalo-Madrugal (Ávila)

J. Gallego y J.A. Gómez-Limón

Departamento de Economía Agraria. E.T.S. de Ingenierías Agrarias, Universidad de Valladolid. Avenida de Madrid 57, 34071 Palencia (España). E-mail: limon@iaf.uva.es

Resumen

Este trabajo analiza las consecuencias de la aplicación conjunta de la última reforma de la Política Agraria Común y la Directiva Marco de Aguas (implementación de una tarificación del agua) sobre la agricultura de regadío. Para ello se ha considerado como caso de estudio la zona regable de la comarca de Arévalo-Madrugal (Ávila). La metodología empleada para la investigación ha sido la programación matemática positiva, a través de la cual se simula el comportamiento productivo de los regantes ante diferentes escenarios políticos. Como resultado de tales modelos se obtienen distintos indicadores económicos, sociales y ambientales que permiten cuantificar los impactos de las políticas analizadas. Estos resultados ponen de manifiesto la sensibilidad de la actividad agraria de regadío ante cambios en ambas políticas, lo que exige una coordinación entre las mismas al objeto de optimizar su implementación conjunta.

Palabras clave: Agricultura de regadío, Política agraria, Política de aguas, Programación Matemática Positiva.

Summary

Effects of the application of the new CAP and the Water Framework Directive in irrigated agriculture. The case of Arévalo-Madrugal (Ávila) county

This paper analyses the consequences of the joint implementation of the last Common Agriculture Policy reform and the Water Framework Directive (water pricing policy) in the irrigated agriculture sector. For this purpose, the irrigated area in Arévalo-Madrugal County (Ávila, Spain) has been considered as case study. The methodology used for this research has been the positive mathematical programming, employed in order to simulate the farmers' productive behaviour when facing different policy scenarios. Models built have allowed the estimation of different economic, social and environmental indicators that quantify policy impacts. Results show the sensibility of irrigated agriculture regarding both policies, circumstance that suggests that the coordination between these policies is required in order to optimize their joint implementation.

Key words: Irrigated agriculture, Agricultural policy, Water policy, Positive Mathematical Programming.

Introducción

En la actualidad España cuenta con 3,4 millones de hectáreas de regadío, superficie que representa el 14,5% de la superficie agraria útil nacional. A pesar de su limitada extensión, el regadío juega un papel estratégico dentro del complejo agroalimentario nacional, ya que aporta hasta el 50% de la producción final agrícola, dada su mayor capacidad productiva (se estima que una hectárea de regadío genera como media una renta 6 veces superior a una de secano), y es la fuente de materias primas de buena parte de la agroindustria española. Por otra parte, este subsector agrícola también desempeña una importante función en favor del desarrollo rural, como factor de creación de empleo (fijación de la población) y de equilibrio territorial (generación de actividad económica en zonas rurales desfavorecidas) (MAPA, 2001). No obstante, el éxito productivo del regadío, junto con el resto de la agricultura, ha producido igualmente efectos indeseados como son: a) la generación de excedentes en numerosos productos, b) el incremento del gasto presupuestario de la política agraria, y c) la distorsión de los mercados internacionales, con la lógica reprobación de nuestros socios comerciales. Estos inconvenientes han tratado de mitigarse a través de sucesivas reformas de la *Política Agraria Común* (PAC), que han ido alterando de forma sustancial la forma de proteger la agricultura europea (precios y subvenciones recibidos por los agricultores). La última de estas reformas se aprobó en 2003 en el Consejo Europeo de Luxemburgo, si bien no ha entrado en vigor en España hasta el año 2006.

Desde otra perspectiva cabe comentar que el regadío es el mayor consumidor de los recursos hídricos en nuestro país. Así, aportando únicamente el 2% del PIB nacional y empleando al 4% de la población activa, utiliza casi el 70% de los recursos hídricos disponibles, recursos cada vez más escasos. Además, estas actividades agrícolas constituyen la principal fuente de contaminación difusa de las masas de agua, tanto superficiales como subterráneas, como consecuencia de un uso excesivo de fertilizantes y fitosanitarios (MIMAM, 2000). Estos problemas ambientales, comunes al conjunto de países de la Unión Europea (UE), han dado lugar a la aparición de nuevas estrategias políticas a nivel europeo, recogidas en la *Directiva Marco de Aguas* (DMA). Esta norma europea exige implementar nuevos planes hidrológicos conducentes al "buen estado ecológico de las aguas" con anterioridad a 2010. Para ello, los mencionados planes deberán desarrollar un detallado programa de medidas, entre las cuales se incluye obligatoriamente la tarificación del agua. Este instrumento económico, de acuerdo con el artículo 9 de la Directiva, debe aplicarse a todos los sectores económicos de acuerdo con el principio de "quien contamina paga", suponiendo un incentivo adicional para promover el uso eficiente y sostenible de los recursos hídricos¹.

Así pues, resulta evidente que la política agraria y la hidráulica son determinantes básicos para el futuro de la agricultura de regadío, en la medida que determinan tanto los ingresos (precios de los productos agrarios y subvenciones) como los gastos (precios del agua) de esta actividad económica. En este sentido, el objetivo principal de esta

1. En cualquier caso, conviene aclarar que la propia DMA establece "los Estados miembros podrán tener en cuenta los efectos sociales, medioambientales y económicos de la recuperación, así como las condiciones geográficas y climáticas de la región o regiones afectadas". Cabe pues la posibilidad de permitir determinadas excepciones en la aplicación del principio de recuperación de costes, si bien éstas deben justificarse adecuadamente.

investigación es analizar los impactos económicos, sociales y ambientales que generará la aplicación conjunta de ambas políticas sobre el regadío. Con este propósito se ha establecido una metodología basada en la simulación del comportamiento de los regantes a través de técnicas de programación matemática, que permitirá cuantificar los impactos de ambas políticas comparando los valores futuros de diferentes indicadores con la situación vigente hasta 2006 (aplicación de la Agenda 2000 –pagos directos por superficie– y tarifación del agua nula). Este enfoque metodológico se aplica, a manera de experiencia piloto, sobre la zona regable (ZR) de la comarca de Arévalo-Madrigal (Ávila).

Establecido así el objetivo del trabajo, el desarrollo del mismo se realiza a través de 6 apartados. Tras esta sección introductoria, el segundo apartado se encarga de la descripción de la zona de estudio. En la tercera sección se describe en detalle la metodología seguida para la investigación. La formulación y alimentación de los modelos de simulación empleados es el centro de atención del cuarto apartado. Los resultados de dichos modelos se exponen de forma sintética en la quinta sección. Finalmente, el artículo concluye con las oportunas conclusiones.

Caso de estudio

La cuantificación del impacto provocado por la aplicación de la reforma de la PAC y la DMA se realiza a través de un caso de estudio relativo a un sistema agrario real, concretamente la ZR de la comarca de Arévalo-Madrigal. Esta comarca se encuentra situada en la zona sur de la cuenca hidrográfica del Duero, en la provincia de Ávila, donde se localiza un importante recurso hídrico subterráneo que se utiliza como fuente de agua; la unidad Hidrogeológica 02.17, también conocida como el acuífero

de “Los Arenales”. La superficie total ocupada por el regadío en esta ZR asciende a 13.662 ha, representando el 9,6% de la superficie agraria útil de la comarca.

La superficie de riego está dividida en 1.133 explotaciones, lo que supone una media de 12 ha de regadío por explotación. En su mayor parte la titularidad de estas explotaciones es régimen propiedad (76% de la superficie). El plan de cultivo actual (año 2007) en la zona está basado en los cereales (maíz, cebada y trigo) con el 69,3% de la superficie, los cultivos industriales (remolacha y girasol) con el 22,4%, la patata con el 2,4% y los cultivos forrajeros (alfalfa) con el 1,2%. El resto de cultivos, como leguminosas y hortalizas, resulta ser muy minoritario.

Los recursos hídricos destinados a la agricultura de regadío proceden prácticamente en su totalidad de aguas subterráneas, lo que ha producido una intensa explotación del acuífero antes mencionado. De hecho, en la actualidad el acuífero se encuentra sobreexplotado. Esta situación motivó que en el año 1998 se suspendiesen de forma cautelar el otorgamiento de nuevas concesiones de extracción en esta zona. Esta limitación continúa vigente hasta la fecha. La profundidad de bombeo es variable entre los 50 y los 150 metros, si bien la profundidad media es de 120 metros. Tal circunstancia que genera importantes costes de extracción para los regantes. Como media, el coste actual del agua en la ZR caso de estudio ronda los 0,0450 €/m³. Dado el origen subterráneo del agua, el sistema de riego predominante en la zona es el riego por aspersión, siendo utilizado para regar todos los cultivos presentes en la ZR.

Metodología

La metodología general en que se basa la presente investigación se puede sintetizar a través del esquema que aparece en la figura 1.

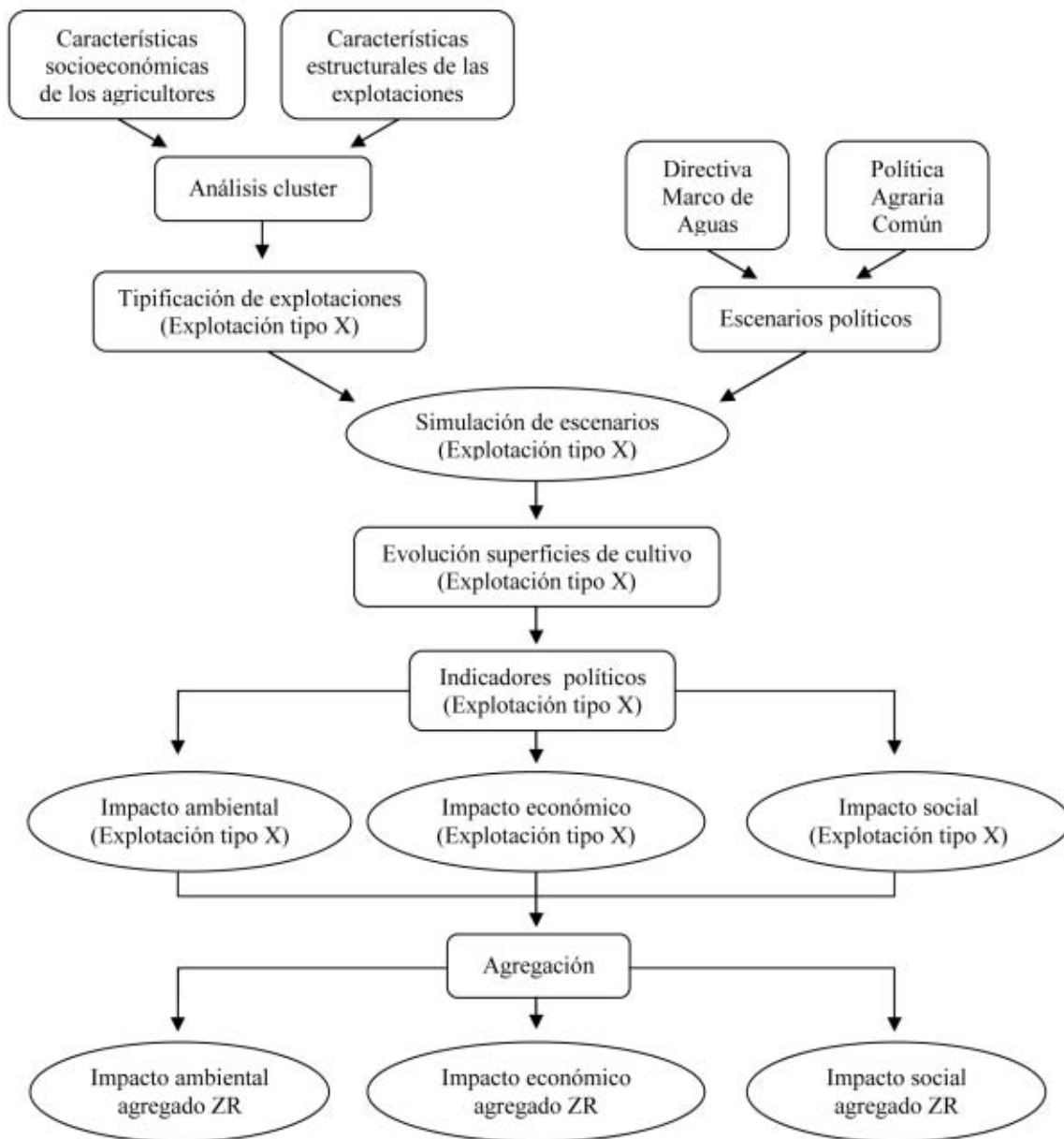


Figura 1. Esquema metodológico.
 Figure 1. Methodological chart-flow.

Siguiendo este esquema, puede comentarse que la metodología a desarrollar se divide en cinco etapas principales, tal y como se expone como a continuación.

La metodología comienza con una *primera etapa* dedicada a la construcción de los escenarios políticos que se pretenden simular, y que como antes se ha comentado, se refieren tanto a la política agraria (reforma de la PAC) como a la política de tarificación del agua (aplicación de la DMA). Dichos escenarios serán comentados con mayor detalle en los subapartados 1 y 2 de esta misma sección.

La *segunda etapa* trata de establecer los grupos de regantes existentes dentro de la zona regable en estudio, al objeto de establecer las explotaciones "tipo" que posteriormente se analizarán por separado. Estos grupos deben estar compuestos por regantes que presenten una relativa homogeneidad en cuanto a la forma de tomar sus decisiones de producción, de manera que la elaboración y resolución de los modelos de programación matemática agregados a nivel de explotaciones tipo no presenten sesgos indeseados (véase subapartado 3 de esta misma sección).

Una vez establecidos los grupos homogéneos a analizar, en una *tercera etapa* se construyen los modelos matemáticos para cada uno de ellos, de forma que éstos permitan la realización de simulaciones independientes sobre la toma de decisiones ante las potenciales tarifas del agua de riego y los distintos escenarios de política agraria (véase subapartado 4 de esta misma sección).

Una vez definidos los diferentes modelos de decisión podrá desarrollarse la *cuarta etapa* de la metodología, consistente en la realización de las correspondientes simulaciones. Así, partiendo de diferentes tarifas de agua y escenarios de la PAC, se obtendrán las decisiones productivas tomadas por los productores en las diferentes explotaciones tipo: los planes de cultivo. Como consecuencia de los planes de

cultivo así obtenidos, van a poder analizarse una serie de indicadores de tipo económico, social y medioambiental que permitan cuantificar las presiones e impactos resultantes de los instrumentos políticos aplicados (véase subapartado 5 de esta misma sección).

Finalmente, una vez obtenidos los resultados para los grupos homogéneos que componen el caso de estudio analizado, se abordará la *quinta etapa* del presente trabajo, consistente en calcular los resultados agregados para el conjunto de la ZR.

Escenarios de la PAC

Se han considerado dos escenarios relacionados con la PAC. El primero se corresponde con el escenario político anterior al actual, derivado de la aplicación de la Agenda 2000 (*PAC-2000*). El segundo escenario propuesto para el estudio es el planteado en la reforma de la PAC introducida por el Consejo Europeo de Luxemburgo (2003), y que ha entrado en vigor en España en 2006 (*PAC-2006*). Las características básicas de estos dos escenarios son las siguientes:

– *Escenario "PAC-2000"*. Se trata de la situación vigente hasta la campaña 2005/2006, donde el apoyo público al sector agrario se instrumentaba a través de unos pagos directos por superficie de 63,00 €/t de rendimiento comarcalizado para los cereales y oleaginosas. En el caso de los cultivos de proteaginosas, el pago se incrementaba hasta 72,50 €/t.

– *Escenario "PAC-2006"*. Este es el escenario político en el que se desenvuelven actualmente los agricultores, el cual se caracteriza por la desvinculación parcial de las ayudas directas recibidas anteriormente. En este escenario los productores de cultivos herbáceos reciben unas ayudas directas acopladas (relacionadas con las superficies de cultivo) equivalentes tan sólo al 25% de las ayudas

anteriores (15,75 €/t para cereales, oleaginosas y proteaginosas). El 75% restante de las anteriores ayudas han pasado a formar parte de un pago único de explotación (PUE), calculado sobre la base de las ayudas históricas recibidas individualmente por cada agricultor. Para más información puede consultarse García Álvarez-Coque (2006). Además, en este nuevo escenario se contempla igualmente lo acordado en la nueva Organización de Mercado Común (OCM) del azúcar, que sustituye el apoyo vía precios por una nueva ayuda desacoplada que se incorpora al PUE.

Al igual que en otros trabajos de investigación en los cuales se analizan los efectos de distintos escenarios políticos, como los de Alonso y Serrano (1998) o Gómez-Limón *et al.* (2002), a la hora de simular dichos escenarios a corto y medio plazo, se asume que los rendimientos de los cultivos se mantienen constantes en el tiempo. Asimismo, se asume que los precios de los productos agrarios permanecen igualmente fijos, en la medida que es previsible que estos apenas se vean afectados por la última reforma de la PAC (CE, 2007)². La única excepción es la remolacha. Para este cultivo se utilizará un precio de 48,10 €/t para el escenario PAC-2000 y de 27,63 €/t (precio mínimo remolacha + ayuda transitoria) para el escenario PAC-2006. Este último se corresponde con el precio que alcanzaría la tonelada de remolacha a partir de la campaña 2009/2010 tras la reciente reforma de la OCM para el sector azucarero.

Escenarios de tarificación del agua de riego

Tal y como se señalaba en la introducción, de acuerdo con lo establecido en la DMA, los estados miembros de la UE tienen la obligación de aplicar un gravamen económico sobre el agua de riego basado en el principio de la recuperación de costes antes de 2010, al objeto de incentivar un uso racional de los recursos hídricos. La mencionada recuperación de costes debe incluir todos los costes asociados a los servicios del agua, que incluyen los costes financieros, los ambientales y los intrínsecos al recurso (CE, 2000 y Massaruto, 2002). En este sentido cabe comentar que la ZR analizada se caracteriza por ser de iniciativa privada, en la medida que la práctica totalidad de recursos utilizados son de origen subterráneo, explotados a través de pozos particulares. Por este motivo, son los propios regantes quienes soportan íntegramente el conjunto de costes financieros (costes de operación y mantenimiento y amortizaciones)³. Caso contrario ocurre con los costes ambientales (por ejemplo, por la reducción de caudales de aguas abajo del acuífero o por la contaminación de las masas de agua) y del recurso (disminución del nivel piezométrico del acuífero que incrementa los costes de extracción de otros usuarios) derivados del uso del agua para riego, por los cuales actualmente estos mismos agricultores no pagan tarifa alguna. Así pues, según lo expuesto en la DMA, la tarificación a implementar en un

2. Sin duda esta hipótesis de este trabajo debe considerarse como una simplificación necesaria para una primera aproximación al problema. En este sentido, para futuras investigaciones se propone realizar un análisis de sensibilidad de los resultados obtenidos ante diferentes escenarios de futuro en cuanto a precios agrarios, a través de los cuales puedan estimarse los impactos de las subidas de los mismos, tal y como prevén diferentes organismos internacionales (ver OCDE-FAO, 2007).

3. Según datos oficiales (MIMAM, 2007), los costes financieros del riego con aguas subterráneas en el Duero ascienden a 0,0946 €/m³. En caso de aguas superficiales, estos costes son muy inferiores (0,0125 €/m³). La media ponderada para esta cuenca resulta de 0,0437 €/m³.

futuro debería corresponderse con estos costes actualmente no internalizados.

En cualquier caso, un estudio pormenorizado de recuperación de costes (estimación de costes ambientales y del recurso) queda fuera del alcance de la presente investigación (para más información MIMAM, 2007). A pesar de ello, la realización de las simulaciones pretendidas exige que se propongan diferentes tarifas tentativas, que pudieran hipotéticamente corresponderse con diferentes niveles de recuperación de costes para la ZR analizada. En esta línea, se establece como hipótesis de trabajo que el conjunto de costes ambientales y del recurso en la zona de estudio debe situarse en un orden de magnitud similar al de los costes financieros medios del uso de agua para riego en la cuenca del Duero, que el Ministerio de Medioambiente estima en 0,0437 €/m³ (MIMAM, 2007). Así pues, puede justificarse la propuesta de las siguientes tres tarifas⁴:

- Tarificación “suave”: 0,02 €/m³.
- Tarificación “media”: 0,04 €/m³.
- Tarificación “dura”: 0,06 €/m³.

Los problemas de la agregación y el análisis cluster

En la modelización de la actividad agraria a nivel sectorial (o a cualquier otro nivel que considere conjuntamente distintas explotaciones) surgen los problemas de los sesgos de agregación. Efectivamente, a la hora de introducir un grupo de explotaciones en un único modelo de programación matemática se tiende a sobrestimar la movilidad de los recursos, permitiendo que las explotaciones combinen recursos en proporciones no dis-

ponibles para ellas de forma individual, tal como indican Hazell y Norton (1986). Estos sesgos de agregación sólo pueden evitarse si las explotaciones agrupadas en el modelo reúnen rígidos criterios de homogeneidad, tal y como señala Day (1963): homogeneidad tecnológica, proporcionalidad pecuniaria y proporcionalidad institucional. La ZR considerada como caso de estudio ronda las 13.000 ha, todas ellas localizadas en la misma comarca agraria y con la misma fuente de agua. Por tanto, puede considerarse que se trata de una zona relativamente homogénea, desde el punto de vista edafoclimático, tecnológico, institucional y de mercado. Dadas tales características, puede asumirse que el caso de estudio considerado cumple de manera plausible las tres premisas de homogeneidad antes enunciadas.

Sobre la base de los requisitos establecidos por Day (1963) se podría pensar que el comportamiento de todos los agricultores de la zona analizada debería ser semejante, y que de esta forma se podría modelizar la zona de estudio a partir de un único modelo de simulación con unos sesgos de agregación relativamente pequeños. Sin embargo, esta supuesta homogeneidad en el comportamiento de los productores raramente se produce en la realidad considerando sólo estas condiciones; piénsese, por ejemplo, en la diversidad de planes de cultivos existentes entre los agricultores de un mismo sistema agrario. Tal circunstancia se explica porque los productores, aún disponiendo de una base de recursos similar, tratan de conseguir objetivos diferentes (Gómez-Limón *et al.*, 2004). Por este motivo, para evitar los sesgos de agregación en la modelización antes mencionados, es necesario igualmen-

4. En este sentido cabe señalar que estas mismas tarifas tentativas han sido ya utilizadas en trabajos anteriores realizados en la cuenca del Duero, como los de Gómez-Limón y Riesgo (2004) y Riesgo y Gómez-Limón (2006).

te agrupar a los regantes en grupos homogéneos en cuanto a las estrategias consideradas a la hora de proponer sus planes de cultivo. Para la obtención de estos grupos homogéneos de agricultores, la técnica más adecuada resulta ser el análisis de grupos o cluster, teniendo como patrón de clasificación el plan de cultivos seguido por los productores en la realidad, tal y como señalan Berbel y Rodríguez (1998).

Para poder desarrollar la pretendida tipificación de productores, en primer lugar se ha realizado una encuesta entre productores, a través de la cual se ha obtenido la información necesaria para la caracterización productiva de los agricultores de la ZR analizada. Empleando dicha información, el análisis cluster se ha implementado utilizando la distancia euclídea al cuadrado para medir las diferencias entre los planes de cultivo de los diferentes agricultores, considerando igualmente como criterio de agregación el método de Ward o mínima varianza.

La técnica de simulación: la Programación Matemática Positiva

La Programación Matemática Positiva (PMP) es una técnica desarrollada por Howitt (1995) que permite calibrar modelos de Programación Lineal (PL) utilizando la información contenida en el valor dual de las variables. La PMP ha sido ampliamente aceptada por los economistas agrarios para analizar escenarios relacionados con las políticas agrarias y de aguas. En este sentido cabe señalar la existencia de numerosos trabajos que han utilizado esta técnica en el territorio nacional con este propósito. Entre estos pueden citarse a Alarcón *et al.* (1997), Calatrava y Garrido (2001), Júdez *et al.* (2001), Arriaza y Gómez-Limón (2003), Blanco *et al.* (2004) y Oñate *et al.* (2007).

La técnica de la PMP asume que la actividad productiva observada en una explotación o

en un grupo de éstas es la consecuencia del comportamiento maximizador del beneficio por parte de los productores. Así, las diferencias observadas entre los distintos productores se asumen que están motivadas por los diferentes costes de producción que deben soportar los productores o por los diferentes rendimientos que estos obtienen. En la presente investigación se ha considerado *a priori* la primera de las causas indicadas como la más explicativa del dispar comportamiento entre productores. Sobre la base de este supuesto, esta técnica de programación matemática trata estimar el valor de los costes de los diferentes cultivos que permiten obtener, a través de un modelo de programación matemática, la misma distribución de cultivos que la observada en la realidad.

A continuación se realiza una exposición de los tres pasos necesarios para la construcción de los modelos de simulación con PMP:

– *Primera etapa.* Consiste en construir un modelo de PL que permita obtener los valores de las variables duales (precios sombra) para cada una de las actividades (cultivos) consideradas. El modelo de PL a construir con este propósito es el siguiente:

$$\text{Max } MBT = \sum (p_i \cdot y_i - c_i + s_i) \cdot x_i + PUE \quad [1]$$

$$\text{Sujeto a } A\bar{X} \leq \bar{B}, \quad \bar{X} \leq \bar{X}_0 \cdot (1 + \varepsilon)$$

donde *MBT* es el margen bruto total, y representa la función objetivo (supuesto de maximización del beneficio). El *MBT* se calcula como la suma de los márgenes brutos aportados por cada cultivo *i*. Por este motivo, dicha función objetivo es, lógicamente, función de las superficies dedicadas a cada cultivo (x_i), que son consideradas como las variables de decisión del modelo. Además, para el cálculo del *MBT* se requiere disponer de información cuantitativa de los siguientes coeficientes técnicos: precios (p_i), rendimientos (y_i), costes variables (c_i), ayudas directas por superficie

de la PAC acopladas a la producción (s_i) de cada uno de los cultivos considerados como alternativa y la cuantía del pago único de explotación (PUE), calculado sobre la base de las ayudas históricas recibidas individualmente por la explotación tipo considerada.

El conjunto de restricciones del modelo anterior se representa a partir de la matriz de coeficientes de necesidades de recursos (A) y el vector de recursos disponibles (\bar{B}). Además, al objeto de la posterior calibración del modelo, se incluye otro bloque de restricciones ($\bar{X} \leq \bar{X}_0 \cdot (1 + \varepsilon)$), en que \bar{X}_0 representa el vector de superficies de los cultivos observadas y ε es un pequeño número positivo que se asigna de forma arbitraria. Lógicamente, la adición de estas restricciones fuerza una solución óptima del modelo de PL que reproduce las actividades observadas en el año base (\bar{X}_0).

– *Segunda etapa.* Una vez obtenidos los valores de las variables duales, estos son utilizados para la calibración de la función de costes de los diferentes cultivos. Dicha función de costes toma la siguiente forma lineal:

$$\delta_i = \alpha_i + 0,5 \cdot \gamma_i \cdot x_i \quad [2]$$

donde α y γ son parámetros desconocidos que deben calcularse. Para poder determinar estos dos parámetros se han de resolver sendas ecuaciones. La primera ecuación a resolver permite obtener el valor del parámetro γ :

$$\gamma_i = \frac{2 \cdot \lambda_i}{x_{i0} \cdot (1 + \varepsilon)} \quad [3]$$

donde λ_i hace referencia al valor del dual de la restricción de calibración correspondiente al cultivo i ($x_i \leq x_{i0} \cdot (1 + \varepsilon)$). La segunda ecuación que se tiene que resolver permite obtener el valor del parámetro α :

$$\alpha_i = c_i - 0,5 \cdot \gamma_i \cdot [x_{i0} \cdot (1 + \varepsilon)] \quad [4]$$

– *Tercera etapa.* Una vez calculados los parámetros de las funciones de costes, estas

son utilizadas para definir la nueva función objetivo del modelo de PMP. En este último paso se transforma el modelo de PL de la primera etapa en un modelo de programación no lineal, que reproducirá la distribución de cultivos en el año base:

$$\begin{aligned} \text{Max MBT} = & \sum [(p_i \cdot y_i + s_i) \cdot x_i + \\ & + \text{PUE} - (\alpha_i + 0,5 \cdot \gamma_i \cdot x_i) \cdot x_i] \end{aligned} \quad [5]$$

Sujeto a $A\bar{X} \leq \bar{B}$

Tal y como se ha descrito, la técnica de PMP empleada para el análisis se ajusta a la descrita inicialmente por Howitt (1995), que cabe denominar como “PMP estándar” (Heckelei, 1997). No obstante, debe indicarse que este enfoque primigenio ha sido criticado por presentar algunas deficiencias (véase Heckelei y Britz, 2005 y Henry de Frahan et al., 2007), lo que ha motivado la necesidad de realizar posteriores desarrollos (Paris y Howitt, 1998; Heckelei y Britz, 2000; Júdez et al., 2001; Paris, 2001; Britz et al., 2003; Heckelei y Wolff, 2003; Röhm y Dabbert, 2003). En cualquier caso, la opción de la versión estándar de la PMP como método de simulación puede justificarse tanto por la consideración de este trabajo como una primera aproximación cuantitativa al problema analizado, como por motivos fundamentalmente pragmáticos: a) disponibilidad de información para alimentar los modelos (otros modelos más sofisticados hubiesen exigido datos de partida difíciles de obtener), y b) capacidad de transferencia de resultados (metodología fácilmente reproducible en otras zonas regables).

Indicadores socioeconómicos y ambientales

Teniendo presente el objetivo principal de este trabajo, es necesario calcular una serie de indicadores que nos permitan cuantificar el efecto que tendrían los diferentes marcos

políticos considerados. Con este propósito se han escogido los indicadores recogidos en la tabla 1. Tanto la elección de los indica-

dores como la forma de cálculo de estos está fundamentada en la metodología elaborada por la OCDE (2001).

Tabla 1. Indicadores seleccionados para el caso de estudio
Table 1. Selected indicators for the case study

Área de análisis	Indicador	Unidad de medida
<i>Impacto económico</i>	Margen bruto total (<i>MBT</i>)	€/ha
	Recaudación pública (<i>REPB</i>)	€/ha
<i>Impacto social</i>	Empleo agrario (<i>EMP</i>)	Jornales/ha
<i>Impacto ambiental</i>	Uso del agua de riego (<i>AGUA</i>)	m ³ /ha
	Balance de nitrógeno (<i>BALN</i>)	kg N/ha

Los indicadores se han calculado partiendo de coeficientes técnicos obtenidos por unidad de superficie (ha) para cada cultivo *i*. El valor finalmente obtenido de los diferentes indicadores para cada escenario resulta por tanto función del plan de cultivo óptimo en cada caso. Por ello los modelos de simulación se han construido de forma tal que, junto a las variables decisión (x_i), proporcionen igualmente el valor alcanzado por los distintos indicadores seleccionados.

A continuación se explica de forma resumida la interpretación de cada uno de estos indicadores:

– *Margen bruto de los agricultores (MBT)*. Es la diferencia entre los ingresos obtenidos como resultado de su actividad productiva (ventas y subvenciones acopladas) y los costes variables totales. El margen bruto así obtenido puede considerarse un estimador adecuado de la rentabilidad privada de la actividad para el agricultor.

– *Recaudación pública (REPB)*. Este indicador permite cuantificar el impacto que generaría la implementación de la tarifa-

ción del agua, recogiendo los ingresos por hectárea que obtendría la administración pública en concepto de las tasas aplicadas al agua de riego.

– *Empleo agrario (EMP)*. La OCDE (2001) propone el empleo agrario como un indicador contextual sobre el rol social de la agricultura, que permite la cuantificación de la contribución del sector al desarrollo rural y al equilibrio territorial (fijación de población, distribución de la renta, etc.).

– *Uso del agua de riego (AGUA)*. La cuantificación de este indicador permite medir la presión ejercida por la actividad de regadío sobre el acuífero del cual extrae los recursos hídricos.

– *Balance de nitrógeno (BALN)*. Este indicador se obtiene por diferencia entre el nitrógeno contenido en los *inputs* empleados en la producción y en los correspondientes *outputs*. Este es un indicador adecuado para poder conocer el impacto ambiental de la agricultura de regadío sobre la calidad de las aguas subterráneas.

Alimentación de los modelos

La información necesaria para la alimentación de los modelos de simulación construidos se ha recopilado de fuentes primarias y secundarias. La información secundaria se ha extraído de los Anuarios Agroalimentarios de Castilla y León (CAG, varios años). En concreto, los datos recogidos de esta fuente han sido: los precios percibidos por los agricultores y los rendimientos de los cultivos. La información primaria se ha elaborado a partir de dos encuestas. La primera de ellas ha estado dirigida a técnicos agrarios expertos de la ZR (agentes de extensión, técnicos de organizaciones agrarias, profesores universitarios e investigadores), al objeto de recabar información sobre itinerarios productivos, precios de materias primas, etc. La segunda de las encuestas ha tenido como destinatarios a los propios regantes de la zona de estudio. En total se han encuestado

a 62 agricultores, extraídos de la población objeto de estudio de forma aleatoria, tratando así que ésta muestra fuese realmente representativa. Esta segunda encuesta ha tratado de recoger información sobre la heterogeneidad de los planes de cultivo de la ZR, así como de las variables estructurales básicas de las explotaciones de regadío (superficie de la explotación, dotación de maquinaria e infraestructura de riego) y las características socio-demográficas de sus titulares.

A partir de los datos recogidos de los cuestionarios de esta segunda encuesta se ha realizado el análisis de grupos, teniendo en consideración como variables de clasificación la proporción de superficie destinada a cada cultivo dentro de la explotación. Como resultado de este análisis cluster se han obtenido 3 grupos de regantes, tal y como se presenta en la tabla 2.

Tabla 2. Características generales de las explotaciones tipo
Table 2. Main features of farm-types

Cod.	Denominación	% / nº agric.	% / sup. total	Tamaño explot. (ha)	Principales cultivos
G1	Grandes cerealistas	31,2	68,4	115	Cereales invierno, maíz y remolacha
G2	Remolacheros-cerealistas	50,0	29,5	31	Cereales invierno y remolacha
G3	Pequeños remolacheros	18,8	2,1	6	Remolacha

Cod. = código; %/nº agric. = porcentaje agricultores de la muestra; %/sup. total = porcentaje de la superficie respecto a la superficie total de los agricultores de la muestra.

Construcción del modelo de programación matemática

Se ha construido un modelo de simulación para cada uno de los grupos homogéneos de agricultores establecidos anteriormente,

al objeto de realizar las simulaciones de forma independiente, y así obtener los valores de las variables de decisión (planes de cultivo) y de los indicadores de manera individualizada para cada uno de los escenarios políticos planteados.

Variables decisión

En todos los modelos las variables de decisión empleadas han sido las superficies destinadas a cada uno de los cultivos habituales en la zona de estudio (x_i). Más concretamente, estos cultivos son: Trigo regadío (x_1), Trigo seco (x_2), Cebada regadío (x_3), Cebada seco (x_4), Maíz (x_5), Girasol regadío (x_6), Girasol seco (x_7), Remolacha (x_8), Patata (x_9), Alfalfa regadío (x_{10}), Alfalfa seco (x_{11}) y Retirada (x_{12}). Conviene comentar al respecto que se han introducido como alternativas los cultivos de secano de la zona, con el propósito de dar una mayor flexibilidad al modelo. De esta forma se considera la posibilidad que, ante los cambios producidos en la PAC y la tarificación del agua de riego, los agricultores tienen la posibilidad de pasar de cultivos de regadío a cultivos de secano.

Función objetivo

Como ya se ha comentado con anterioridad, la función objetivo se ajusta al principio de maximización del beneficio; cuantificando este como el margen bruto total (MBT). La estimación del margen bruto se ha realizado empleando la expresión [1], tal y como puede apreciarse en las tablas 3, 4 y 5, las cuales hacen referencia a los grupo de agricultores G1, G2 y G3, respectivamente.

La ecuación [5] permite simular el comportamiento de los regantes en los diferentes escenarios de la PAC propuestos. No obstante, para simular conjuntamente los escenarios de la DMA (tarificación del agua) se va a emplear la expresión siguiente:

$$\begin{aligned} \text{Max MBT} = & \sum_i [(p_i \cdot y_i + s_i) \cdot x_i + PUE - \\ & - (\alpha_i + 0,5 \cdot \gamma_i \cdot x_i) \cdot x_i - (t \cdot NH_i) \cdot x_i] \end{aligned} \quad [6]$$

donde t es la tarifa del agua de riego y NH_i son las necesidades hídricas del cultivo i .

Restricciones

En la construcción de los modelos para cada uno de los grupos homogéneos de agricultores se han incluido las siguientes restricciones:

– *Utilización de la superficie total.* Se considera que la suma de la superficie de todos los cultivos es igual a 100 hectáreas. Con esta restricción se pretende que el resultado del modelo (superficie dedicada a cada cultivo) se obtenga de forma porcentual. Así, la restricción tomaría la siguiente forma:

$$\sum x_i \leq 100 \quad [7]$$

– *Sucesiones de cultivo.* Está suficientemente probado en la práctica agronómica el hecho de no respetar ciertas alternativas en los cultivos puede conducir a accidentes graves en la producción agrícola. Sin embargo, no debemos de olvidar que estas reglas dependen, no sólo de criterios técnicos, sino también de las costumbres particulares de cada zona. En este sentido el criterio seguido para la modelización de la toma de decisiones de los regantes ha sido contemplar sólo aquellas restricciones que los propios productores han declarado considerar.

– *Frecuencia de cultivos.* Este tipo de restricciones hace referencia al número de años necesario que debe darse de descanso al terreno antes de volver a sembrar de nuevo este mismo cultivo. En nuestro caso esta limitación sólo afecta a la alfalfa. Para expresar matemáticamente esta condición se utiliza la siguiente expresión:

$$x_{10} + x_{11} \leq \frac{m}{m+n} \cdot \text{Sup. util} = 0,55 \cdot 100 \quad [8]$$

donde m representa el número de años que el cultivo ocupa el terreno (5 para la alfalfa), y n es el número de años de descanso que necesita el terreno (4 para la alfalfa).

– *Cupo de remolacha.* En el cultivo de la remolacha también existen restricciones de tipo político, que determinan la máxima

Tabla 3. Variables decisión y coeficientes técnicos de los modelos. Explotación tipo G1
 Table 3. Decision variables and technical coefficients in the models. Farm-type G1

Cultivo	Variable	Rendimiento (kg/ha)	Precio (€/100kg)		Subvenciones acopladas a la producción (€/ha)		Costes variables (€/ha)	Margen bruto de los cultivos (€/ha)*	
			Escenario PAC-2000	Escenario PAC-2006	Escenario PAC-2000	Escenario PAC-2006		Escenario PAC-2000	Escenario PAC-2006
Trigo regadío	x_1	4.050	12,49	12,49	252,00	63,00	491,06	266,79	77,79
Trigo secano	x_2	2.637	12,49	12,49	157,50	39,38	345,64	141,22	23,10
Cebada regadío	x_3	3.843	11,73	11,73	252,00	63,00	472,26	230,52	41,52
Cebada secano	x_4	2.502	11,73	11,73	157,50	39,38	339,02	111,96	-6,16
Maíz	x_5	8.760	14,37	14,37	409,50	102,38	988,85	679,46	372,34
Girasol regadío	x_6	1.434	20,23	20,23	245,70	61,43	328,55	207,25	22,98
Girasol secano	x_7	630	20,23	20,23	157,50	39,38	183,13	101,82	-16,30
Remolacha	x_8	81.312	4,81	2,76	0,00	0,00	2.508,53	1.402,58	-264,32
Patata	x_9	32.884	11,25	11,25	0,00	0,00	3.262,43	437,02	437,02
Alfalfa regadío	x_{10}	13.268	12,79	12,79	0,00	0,00	1.523,71	173,27	173,27
Alfalfa secano	x_{11}	4.536	12,79	12,79	0,00	0,00	376,77	203,38	203,38
Retirada	x_{12}	0	0,00	0,00	245,70	61,43	53,65	192,05	7,78
Pago Único de Explotación								0,00	268,64**

* Este margen bruto de los cultivos se ha calculado como diferencias entre ingresos (ventas y subvenciones acopladas) y costes variables: $MBT_i = p_i \cdot y_i - c_i + s_i$. En todo caso, para el cálculo del margen bruto total de la explotación, debe considerarse el PUE, tal y como se indica en las expresiones [1] o [6].

** Valor por hectárea resultante de dividir el PUE de la explotación tipo G1 (30.893,60 €) por su superficie.

Tabla 4. Variables decisión y coeficientes técnicos de los modelos. Explotación tipo G2
 Table 4. Decision variables and technical coefficients in the models. Farm-type G2

Cultivo	Variable	Rendimiento (kg/ha)	Precio (€/100kg)		Subvenciones acopladas a la producción (€/ha)		Costes variables (€/ha)	Margen bruto de los cultivos (€/ha)*	
			Escenario PAC-2000	Escenario PAC-2006	Escenario PAC-2000	Escenario PAC-2006		Escenario PAC-2000	Escenario PAC-2006
Trigo regadío	x_1	4.050	12,49	12,49	252,00	63,00	493,01	264,84	75,84
Trigo secano	x_2	2.637	12,49	12,49	157,50	39,38	331,30	155,56	37,44
Cebada regadío	x_3	3.843	11,73	11,73	252,00	63,00	464,71	238,07	49,07
Cebada secano	x_4	2.502	11,73	11,73	157,50	39,38	324,68	126,30	8,18
Maíz	x_5	8.760	14,37	14,37	409,50	102,38	1.008,06	660,25	353,13
Girasol regadío	x_6	1.434	20,23	20,23	245,70	61,43	340,10	195,70	11,43
Girasol secano	x_7	630	20,23	20,23	157,50	39,38	186,79	98,16	-19,96
Remolacha	x_8	81.312	4,81	2,76	0,00	0,00	2.604,70	1.306,41	-360,49
Patata	x_9	32.884	11,25	11,25	0,00	0,00	3.266,54	432,91	432,91
Alfalfa regadío	x_{10}	13.268	12,79	12,79	0,00	0,00	1.541,81	155,17	155,17
Alfalfa secano	x_{11}	4.536	12,79	12,79	0,00	0,00	370,81	209,34	209,34
Retirada	x_{12}	0	0,00	0,00	245,70	61,43	59,67	186,03	1,76
Pago Único de Explotación								0,00	328,12**

* Este margen bruto de los cultivos se ha calculado como diferencias entre ingresos (ventas y subvenciones acopladas) y costes variables:
 $MBT_i = p_i \cdot y_i - c_i + s_i$. En todo caso, para el cálculo del margen bruto total de la explotación, debe considerarse el PUE, tal y como se indica
 en las expresiones [1] o [6].

** Valor por hectárea resultante de dividir el PUE de la explotación tipo G2 (10.171,72 €) por su superficie.

Tabla 5: Variables decisión y coeficientes técnicos de los modelos. Explotación tipo G3
 Table 5: Decision variables and technical coefficients in the models. Farm-type G3

Cultivo	Variable	Rendimiento (kg/ha)	Precio (€/100kg)		Subvenciones acopladas a la producción (€/ha)		Costes variables (€/ha)	Margen bruto de los cultivos (€/ha)*	
			Escenario PAC-2000	Escenario PAC-2006	Escenario PAC-2000	Escenario PAC-2006		Escenario PAC-2000	Escenario PAC-2006
Trigo regadío	x_1	4.050	12,49	12,49	252,00	63,00	505,40	252,45	63,45
Trigo secano	x_2	2.637	12,49	12,49	157,50	39,38	319,05	167,81	46,69
Cebada regadío	x_3	3.843	11,73	11,73	252,00	63,00	486,60	216,18	27,18
Cebada secano	x_4	2.502	11,73	11,73	157,50	39,38	312,44	138,54	20,42
Maíz	x_5	8.760	14,37	14,37	409,50	102,38	1.123,08	545,23	238,11
Girasol regadío	x_6	1.434	20,23	20,23	245,70	61,43	387,73	148,07	-36,20
Girasol secano	x_7	630	20,23	20,23	157,50	39,38	198,59	86,36	-31,76
Remolacha	x_8	81.312	4,81	2,76	0,00	0,00	2.703,22	1.207,89	-459,01
Patata	x_9	32.884	11,25	11,25	0,00	0,00	3.362,38	337,07	337,07
Alfalfa regadío	x_{10}	13.268	12,79	12,79	0,00	0,00	1.469,89	227,09	227,09
Alfalfa secano	x_{11}	4.536	12,79	12,79	0,00	0,00	307,69	272,46	272,46
Retirada	x_{12}	0	0,00	0,00	245,70	61,43	54,85	190,85	6,58
Pago Único de Explotación								0,00	902,92**

* Este margen bruto de los cultivos se ha calculado como diferencias entre ingresos (ventas y subvenciones acopladas) y costes variables: $MBT_i = p_i \cdot y_i - c_i + s_i$. En todo caso, para el cálculo del margen bruto total de la explotación, debe considerarse el PUE, tal y como se indica en las expresiones [1] o [6].

** Valor por hectárea resultante de dividir el PUE de la explotación tipo G2 (5.471,50 €) por su superficie.

superficie sembrada de dicho cultivo (cupos de producción). A este respecto se van a considerar distintos cupos de remolacha en función del grupo de agricultores analizado, de acuerdo a la información obtenida de la encuesta:

$$x_8 \leq \text{cupo remolacha} \quad [9]$$

– *Limitaciones de mercado.* Dentro de los modelos se consideran dos cultivos de carácter especulativo, como son la alfalfa y la patata, debido a su condición de productos percederos. Por ello se han incluido como restricciones la limitación de la superficie máxima de ambos cultivos, suponiendo así que el mercado no puede absorber una mayor cantidad de dichos productos. Dicha limitación, para cada grupo de agricultores, se ha establecido considerando la máxima superficie cultivada en las últimas campañas:

$$x_9 \leq \text{valor máximo histórico} \quad \text{y} \\ x_{10} + x_{11} \leq \text{valor máximo histórico} \quad [10]$$

Resultados

La resolución de los modelos anteriormente descritos ha permitido la obtención de resultados tanto para cada una de las tres explotaciones tipo analizadas, como para el conjunto de la ZR. Esta agregación se ha realizado sumando los resultados correspondientes a cada grupo de explotaciones debidamente ponderado por la importancia relativa que estos tienen en cuanto a la superficie agraria útil (ver tabla 6). En todo caso, al objeto de sintetizar la exposición de resultados, este epígrafe se va a centrar en el análisis de los resultados agregados a nivel de ZR, tal y como se expone en la tabla 7. No obstante, en el último subapartado de esta misma sección se presenta igualmente un resumen de los resultados obtenidos para cada uno de los grupos de agricultores considerados de forma independiente.

Uso del agua de riego

Parametrizando el precio del agua en los modelos correspondiente al escenario PAC-2006 se han calculado las correspondientes curvas de demanda de agua de riego para cada explotación tipo. Posteriormente, siguiendo el procedimiento de agregación antes comentado, se ha obtenido la curva de demanda para el conjunto de la zona regable, tal y como puede observarse en la figura 2.

Lo primero que debe destacarse para el conjunto de la ZR es que la última reforma de la PAC, por sí sola, va a tener un importante impacto sobre el uso del agua, en la medida que es de prever se produzca una disminución del consumo de un 31,2% (bajada del indicador *AGUA* de 3.331 a 2.292 m³/ha). Tal circunstancia cabe explicarla principalmente por dos motivos: a) el desacoplamiento de las ayudas, que fomenta una extensificación de la producción y el cese del riego de parte de los cereales de invierno, y b) la reforma de la OCM del azúcar, que ha provocado que la remolacha, uno de los cultivos con mayor demanda hídrica de la zona, deje de ser rentable para buena parte de los agricultores.

Si al efecto de la reforma de la PAC se añade la introducción de la tarificación del agua, el resultado en relación al indicador *AGUA* es el que se aprecia en la anterior figura. Observando la curva agregada de la ZR se aprecia la existencia de dos tramos claramente diferenciados por su pendiente. Así, para tarifas bajas del agua (de 0,00 a 0,03 €/m³), la pendiente de la curva es suave, denotando que la introducción de este instrumento económico resulta igualmente efectivo para reducir el consumo de agua (incrementos pequeños en las tarifas producen grandes ahorros de agua). Efectivamente, los regantes de la zona de estudio son altamente sensibles a la tarificación del agua, instrumento que provocaría una rápida adaptación de sus estrategias productivas, sustituyendo los cultivos de regadío

Tabla 6. Variables de decisión óptimas (planes de cultivo) en los diferentes escenarios analizados
 Table 6. Optima decision variables (crop-mixes) for the different scenarios considered

Esc.* PAC	Esc. tarifa (€/m ³)	Plan de cultivos (porcentajes sobre el total de la explotación)											
		Trigo reg.	Trigo sec.	Cebada reg.	Cebada sec.	Maíz reg.	Girasol reg.	Girasol sec.	Remo- lacha	Patata reg.	Alfalfa reg.	Alfalfa sec.	Reti- rada
Explotación tipo G1													
2000	t = 0,00	6,7	0,0	61,1	0,0	9,3	7,1	0,0	12,7	1,8	0,0	1,3	0,0
	t = 0,00	4,4	20,7	48,4	0,0	7,0	5,8	0,0	5,0	1,8	0,0	1,3	5,6
	t = 0,02	2,8	39,8	13,5	0,0	5,8	0,0	0,0	4,2	1,8	0,0	1,3	30,8
	t = 0,04	1,2	48,1	0,0	0,0	4,7	0,0	0,0	3,4	1,6	0,0	1,3	39,7
	t = 0,06	0,0	49,3	0,0	0,0	3,5	0,0	0,0	2,7	1,2	0,0	1,3	42,0
Explotación tipo G2													
2000	t = 0,00	9,7	0,0	56,0	0,0	2,3	5,7	0,0	21,4	4,0	0,0	0,9	0,0
	t = 0,00	6,3	22,3	42,0	0,0	1,2	4,8	0,0	7,2	4,0	0,0	0,9	11,3
	t = 0,02	3,8	36,7	18,2	0,0	1,0	0,0	0,0	5,9	4,0	0,0	0,9	29,5
	t = 0,04	1,3	48,3	0,0	0,0	0,8	0,0	0,0	4,5	3,5	0,0	0,9	40,7
	t = 0,06	0,0	49,6	0,0	0,0	0,6	0,0	0,0	3,1	2,6	0,0	0,9	43,2
Explotación tipo G3													
2000	t = 0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	6,9	0,0	0,0	93,1	0,0	0,0	0,0	0,0
	t = 0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	t = 0,02	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	t = 0,04	0,0	50,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	50,0
	t = 0,06	0,0	50,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	50,0
Total Zona Regable													
2000	t = 0,00	7,5	0,0	58,3	0,0	7,2	6,5	0,0	17,0	2,4	0,0	1,1	0,0
	t = 0,00	4,9	20,8	45,5	0,0	7,3	5,4	0,0	5,5	2,4	0,0	1,1	7,2
	t = 0,02	3,1	38,0	14,6	0,0	6,4	0,0	0,0	4,6	2,4	0,0	1,1	29,8
	t = 0,04	1,2	48,2	0,0	0,0	3,4	0,0	0,0	3,7	2,1	0,0	1,1	40,2
	t = 0,06	0,0	49,4	0,0	0,0	2,6	0,0	0,0	2,8	1,6	0,0	1,1	42,5

* Los resultados del escenario PAC-2000 sin tarificación del agua de riego se corresponde con el plan de cultivos observado en la realidad.

Tabla 7. Evolución de los indicadores socioeconómicos y ambientales para la zona regable
 Table 7. Changes in the socio-economic and environmental indicators for the irrigated area

Indicadores	PAC-2006			
	Sin tarifa (0,00 €/m ³)	Tarifa suave (0,02 €/m ³)	Tarifa media (0,04 €/m ³)	Tarifa dura (0,06 €/m ³)
AGUA				
Escenario base = 3.331 m ³ /ha	-31,2%	-61,6%	-79,5%	-85,3%
MBT				
Escenario base = 450 €/ha	-11,4%	-19,3%	-23,3%	-25,9%
REPB				
Escenario base = 0,00 €/ha	0,00 €/ha	26,53 €/ha	26,50 €/ha	28,38 €/ha
EMP				
Escenario base = 1,90 Jorn./ha	-17,5%	-40,4%	-52,3%	-55,4%
BALN				
Escenario base = 27,4 kg N/ha	-32,3%	-46,4%	-57,7%	-63,0%

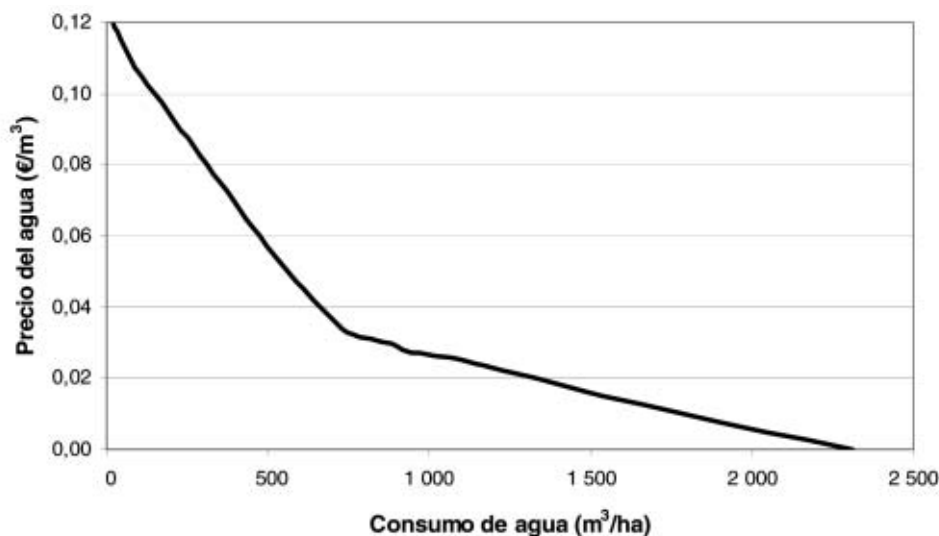


Figura 2. Curva de demanda de agua para el escenario PAC-2006.
 Figure 2. Water demand curve for PAC-2006 scenario.

con menor valor del producto marginal del agua (cereales de invierno y girasol) en favor de los cultivos de secano más habituales en la zona (fundamentalmente cereales de invierno). Dentro de este tramo está comprendida la tarifa "suave" (0,02 €/m³), que produciría una disminución del 61,6% del indicador *AGUA* respecto al escenario base.

Tras este tramo inicial de elevada elasticidad, para tarifas superiores a 0,03 €/m³, se evidencia una curva con una mayor pendiente, que reflejaría una conducta por parte de los agricultores más reticente a la introducción de nuevos cambios en sus planes de cultivos. Así, la sustitución de los cultivos de regadío con mayor valor añadido (patata, maíz o alfalfa)

por otros de secano se realiza más lentamente, hasta llegar a una tarifa de 0,12 €/m³, a partir de la cual dejaría de regarse. Dentro de este tramo, se localizarían las tarifas "media" (0,04 €/m³) y "dura" (0,06 €/m³), que producirían ahorros adicionales de agua respecto al *status quo* del 79,5% y 85,3%, respectivamente.

De los resultados obtenidos en los modelos, podemos concluir que tanto la última reforma de la PAC como la implementación de la DMA tendrán un efecto positivo sobre el uso del agua de riego, produciendo importantes ahorros de agua de riego, evitando asimismo la sobre-explotación del acuífero del que se nutre la ZR.

Impacto económico

La puesta en funcionamiento tanto de la nueva PAC como de la entrada en funcionamiento de la tarificación del agua (aplicación de la DMA) provocará un efecto negativo sobre la rentabilidad privada del agricultor. Así, según se puede observar en la tabla 7, la aplicación de la nueva PAC (PAC-2006), por sí sola, provocará que el indicador *MBT* disminuya un 11,4% respecto al escenario base (PAC-2000). La puesta en marcha de la tarificación del agua de riego va agravar este efecto negativo sobre la rentabilidad del regadío de la zona. Así, cabe señalar cómo las tarifas analizadas provocarán disminuciones adicionales en el indicador del *MBT*, que van desde el 19,3% para la tarifa "suave" hasta el 25,9% para la tarifa "dura". Esta disminución en la rentabilidad estaría producida tanto por los pagos de los regantes a la administración en concepto de tasas (transferencia de rentas del sector privado al público), como por los cambios de los planes de cultivos antes comentados (menores ingresos procedentes del mercado por la sustitución de los cultivos de regadío por otros de secano, de menor valor añadido).

Estos resultados ponen de manifiesto la incidencia negativa de la tarificación sobre la sos-

tenibilidad financiera de la agricultura de regadío en la zona, pudiendo acarrear un peligro cierto de abandono de la actividad por parte de las explotaciones menos competitivas. En cualquier caso conviene apuntar igualmente que el impacto negativo que podría generar este instrumento económico es considerablemente menor que el que produciría en el caso de mantenerse las ayudas directas por superficie como en el escenario PAC-2000. Esto se debe a que la sustitución parcial de tales pagos directos por el nuevo pago único (escenario PAC-2006) provoca una menor sensibilidad de los ingresos de los regantes ante cambios en los planes de cultivos experimentados como respuesta a la introducción de la tarificación.

Finalmente, respecto al impacto económico, hay que analizar igualmente la incidencia de la tarificación del agua sobre la recaudación pública (indicador *REPB*). Tal y como se puede observar en la tabla 7, las cantidades cobradas por la administración responsable resultan ser relativamente homogéneas para las 3 tarifas consideradas, oscilando entre 26,50 y 28,38 €/ha. Efectivamente, como nos enseña la Teoría económica, la curva de ingresos públicos en estas circunstancias tiene forma de U invertida; creciente en un primer tramo para tarifas bajas, alcanzado la máxima recaudación para un determinado rango de tarifas, y decreciente hasta anularse para tarifas mayores. En el caso de estudio analizado se evidencia que las tarifas consideradas se corresponderían con las que produce las mayores recaudaciones posibles. De hecho, tarifas inferiores 0,03 €/m³ y superiores a 0,06 €/m³ producirían recaudaciones sensiblemente menores.

Impacto social

La implementación de la reforma de la PAC-2006 y de la DMA va a tener un efecto social negativo para el conjunto de la zona regable.

Así, el cambio en la política agraria, por sí misma, inducirá una pérdida de empleo directo en el regadío del 17,5%. Esta disminución en la demanda de trabajo se debe, como antes se comentó, a la sustitución de los cereales de invierno y la remolacha de regadío por otros cultivos de secano, menos intensivos en el uso de este factor productivo. En un futuro, la aplicación de la tarificación del agua provocará pérdidas adicionales de empleo, derivadas de la progresiva desafección del regadío y, por tanto, del abandono de cultivos más intensivos en mano de obra. En este sentido cabe señalar que las pérdidas inducidas por este instrumento económico oscilarán entre el 40,4% para el caso de la tarifa "suave" y el 55,4% para la tarifa "dura".

Asimismo, cabe señalar igualmente que el impacto social de estos cambios trasciende del sector agrícola, en la medida que es predecible un impacto también negativo sobre el empleo indirecto asociado al regadío (agroindustrias, empresas de insumos...), en la medida que los escenarios analizados provocarán una extensificación de la actividad productiva. Así pues, teniendo en cuenta el importante papel social del regadío como factor de fijación de la población, cabe concluir que la nueva PAC y la tarificación afectarán de forma negativa al desarrollo rural de la zona analizada.

Impacto ambiental

Los cambios de cultivos inducidos por la última reforma de la PAC (cereales de invierno y remolacha en regadío por cultivos de secano) afectarán igualmente al balance de nitrógeno del conjunto del regadío analizado. Así, en comparación con el escenario base, este cambio en la forma de proteger a la agricultura tienen efectos ambientales positivos, disminuyendo en un 32,3% la cantidad de nitrógeno liberado al medioambiente (disminución de la contaminación difusa de las masas de agua).

La posterior aplicación de la tarificación intensificará este tipo de mejora ambiental, disminuyendo los aportes de esta sustancia fertilizante a los ecosistemas hasta en un 63,0% en el caso de la tarifa "dura". Tal circunstancia está motivada igualmente por el abandono progresivo de los cultivos en regadío a favor de los cultivos en secano, menos exigentes en fertilizantes nitrogenados.

Impacto diferencial de la PAC y la DMA

Una vez realizado el análisis de resultados para el conjunto de la ZR, a continuación se analizan de forma sintética los resultados desagregados por grupos homogéneos de regantes:

– *G1 "Grandes cerealistas"*. Los resultados obtenidos para este primer grupo de agricultores pueden observarse en la tabla 8. El cambio en la PAC por sí sólo produciría una disminución en el uso del agua de riego del 28,3%. No obstante, este ahorro de agua se incrementaría con la implementación de la tarificación, reduciéndose su uso hasta el 83,3% con la aplicación de una tarificación "dura". También se aprecia una disminución del indicador *MBT*, tanto por el cambio de la PAC como por la posterior entrada en vigor de la DMA, reduciéndose este indicador entre el 11,7% (considerando sólo la nueva PAC) y el 26,9% (considerando además una tarificación "dura" del agua). La recaudación pública más elevada es de 30,62 €/ha, que se alcanzaría para la aplicación de la tarifa "dura". El indicador *EMP* disminuye un 16,4% con la entrada en funcionamiento de la PAC-2006, si bien este impacto social negativo se agravaría con la implementación de las tarifas del agua, con una disminución de la mano de obra superior al 50% para las tarifas "media" y "dura". Por último, el indicador *BALN* se reduce con la puesta en marcha de la PAC, efecto positivo que se ve incrementado con la posterior implementación de

Tabla 8: Evolución de los indicadores socioeconómicos y ambientales. Explotación tipo G1
 Table 8: Changes in the socio-economic and environmental indicators. Farm-type G1

Indicadores	PAC-2006			
	Sin tarifa (0,00 €/m ³)	Tarifa suave (0,02 €/m ³)	Tarifa media (0,04 €/m ³)	Tarifa dura (0,06 €/m ³)
AGUA				
Escenario base = 3.178 m ³ /ha	-28,3%	-62,5%	-77,9%	-83,3%
MBT				
Escenario base = 417 €/ha	-11,7%	-19,9%	-24,0%	-26,9%
REPB				
Escenario base = 0,00 €/ha	0,00 €/ha	23,83 €/ha	28,01 €/ha	30,62 €/ha
EMP				
Escenario base = 1,84 Jorn./ha	-16,4%	-42,0%	-52,6%	-55,7%
BALN				
Escenario base = 24,2 kg N/ha	-27,9%	-44,1%	-54,9%	-60,0%

la DMA, disminuyéndose sensiblemente la cantidad de nitrógeno liberada al ambiente.

– G2 “Remolacheros-cerealistas”. Los resultados obtenidos de los modelos de simulación para este segundo grupo de agricultores puede verse con detalle en la tabla 9. El último cambio en la PAC produciría por sí sólo un ahorro significativo del consumo de agua (40,2%), dada la importante sustitución de la

superficie destinada a la remolacha por cereales de invierno, cultivos mucho menos demandantes de este recurso. En todo caso, el valor de este indicador AGUA disminuye con mayor intensidad con la entrada en funcionamiento de la DMA. Tanto el cambio de la PAC como la puesta en marcha de la DMA provocan igualmente un impacto negativo sobre el indicador MBT, que disminuye entre el 11,6% (sólo

Tabla 9: Evolución de los indicadores socioeconómicos y ambientales. Explotación tipo G2
 Table 9: Changes in the socio-economic and environmental indicators. Farm-type G2

Indicadores	PAC-2006			
	Sin tarifa (0,00 €/m ³)	Tarifa suave (0,02 €/m ³)	Tarifa media (0,04 €/m ³)	Tarifa dura (0,06 €/m ³)
AGUA				
Escenario base = 3.410 m ³ /ha	-40,2%	-64,0%	-81,7%	-87,5%
MBT				
Escenario base = 477 €/ha	-11,6%	-18,3%	-22,0%	-24,2%
REPB				
Escenario base = 0,00 €/ha	0,00 €/ha	24,56 €/ha	24,90 €/ha	25,12 €/ha
EMP				
Escenario base = 1,96 Jorn./ha	-20,2%	-38,2%	-50,8%	-53,8%
BALN				
Escenario base = 30,8 kg N/ha	-40,1%	-50,3%	-61,8%	-67,6%

PAC-2006) y el 24,2% (PAC-2006 y tarificación "dura") con respecto a la situación actual. El indicador *REPB* alcanza su valor más elevado con la aplicación de la tarifa "dura" (25,12 €/ha). La demanda de mano de obra también disminuye para el escenario PAC-2006 (20,2%), efecto que se ve acrecentado con la tarificación (disminución hasta un 53,8% para una tarifa "dura"). Finalmente, en cuanto al balance de nitrógeno, cabe comentar que la nueva PAC por sí misma reduce el indicador *BALN* en un 40,1%, mientras que la implementación de la DMA consigue reducir este indicador hasta el 67,6%.

– *G3 "Pequeños remolacheros"*. En la tabla 10 se muestran los resultados obtenidos para el tercer grupo de agricultores. Para este grupo de regantes la nueva PAC o la aplicación de una tarificación "suave" apenas generan un cambio en la demanda de agua, ya que la reorientación productiva motivada por estas dos políticas se basa en la sustitución de remolacha por maíz, cultivos ambos con semejantes necesidades hídricas. No obstante, para tarifas superiores (tarifas "media" y "dura"), sí se experimenta una disminución del indicador *AGUA*. En cuanto al indicador *MBT*, cabe señalar que las dos

políticas analizadas producen descensos menores que para las explotaciones tipo anteriores. Así, la aplicación de la nueva PAC disminuiría este indicador en tan sólo el 1,6%, mientras que la aplicación de la DMA provocaría un descenso de hasta casi el 20% para los escenarios tarifa "media" y "dura". El indicador *REPB* alcanza un valor máximo de 142,50 €/ha para un nivel de tarificación "suave". La demanda de empleo se reduciría un 17,3% con el cambio en la PAC, descenso que se agravaría con la aplicación de tarifas "media" y "dura", con las cuales el indicador *EMP* se vería reducido hasta el 65,4% con respecto a la situación actual. Finalmente, la cantidad de nitrógeno liberada al ambiente se reducirá de forma significativa (64,5%-93,2%), tanto con la aplicación de la PAC como con la aplicación de la DMA.

De los resultados anteriores se constata la heterogeneidad en la respuesta de estas unidades de producción representativas ante los distintos escenarios analizados. Tal circunstancia evidencia la necesidad de realizar una modelización individualizada por explotaciones tipo y su posterior agregación al objeto de obtener resultados globales (minimización del sesgo de agregación).

Tabla 10: Evolución de los indicadores socioeconómicos y ambientales. Explotación tipo G3
Table 10: Changes in the socio-economic and environmental indicators. Farm-type G3

Indicadores	PAC-2006			
	Sin tarifa (0,00 €/m ³)	Tarifa suave (0,02 €/m ³)	Tarifa media (0,04 €/m ³)	Tarifa dura (0,06 €/m ³)
<i>AGUA</i>				
Escenario base = 7.125 m ³ /ha	-0,0%	-0,0%	-100,0%	-100,0%
<i>MBT</i>				
Escenario base = 1.159 €/ha	-1,6%	-13,9%	-19,5%	-19,5%
<i>REPB</i>				
Escenario base = 0,00 €/ha	0,00 €/ha	142,50 €/ha	0,00 €/ha	0,00 €/ha
<i>EMP</i>				
Escenario base = 2,73 J/ha	-17,3%	-17,3%	-65,4%	-65,4%
<i>BALN</i>				
Escenario base = 83,4 kg N/ha	-64,5%	-64,5%	-93,2%	-93,2%

Conclusiones

A la vista de los resultados anteriores, cabe concluir afirmando que tanto la reforma de la PAC como la tarificación del agua producen impactos en la misma dirección. Efectivamente, tal y como evidencian los resultados de la simulación, la aplicación de ambas políticas producen efectos negativos sobre la rentabilidad privada de los agricultores y la demanda de mano de obra, a la vez que generan efectos positivos sobre la demanda de agua de riego y el balance de nitrógeno liberado al ambiente. Lógicamente, la implementación conjunta de ambas políticas intensificará la magnitud de tales impactos. Así pues, como conclusión se puede afirmar que la implementación de estas dos políticas mejorará la sostenibilidad ambiental del regadío, pero empeorará su sostenibilidad económica y social.

Desde una perspectiva estrictamente técnica no puede valorarse estos cambios en términos de deseabilidad o bienestar social, en la medida que tan sólo la sociedad en su conjunto o sus representantes políticos están legitimados para hacerlo. En todo caso, de estos resultados pueden deducirse una serie de recomendaciones para la toma de decisiones en relación a la gestión pública de la agricultura de regadío. Así, en primer lugar cabría señalar la necesidad de una coordinación entre las políticas agrarias y de aguas, definiendo unos objetivos comunes y proponiendo medidas complementarias tendentes a alcanzar soluciones compromiso entre los diferentes criterios políticos en conflicto (económicos, sociales y medioambientales), con el propósito último de mejorar la "gobernanza" de estos sistemas agrícolas particulares. Así, se trataría de alcanzar, a través de un único enfoque, los objetivos ambientales propuestos (conservación de recursos hídricos y minimización de la contaminación) sin que esto repercuta de una forma excesivamente negativa sobre la supervivencia de la actividad agraria de regadío,

poniendo así en peligro la consecución de objetivos económicos y sociales en relación a las rentas de los agricultores y la fijación de población en el territorio (desarrollo rural).

La segunda de las recomendaciones que se pueden derivar de este trabajo sería la necesidad de realizar nuevas investigaciones en este sentido, que analicen los impactos de la aplicación conjunta de otros instrumentos relacionados con la gestión de los recursos hídricos en la agricultura. Algunos de ellos ya han sido aplicados en nuestro país, como son los mercados de agua y la modernización de regadío. Asimismo, cabría la posibilidad de analizar otros instrumentos más novedosos, entre los que se encuentran la implementación de programas agroambientales específicos para el regadío o la de una eco-tasa por la utilización de los fertilizantes nitrogenados. En este sentido, sería conveniente estudiar cuál de estas medidas o qué conjunto de ellas permiten fomentar un uso más racional de los recursos hídricos, y ello sin menoscabar la potencialidad de desarrollo socioeconómico de las zonas donde el regadío se localiza.

En esta misma línea, un aspecto igualmente de interés para próximas investigaciones sería la profundización en el análisis de la sostenibilidad de los sistemas de riego. En este sentido, este trabajo debe considerarse un primer avance, con el estudio de las diferentes dimensiones de la sostenibilidad a través de una reducida batería de indicadores económicos (MBT y REPB), sociales (EMP) y medioambientales (AGUA y BALN). En cualquier caso, en un futuro sería necesario ampliar de forma realista el número de indicadores a estimar a través de los modelos y el cálculo de indicadores sintéticos de sostenibilidad, que permitan orientar sobre la implementación de las diferentes políticas al objeto de optimizar la sostenibilidad global de este tipo de sistemas agrarios.

Agradecimientos

Los autores agradecen sinceramente los comentarios realizados por los revisores anónimos del trabajo, en la medida que han contribuido a la mejora científica del mismo. Esta investigación ha sido cofinanciada por el Ministerio de Educación y Ciencia (MEC-FEDER) por medio del proyecto FUTURPAC (AGL2006-05587-C04-01/AGR).

Bibliografía

- Alarcón S, Sebastián RA, Serrano A, 1997. Modelización de explotaciones agrarias mediante programación matemática. Una aplicación en la comarca de Arévalo-Madrigal (Ávila). Investigación Agraria Serie Economía 12: 299-320.
- Alonso R, Serrano A, 1998. Evaluación de los efectos de la reforma de la PAC de 1992 y de la Agenda 2000 sobre las explotaciones agrícolas en la comarca de Arévalo-Madrigal. Revista Española de Estudios Agrosociales y Pesqueros 184: 9-36.
- Arriaza M, Gómez-Limón JA, 2003. Comparative performance of selected mathematical programming models. Agricultural Systems 77: 155-171.
- Berbel J, Rodríguez A, 1998. An MCDM approach to production analysis. An application to irrigated farms in Southern Spain. European Journal of Operational Research 107: 108-118.
- Blanco M, Iglesias E, Sumpsi JM, 2004. Environmental and socioeconomic effects of water pricing policies: Key issues in the implementation of the Water Framework Directive. 13th Annual Conference European Association of Environmental Resource Economics, 25-28 de junio, Budapest.
- Britz W, Heckelei T, Wolff H, 2003. Symmetric Positive Equilibrium Problem: A Framework for rationalizing Economic Behavior with Limited Information: Comment. American Journal of Agricultural Economics 85(4): 1078-1081.
- CAG (Consejería de Agricultura y Ganadería), varios años. Anuario Agroalimentarios de Castilla y León. Consejería de Agricultura y Ganadería-Junta de Castilla y León, Valladolid.
- Calatrava J, Garrido A, 2001. Análisis del efecto de los mercados de agua sobre el beneficio de las explotaciones, la contaminación por nitratos y el empleo eventual agrario. Economía Agraria y Recursos Naturales 2: 149-169.
- CE (Comisión Europea), 2000. Política de tarificación y uso sostenible de los recursos hídricos. Documento COM (2000) 477 final.
- CE (Comisión Europea), 2007. Prospects for agricultural markets and income in the European Union 2006–2013. Directorate General for Agriculture and Rural Development-European Commission, Bruselas.
- Day RH, 1963. On aggregating linear programming models of production. Journal of Farm Economics 45: 797-813.
- García Álvarez-Coque JM (ed.), 2006. La Reforma de la Política Agraria Común. Eumedia-MAPA, Madrid.
- Gómez-Limón JA, Arriaza M, Berbel J, 2002. Conflicting implementation of agricultural and water policies in irrigated areas in the EU. Journal of Agricultural Economics 53: 259-281.
- Gómez-Limón JA, Riesgo L, Arriaza M, 2004. Multi-Criteria analysis of input use in agriculture. Journal of Agricultural Economics 55: 541-564.
- Gómez-Limón JA, Riesgo L, 2004. Irrigation water pricing: differential impacts on irrigated farms. Agricultural Economics 31: 47-66.
- Hazell PBR, Norton RD, 1986. Mathematical programming for economic analysis in agriculture. MacMillan Publishing Company, New York.
- Heckelei T, 1997. Positive Mathematical Programming: review of the standard approach. CAPRI Working paper 97-03, Institute of Agricultural Policy, University of Bonn.
- Heckelei T, Britz W, 2000. Positive Mathematical Programming with multiple data points: a cross-sectional estimation procedure. Cahiers d'Économie et Sociologie Rurales 57: 28-50.

- Heckelei T, Britz, W, 2005. Models based on positive mathematical programming: state of the art and further extensions. En Arfini F, (ed.) Modelling agricultural policies: State of the art and new challenges. Monte Università Parma, Parma: 48-74.
- Heckelei T, Wolff H, 2003. Estimation of constrained optimisation models for agricultural supply analysis based on generalised Maximum Entropy. *European Review of Agricultural Economics*, 30(1): 27-50.
- Henry de Frahan B, Buysse J, Polomé P, Fernagut B, Harmignie O, Lauwers L, van Huylenbroeck G, Van Meensel J, 2007. Positive mathematical programming for agricultural and environmental policy analysis: Review and practice. En Weintraub A, Romero C, Bjordal T, Epstein R, (eds.) *Handbook on Operations Research in Natural Resources*. Springer, New York: 129-154.
- Howitt RE, 1995. Positive Mathematical Programming. *American Journal of Agricultural Economics* 77: 329-342.
- Judéz L, Chaya C, Martínez S, González A, 2001. Effects of the measures envisaged in "Agenda 2000" on arable crop producers and beef and veal producers: an application of Positive Mathematical Programming to representative farms of a Spanish region. *Agricultural Systems* 67: 121-138.
- MAPA (Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación), 2001. Plan Nacional de Regadíos. MAPA, Madrid.
- Massaruto A, 2002. The full-cost recovery of irrigation: rationale, methodology, European experience. *International Conference on Irrigation Water Policies: Micro and Macro Considerations*. World Bank-FAO-International Water and Resource Economics Consortium (IWREC), 24-27 de junio, Agadir (Marruecos).
- MIMAM (Ministerio de Medio Ambiente), 2000. Libro blanco del agua. MIMAM, Madrid.
- MIMAM (Ministerio de Medio Ambiente), 2007. Precios y costes de los servicios de agua en España. MIMAM, Madrid.
- OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico), 2001. Environmental indicators for agriculture. Volume 3. Methods and results. OCDE, París.
- OCDE-FAO (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico-Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura), 2007. OECD-FAO Agricultural Outlook 2007-2016. OCDE-FAO, París
- Oñate JJ, Atance I, Bardají I, Lluvia D, 2007. Modelling the effects of alternative CAP policies for the Spanish high-nature value cereal-steppe farming systems. *Agricultural Systems* 94: 247-260.
- Paris Q, 2001. Symmetric Positive Equilibrium Problem: A framework for rationalizing economic behavior with limited information. *American Journal of Agricultural Economics* 83(4): 1049-1061.
- Paris Q, Howitt RE, 1998. An analysis of ill-posed production problems using Maximum Entropy. *American Journal of Agricultural Economics* 80(1): 124-138.
- Riesgo L, Gómez-Limón JA, 2006. Multi-criteria policy scenario for public regulation of irrigated agriculture. *Agricultural Systems* 91: 1-28.
- Röhm, O, Dabbert S, 2003. Integrating Agri-Environmental Programs into Regional Production Models: An extension of positive mathematical programming. *American Journal of Agricultural Economics* 85(1): 254-265.
- (Aceptado para publicación el 24 de enero de 2008)

Reutilización del sustrato agotado en la producción de hongos comestibles cultivados

A. Pardo Giménez

Centro de Investigación, Experimentación y Servicios del Champiñón (CIES), C/ Peñicas, s/n, Apartado 63, 16220 Quintanar del Rey, Cuenca. E-mail: apardo.cies@dipucuenca.es

Resumen

En el presente trabajo se presenta una revisión de conocimientos relativos a la reincorporación de los sustratos agotados del cultivo de hongos, una vez finalizado el ciclo de producción, en nuevos ciclos de cultivo. En primer lugar se tiene en cuenta su utilización en la preparación de sustratos de cobertura para cultivo de *Agaricus bisporus*. Se describen en este área aspectos como la evolución histórica y distribución geográfica de su empleo, las formulaciones utilizadas y los tratamientos aplicados, a la vez que se discuten los diferentes factores que pueden influir sobre el comportamiento agronómico. Por otra parte se considera la utilización de estos materiales en la preparación de sustratos para cultivo de diferentes especies de hongos, teniendo en cuenta aspectos como su enriquecimiento y combinación con otros materiales, los tratamientos a aplicar y los resultados obtenidos. Estas aplicaciones permiten integrar este tipo de materiales, por medio de nuevas formulaciones y metodologías, con la doble ventaja del abaratamiento de los costes de producción y la disminución del impacto ambiental.

Palabras clave: valorización, champiñón, setas, sustratos de cultivo, capa de cobertura

Summary

Reuse of spent mushrooms substrates in edible mushrooms production

In this work, a review of knowledge relative to the reintroduction of spent mushrooms substrates in the elaboration of casing layers and base substrates for new cultivation cycles is presented. Firstly, their use in the preparation of casing substrates to induce fructification in *Agaricus bisporus* cultivation is considered. Aspects like the historical evolution and geographical distribution of their employment, the used formulations and the applied treatments are described in this area, at the same time that different factors that can influence on the agronomic behaviour are discussed. On the other hand, the use of these materials in the preparation of substrates for cultivation of different species of mushrooms is considered, taking into account aspects like their enrichment and combinations with other materials, the treatments to apply and the obtained results. These applications allow to integrate this type of materials by means of new formulations and methodologies with the added advantages of lowering the production costs and decreasing the environmental impact.

Key words: valorisation, cultivated mushrooms, substrates, casing material

Introducción

Las actuales aplicaciones de los sustratos agotados de champiñón y setas, principalmente como componente de enmiendas y sustratos de cultivo, no parecen suficientes para dar salida al elevado volumen de material generado año tras año, estimado en más de 500000 t anuales en España, que se acumula en los centros de recogida situados en las zonas productoras (principalmente en Castilla-La Mancha y La Rioja) y que constituye un contaminante potencial.

En un trabajo de Rinker (2002) se presenta una recopilación de los posibles usos que puede tener el compost agotado de hongos cultivados, haciendo referencia a su empleo en biorremediación (purificación de aire, agua, suelos y sustratos contaminados con plaguicidas), utilización en otros cultivos (flores y hortalizas en invernadero, frutas y hortalizas en campo, otros cultivos), enmienda general de suelos, semilleros y paisajismo, alimentación animal y acuicultura, control de plagas y enfermedades y usos diversos (combustible, vermicultura, otros), considerando también su reutilización en el cultivo de hongos, como material de cobertura para *Agaricus* spp. y como sustrato para el cultivo de otras especies.

Uno de los principales problemas a resolver en una gestión eficaz del medio ambiente es minimizar la producción de residuos o reincorporarlo a la cadena de producción, tomando como prioridad frente a otras técnicas de gestión la reutilización, reciclado y valorización de los residuos. En este sentido, el Centro de Investigación, Experimentación y Servicios del Champiñón, ubicado en Quintanar del Rey (Cuenca), en plena zona productora de Castilla-La Mancha, ha puesto en marcha un proyecto de investigación enmarcado en el Subprograma Nacional de Recursos y Tecnologías Agrarias en Coordinación con las Comunidades Autónomas, en

el que se propone la caracterización y tratamiento de los sustratos agotados de champiñón y setas para su reincorporación en la elaboración de sustratos de cobertura en cultivo de *Agaricus* spp. y en la elaboración de sustratos de base para el cultivo de *Pleurotus* spp., principales hongos comestibles cultivados actualmente en España, así como la evaluación agronómica en salas de cultivo de los materiales obtenidos. El material puede, en principio, ser integrado por medio de nuevas formulaciones y metodologías con la doble ventaja del abaratamiento de los costes de producción y la disminución del impacto ambiental.

Como paso previo al desarrollo del proyecto mencionado, se presenta en este trabajo una revisión del estado actual de los conocimientos científico-técnicos generales sobre las dos áreas de trabajo consideradas.

El sustrato agotado como material de cobertura para *Agaricus* spp.

En el cultivo de champiñón (*Agaricus* spp.), se hace necesario, además del sustrato de base para el cultivo (compost), un material empleado como recubrimiento superior del mismo aplicado con objeto de inducir la fructificación del champiñón. Teniendo en cuenta los factores que influyen en la fructificación y las funciones que desarrolla la capa de cobertura, se establecen las características que debe reunir un material para considerarse adecuado para tal uso (Pardo *et al.*, 1999). Actualmente, muchos son los materiales empleados, siendo diferentes tipos de turbas los más extendidos en todo el mundo, principalmente por sus excepcionales propiedades estructurales y de retención de agua. La problemática asociada al empleo de turbas, principalmente en cuanto al agotamiento de reservas y alteración de ecosistemas, obliga a la búsqueda de mate-

riales alternativos. Uno de estos materiales alternativos lo constituye el compost agotado, aunque debe, en principio, ser acondicionado modificando algunas de sus características para constituir un medio adecuado antes de ser empleado como ingrediente de las mezclas de cobertura. Las primeras referencias sobre la utilización del compost agotado como cobertura para cultivo de *Agaricus* spp. se sitúan en Suiza a mediados de los 60, donde Sinden, trabajando en Hauser, utilizaba compost agotado madurado durante un par de años, lixiviado y pasteurizado, mezclado con tierra y toba (Sinden, 1971). A finales de los 60 se introduce en Estados Unidos, donde se venía utilizando suelo mineral, alcanzando cierta importancia durante la década de los 70, mezclándolo con piedra caliza molida, llegando a emplearse este material en aproximadamente el 30% de los casos, aunque a partir de 1978 fue rápidamente desplazado por la turba, de manera que en la actualidad su empleo es prácticamente nulo.

India es el país donde actualmente el empleo del compost agotado está más extendido y donde más se ha experimentado con él. Las primeras referencias de utilización datan de 1973, año en el que Mantel recomendó el empleo de este material de 1 año mezclado con arena y cal apagada (4:1:1), aunque según parece los cultivadores que los utilizaban obtenían con frecuencia pobres rendimientos (Mantel, 1973). Actualmente en India se emplean como coberturas mezclas de estiércol compostado con tierra o compost agotado. El material se emplea madurado durante 2-3 años, neutralizado con CaCO_3 y mezclado con estiércol (1:2, 1:3).

También hubo intentos de introducción en Inglaterra y Australia a mediados de los 70 y más recientemente en otros países donde la turba no está disponible y su adquisición resulta prohibitiva, como Irán, Korea o Sudáfrica.

En todo caso se ha observado a lo largo del tiempo una gran variabilidad de resultados, que han ido del éxito relativo al total fracaso, de manera que generalmente no se mejora el comportamiento agronómico proporcionado por las coberturas basadas en turba u otros tipos de cobertura disponibles.

La irregularidad de los resultados puede estar justificada por la amplia variedad de factores que pueden influir sobre las características finales del producto. Por ello se deben hacer una serie de consideraciones para la utilización del compost agotado como cobertura teniendo en cuenta aspectos que pueden influir sobre el comportamiento agronómico. Entre estos aspectos encontramos el material de origen (materias primas empleadas en el compostaje, presencia/ausencia de la capa de cobertura, tipo de cobertura utilizado), el tratamiento térmico con vapor previo al vaciado del local ("cook-out"), las condiciones de recompostaje/maduración/biotransformación (duración del proceso, maduración natural/proceso controlado acelerado, las condiciones de aerobiosis/anaerobiosis, la altura de los montones, la frecuencia de los volteos, la climatología), la realización de un lavado artificial, la molienda y/o cribado, el tratamiento final (térmico/químico), las mezclas con otros materiales y sus proporciones, y el manejo del cultivo (espesor de aplicación, aplicación de riegos, aplicación de la operación de rastrillado, utilización de inóculos para cobertura, otros).

Vamos a repasar a continuación con más detalle algunos de estos factores de variabilidad. Tras el vaciado de la sala de cultivo, el material se amontona, pudiendo hacerse en diferentes condiciones.

Si pretendemos emplear el material como cobertura, la alta concentración de sales solubles supone un handicap (son frecuentes valores de conductividad eléctrica por encima de $2,5 \text{ mS cm}^{-1}$ en extracto 1:5, v/v),

de manera que para que la lluvia permita un lavado natural es importante que el espesor no sea excesivo. Se han recomendado espesores entre 40 y 75 cm, con duraciones de proceso entre 18 meses y 3 años (Wuest, 1974; Yeatman y Kinrus, 1974; Nair, 1976, 1977; Brosius, 1981; Schisler y Wuest, 1982). El proceso está condicionado por la pluviometría y la disponibilidad de terreno y maquinaria adecuada. También se debe tener en cuenta el procedimiento seguido para reducir el contenido en sales solubles pudiendo hacerse, además del lavado natural (pluviometría), un lavado por inmersión (agua o agentes quelantes) o mediante riego aéreo (aspersión).

Un segundo factor a considerar es el de la duración del proceso, pudiendo emplearse el material fresco o madurado mediante un proceso de biotransformación natural entre 1 y 8 años (normalmente 2-3 años). También puede llevarse a cabo un proceso de compostaje acelerado en condiciones controladas, al exterior, en búnker ventilado o en cámaras, con duración entre 4 y 20 semanas (Lohr *et al.*, 1984; Eicker y van Greuning, 1989; Szmids, 1994; Beyer, 2004).

La seguridad biológica que debe proporcionar el material supone la necesidad de aplicar tratamientos para eliminar agentes perjudiciales para el cultivo (virus presentes en esporas y micelio, nematodos, ácaros, moscas y hongos perjudiciales). Un primer tipo de tratamiento es el que se puede realizar con vapor en la sala de cultivo antes del vaciado del compost ("cook-out"). En la bibliografía encontramos referencias de empleo de diferentes temperaturas, entre 60 y 70 °C con duración variable (Stoller, 1979; Brosius, 1981; Kleyn y Wetzler, 1981; Hermans, 1988; van Gils, 1988; Geels *et al.*, 1988; Wuest y Fahy, 1992; Guardino, 1998). Entre los posibles tratamientos, el de 70 °C durante 12 h ha sido optimizado en Holanda para eliminar toda forma viviente de micelio y esporas de

champiñón que pueden ser potenciales portadores de virus (Hermans, 1988).

El segundo tipo de tratamiento a aplicar es un tratamiento final aplicado al material antes de su reintroducción como cobertura en el cultivo. Entre ellos encontramos numerosos tratamientos térmicos, entre 57 y 82 °C con duración variable (Mantel, 1973; Yeatman y Kinrus, 1974; White, 1975; Wuest, 1976; Nair, 1976, 1977; Hayes y Shandilya, 1977; Brosius, 1981; Nair y Bradley, 1981; Shandilya, 1989; Eicker y van Greuning, 1989; Guardino, 1998; Sharma *et al.*, 1999; Gupta y Dhar, 1999; Dhar *et al.*, 2003; Riahi y Arab, 2004; Beyer, 2004) y algunos tratamientos químicos con formaldehído u otros fumigantes (Mantel, 1973; Stoller, 1979; Garcha y Sekhon, 1981; Singh y Saini, 1993; Singh *et al.*, 2000; Khanna *et al.*, 1995; Raina *et al.*, 2002).

En cuanto a la elaboración de mezclas de cobertura basadas en compost agotado, son numerosas las fórmulas utilizadas a nivel comercial y experimental, con diferentes grados de éxito. Entre ellas se pueden destacar algunas que han tenido o tienen cierto nivel de aplicación en la práctica: una mezcla de tierra, toba volcánica y compost agotado madurado durante dos años (Sinden, 1971), compost agotado de 1 año con arena y cal apagada en proporción 4:1:1 (Mantel, 1973), una mezcla de compost agotado de más de dos años y piedra caliza molida (Brosius, 1981) y combinaciones de estiércol compostado y compost agotado de champiñón de 2 años en proporción 2:1 (Sing *et al.*, 2000) y 3:1 (Bhatt y Singh, 2002; Dhar *et al.*, 2003).

El sustrato agotado como material de base para el cultivo de otras especies

Menor estudio se ha llevado a cabo sobre la reutilización de los sustratos agotados en la

elaboración de nuevos sustratos para cultivo de otras especies de hongos. Existen referencias, recopiladas por Rinker (2002), sobre utilización del compost agotado de champiñón en el cultivo de diferentes especies de hongos comestibles, entre otras de los géneros *Agaricus*, *Auricularia*, *Lentinula*, *Pleurotus* y *Volvariella*. Según Till (1963), el compost agotado de champiñón se puede reutilizar como nuevo sustrato para *Agaricus* si se enriquece con harina de semilla de algodón y harina de soja. Oei (1991) hace referencia a la utilización en Taiwán, con buenos rendimientos, de compost agotado de *Agaricus* mezclado con residuos de algodón, fermentado entre 2 y 4 días y pasteurizado, para la producción de *Volvariella*. También cita el trabajo de Quimio (1988), quién elaboró un sustrato de *Pleurotus* adecuado mezclando sustrato de *Volvariella* agotado con un 20% de salvado de arroz, proporcionando eficiencias biológicas entre el 60 y el 100%. Incide en la necesidad de proporcionar al material un tratamiento térmico adecuado. Posteriormente Poppe (2000, 2004) indicó la posibilidad de producir *Volvariella* a partir de sustrato agotado de *Agaricus* combinado con residuos de algodón. Chang y Miles (1989) registraron una eficiencia biológica del 80% para compost agotado de *Volvariella* desecado y reutilizado en el cultivo de *Pleurotus sajor-caju*. Schisler (1988) estudió el comportamiento de compost agotado de champiñón al que añadió el suplemento comercial Spawnmate II y turba Bonaparte en nuevos ciclos de *A. bisporus*. Royse (1993) evaluó el empleo de sustrato agotado de shiitake, al que añadió salvado de trigo y mijo en la producción de *Pleurotus sajor-caju*. Más recientemente, Kilpatrick *et al.* (2000) utilizaron formulaciones para cultivo de *Lentinula edodes* empleando compost agotado de *Agaricus*, suplementando con diversas proporciones de grano, harina de trigo y carbonato cálcico. En la tabla 1 se presenta una revisión bibliográfica en la que

se muestran las aplicaciones de sustratos agotados procedentes del cultivo de diferentes especies de hongos.

En España, la dependencia casi exclusiva del suministro de paja de cereales como material de base en la elaboración de sustratos para cultivo de *Pleurotus* spp. y su elevado precio de mercado, constituye un problema, agudizado en años de sequía, por lo que una incorporación de nuevos materiales que implique el aprovechamiento de subproductos autóctonos puede llegar a suponer un importante beneficio económico. En este sentido, la incorporación del compost agotado del champiñón y el sustrato agotado de setas como ingredientes de este tipo de sustratos presenta una notable potencialidad para ser integrado en la composición de un sustrato selectivo y equilibrado en nutrientes para el desarrollo de las setas del género *Pleurotus*.

Consideraciones finales

A modo de resumen, a la hora de reutilizar los sustratos agotados en el cultivo de hongos se debe tener en cuenta, en primer lugar, la necesidad de conseguir materiales uniformes con calidad constante y continuidad en el suministro, obtenidos mediante un proceso de elaboración estandarizado. Por otro lado, el material debe presentar unas características físicas, químicas y biológicas adecuadas, centrado principalmente en la necesidad de presentar un bajo nivel en sales solubles y la realización de un tratamiento térmico que proporcione seguridad biológica. Por último, se debe optimizar la preparación mezclas de cobertura para cultivo de *Agaricus* (combinaciones de materiales y proporciones) y la elaboración de sustratos para cultivo de *Pleurotus* y otros hongos (materiales y tratamientos), así como su manejo para rendimiento y calidad.

Tabla 1. Referencias de reutilización de sustratos agotados del cultivo de hongos en nuevos ciclos de cultivo de diferentes especies.

Table 1. References of spent mushrooms substrates reuse in new growing cycles of different species.

Cultivo de origen del sustrato agotado	Cultivo de aplicación para el sustrato agotado	Referencias
<i>Agaricus bisporus</i>	11 especies <i>Agaricus bisporus</i>	Flick, 1981 Till, 1963 Schisler, 1988 Rinker y Alm, 1990
	<i>Auricularia</i>	Sharma y Jandaik, 1994
	<i>Lentinula</i>	Kilpatrick <i>et al.</i> , 2000
	<i>Pleurotus</i>	Mueller <i>et al.</i> , 1984 Sharma y Jandaik, 1994
	<i>Volvariella</i>	Oei, 1991 Oei, 1996 Poppe, 2000 Poppe, 2004
<i>Pleurotus</i> spp.	<i>Pleurotus</i> spp.	Sharma y Jandaik, 1985 (citado por Quimio <i>et al.</i> , 1990) Sharma y Jandaik, 1992a Nakaya <i>et al.</i> , 2000
	<i>Stropharia</i>	Poppe, 1995 (citado por Rinker, 2002)
	<i>Auricularia polytricha</i>	Sharma y Jandaik, 1992b
<i>Lentinula edodes</i>	<i>Pleurotus</i>	Royse, 1993 Jaramillo, 2001, com. pers. (citado por Rinker, 2002) Yeatman, 2001, com. pers. (citado por Rinker, 2002)
	<i>Agaricus</i>	Babcock, 2004
	<i>Lentinula edodes</i>	Quimio, 1988 (citada por Oei, 1991, 1996, Royse, 1993 y Quimio <i>et al.</i> , 1990)
<i>Volvariella</i>	<i>Pleurotus</i>	Chang y Miles, 1989 Quimio <i>et al.</i> , 1990
<i>Flammulina</i> o <i>Ganoderma</i>	<i>Coprinus comatus</i>	Chen, 2001, com. pers. (citado por Rinker, 2002)

Agradecimientos

El presente trabajo se enmarca dentro del proyecto RTA2006-00013-00-00 financiado por el INIA y FEDER.

Referencias bibliográficas

Babcock G, 2004. Reuse of substrate in specialty mushroom production. *Mushroom Science* 16: 559-563.

Beyer DM, 2004. Polishing up and managing your casing. *Mushroom News* 52(10): 10-21.

Bhatt N, Singh RP, 2002. Casing soil bacteria as biocontrol agents against the mycoparasitic fungi of *Agaricus bisporus.*, pp. 171-177. En: JE Sánchez, G Huerta, E Montiel (Eds.). *Mushroom Biology and Mushroom Products*, 468 pp. Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Cuernavaca, México.

Brosius CC, 1981. Spent compost as an alternate casing material. *Mushroom Science* 11(2): 397-403.

- Chang ST, Miles PG, 1989. Edible Mushrooms and their Cultivation, 345 pp. CRC Press, Florida, USA.
- Dhar BL, Ahlawat, OP, Gupta Y, 2003. Evaluation of agro-industrial wastes as casing materials in *Agaricus bisporus* cultivation in India. *Mushrooms International* 92: 5-9.
- Eicker A, van Greuning M, 1989. Economical alternatives for topogenous peat as casing material in the cultivation of *Agaricus bisporus* in South Africa. *S. Afr. J. Plant Soil* 6(2): 129-135.
- Flick M, 1981. Using spent mushroom compost for growing other edible fungi. *Champignon* 244: 22-26.
- Garcha HS, Sekhon A, 1981. Evaluating casing materials for mushroom culture in Punjab (India). *Mushroom Science* 11(1): 411-417.
- Geels FP, van de Geijn J, Rutjens AJ, 1988. Pests and diseases, pp. 361-422. En: LJLD van Griensven (Ed.). *The Cultivation of Mushrooms*, 515 pp. Interlingua T.T.I. Ltd., East Grinstead, Sussex, UK.
- Guardino JW, 1998. The performance, microbiology and disease suppressive nature of spent mushroom substrate used as casing for the production of the button mushroom *Agaricus bisporus*, 57 pp + references. Thesis in Plant Pathology. The Pennsylvania State University, The Graduate School, Department of Plant Pathology, PA, USA.
- Gupta Y, Dhar BL, 1999. Spawned casing in white button mushroom for yield increase and uniform flush appearance, pp. 457-464. En: A Broderick, T Nair (Eds.). *Mushroom Biology and Mushroom Products*, 507 pp. AMGA, Sidney, Australia.
- Hayes WA, Shandilya TR, 1977. Casing soil and compost substrates used in the artificial culture of *Agaricus bisporus* the cultivated mushroom. *Indian J. Mycol. and Pl. Pathol.* 7(1): 5-10.
- Hermans C, 1988. Climate and cultivation technique, pp. 213-248. En: LJLD van Griensven (Ed.). *The Cultivation of Mushrooms*, 515 pp. Interlingua T.T.I. Ltd., East Grinstead, Sussex, UK.
- Khanna PK, Phutela RP, Kapoor S, Garcha HS, 1995. Evaluation of casing materials for *Agaricus bisporus* cultivation. *Mushroom Research* 4: 65-68.
- Kilpatrick M, Murray DJ, Ward F, 2000. Influence of substrate formulation and autoclave treatment on *Lentinula edodes* production. *Mushroom Science* 15(2): 803-810.
- Kleyn JG, Wetzler TF, 1981. The microbiology of spent mushroom compost and its dust. *Can. J. Microbiol.* 27(8): 748-753.
- Lohr VI, Wang SH, Wolt JD, 1984. Physical and chemical characteristics of fresh and aged spent mushroom compost. *HortScience* 19(5): 681-683.
- Mantel EFK, 1973. Casing soil made from spent compost. *Indian J. Mush.* 1: 15-16.
- Mueller JC, Gawley JR, Hayes WA, 1984. Utilization of spent alder compost as a substrate for cultivation of *Pleurotus sajor-caju*. *Mushroom News for the Tropics* 5(2): 3-7.
- Nair NG, 1976. Studies on recycling spent compost for mushroom cultivation. *Aust. J. Agric. Res.* 27: 857-865.
- Nair NG, 1977. Use of spent compost as a casing material. *Mushroom News* 25(9), 12-22.
- Nair NG, Bradley JK, 1981. Recycling waste plant products as casing materials in mushroom cultivation. *Mushroom Science* 11(1): 147-152.
- Nayaka M, Yoneyama S, Kato Y, Harada A, 2000. Recycling of cultural waste of *Pleurotus cornucopiae* for cultivation of *P. cornucopiae* and *P. ostreatus*. <http://www.agro.nl/pc/isms/posters/pos169.htm> (16-Agosto-2000).
- Oei P, 1991. Environmental care: an integrated approach, pp. 43-46. En: *Manual on Mushroom Cultivation*, 249 pp. TOOL Publications-CTA. Amsterdam-Wageningen, The Netherlands.
- Oei P, 1996. Environmental care: an integrated approach, pp. 38-43. En: *Mushroom Cultiva-*

- tion, 274 pp. TOOL Publications. Leiden, The Netherlands.
- Pardo, A., Pardo, J.E., de Juan, J.A. (1999). Cobertura y fructificación del champiñón cultivado, *Agaricus bisporus* (Lange) Imbach: materiales y aspectos prácticos, pp. 101-130. En: Avances en la Tecnología de la Producción Comercial del Champiñón y otros Hongos Cultivados, 323 pp. Patronato de Promoción Económica-Diputación Provincial de Cuenca, España.
- Poppe J, 1995. Cultivation of Edible Mushrooms on Tropical Agricultural Wastes. Biennial Training Course, ABOS & VLIR, University Gent, Belgium.
- Poppe J, 2000. Use of agricultural waste materials in the cultivation of mushrooms. *Mushroom Science* 15(1): 3-23.
- Poppe J, 2004. Agricultural wastes as substrates for oyster mushroom. In: *Mushroom Growers' Handbook*. <http://forums.mycotopia.net/attachment.php?attachmentid=11135&d=1130548288> (24-Julio-2006)
- Quimio TH, 1988. Continuous recycling of rice straw in mushroom cultivation for animal feed. En: ST Chang, K Chan, NYS Woo (Eds.). *Recent Advances in Biotechnology and Applied Microbiology*. Chinese University Press, Hongkong.
- Quimio TH, Chang ST, Royse DJ, 1990. Technical Guidelines for Mushroom Growing in the Tropics. FAO Plant Production and Protection Paper 106. Food and Agricultural Organization of the United Nations, Roma, Italia.
- Raina PK, Gupta A, Tikoo ML, 2002. Evaluation of some locally available casing materials on the pinning and yield of the mushroom, *Agaricus bisporus*. *Mushroom Research* 11(2): 77-79.
- Rihai H, Arab A, 2004. Spent mushroom compost as an alternative for casing soil. *Mushroom Science* 16: 585-589.
- Rinker DL, Alm G, 1990. Cultivation of commercial mushrooms on spent compost, pp. 27-28. En: *Abstracts in Horticultural Research in Canada – 1990*. Canadian Horticultural Council, Canada.
- Rinker DL, 2002. Handling and using "spent" mushroom substrate around the world, pp. 43-60. En: JE Sánchez, G Huerta, E Montiel. (Eds.). *Mushroom Biology and Mushroom Products*, 468 pp. Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Cuernavaca, México.
- Royse DJ, 1993. Recycling of spent shiitake substrate for production of the oyster mushroom (*Pleurotus sajor-caju*). *Mushroom News* 41(2): 14-20.
- Schisler LC, 1988. Why mushroom production declines with each successive break and the production of a second crop of *Agaricus* mushrooms on "spent" compost. *Mushroom News* 36(9): 6-11.
- Schisler LC, Wuest PJ, 1982. Selecting, manipulating and treating mushroom casing, pp. 55-60. En: PJ Wuest, GD Bengtson (Eds.). *Penn State Handbook for Commercial Mushroom Growers*, 130 pp. The Pennsylvania State University, PA, USA.
- Shandilya TR, 1989. Mushroom compost and casing research in India. *Mushroom Science* 12(1): 743-752.
- Sharma VP, Jandaik CL, 1985. Studies on recycling of *Pleurotus* waste. *Mushroom Journal for the Tropics* 6(2): 13-15.
- Sharma VP, Jandaik CL, 1992a. Recycling of mushroom industry waste for growing *Pleurotus sajor-caju* and *Auricularia polytricha*. *Indian Journal of Mycology and Plant Pathology* 22(2): 182-186.
- Sharma VP, Jandaik CL, 1992b. Supplementation of wheat straw for the improved yields of black ear mushroom (*Auricularia polytricha*). *Mushroom Research* 1(1): 57-58.
- Sharma VP, Jandaik CL, 1994. Recycling of spent compost for growing *Auricularia polytricha* and *Pleurotus* species. *Mushroom Information* 10/11: 15-20.
- Sharma HSS, Furlan A, Lyons G, 1999. Comparative assessment of chelated spent mushroom substrate as casing material for the produc-

- tion of *Agaricus bisporus*. Applied Microbiology and Biotechnology 53(3): 366-372.
- Sinden JW, 1971. Ecological control of pathogens and weed-molds in mushroom culture. Ann. Rev. Phytopathol. 9: 411-432.
- Singh A, Saini LC, 1993. Evaluation of casing materials for the production of *Agaricus bisporus*. Agric. Sci. Digest 13(2), 93-95.
- Singh M, Singh RP, Chaube HS, 2000. Impact of physio-chemical properties of casing on yield of *Agaricus bisporus* (Lange) Imbach. Mushroom Science 15(1): 441-446.
- Stoller BB, 1979. A casing made with spent compost. Mushroom Journal 73: 25-29.
- Szmidt RAK, 1994. Recycling of spent mushroom substrates by aerobic composting to produce novel horticultural substrates. Compost Science & Utilization 2(3): 63-72.
- Till O, 1963. Champignonkultur auf sterilisiertem Nährsubstrat und die Wiederverwendung von abgetragenen Compost. Mushroom Science 5: 127-133.
- Van Gils JJ, 1988. Cultivation, pp. 263-308. En: LJD van Griensven (Ed.). The Cultivation of Mushrooms, 515 pp. Interlingua T.T.I. Ltd., East Grinstead, Sussex, UK.
- White IR, 1975. The mushroom industry in the United States and Canada. Part Four. Casing and pin-head formation. Mushroom Journal 32: 278-279.
- Wuest PJ, 1974. Knowing more about peat moss, soil or spent compost for casing. Mushroom News 22(11): 6-14.
- Wuest PJ, 1976. Facts and fables concerning spent compost for casing. Mushroom News 24(10): 8,16,18.
- Wuest PJ, Fahy HK, 1992. Spent mushroom compost. Its origin, components and impact on water quality. Mushroom News 40(1): 27-33.
- Yeatman JC, Kinrus A, 1974. The re-use of spent compost for casing. Mushroom News 22(9): 3-8.
- (Aceptado para publicación el 24 de enero de 2008)

EMR 1.0: Herramienta al servicio de la vigilancia agroambiental del regadío

Jesús Causapé Valenzuela

Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA)
Avda. Montañana 930. C.P: 50059 Zaragoza. Tf: 34-976716324, Fax: 34-976716335
E-mail: jcausape@aragon.es; Web: <http://acebo.pntic.mec.es/jcav0026/>

Resumen

El carácter difuso de la contaminación agraria de regadío dificulta su cuantificación y asignación a un determinado territorio. Los objetivos de este trabajo son unificar criterios metodológicos para la evaluación agroambiental y proponer índices que cuantifiquen la contaminación inducida desde el regadío.

Para ello, se ha desarrollado una herramienta informática denominada EMR (Evaluador Medioambiental de Regadíos) que evalúa la calidad del riego e impacto agroambiental en base a balances de agua, sales y nitrato en cuencas hidrológicas de regadío. El comportamiento de los índices propuestos es analizado a partir de datos registrados en varios regadíos de la cuenca del Ebro.

Los Índices de Contaminación por Sales (ICS) y Nitrato (ICN) están basados en la masa unitaria de contaminantes exportada corregida por condicionantes "naturales y socioeconómicos" de los regadíos. ICS e ICN se relacionan con el aprovechamiento del agua y del nitrógeno aportado en la fertilización, factores claves para minimizar la contaminación.

ICS e ICN admiten una mayor masa de contaminantes exportados en los regadíos con mayor salinidad natural y necesidades de fertilización, lo que no impide que exijan por igual la adecuada gestión de todos los regadíos. EMR se constituye como una herramienta de fácil manejo al servicio de la vigilancia agroambiental del regadío.

Palabras clave: Balance de agua, contaminación por sales y nitratos, índices agroambientales.

Summary

EMR 1.0: Tool at the service of environmental surveillance of irrigated land

Non point agrarian contamination makes its quantification and assignation to a specific territory difficult. The objectives of this work are to unify methodological criteria for agro-environmental evaluation and to propose indices to quantify irrigation-induced contamination.

To this end, a computer programme called Irrigation Land Environmental Evaluation Tool (in Spanish EMR; <http://acebo.pntic.mec.es/jcav0026/investigacion/EMR.htm>) has been developed which evaluates the quality of irrigation and agro-environmental impact based on water, salt and nitrate balances in hydrological irrigation basins. The behaviour of the proposed indices is analysed using data registered in various irrigation districts in the Ebro valley (Spain).

Salt and Nitrate Contamination Indices (SCI and NCI respectively) are based on the unitary mass of exported pollutants corrected by "natural and socioeconomic" conditions of irrigation districts evaluated. SCI and NCI are related to water and nitrogen use, key factors for minimizing contamination.

SCI and NCI admit a greater mass of pollutants exported in the disadvantaged irrigation districts, which doesn't prevent equally appropriate management being required in all irrigation districts evaluated. EMR is a user-friendly tool at the service of agro-environmental surveillance of irrigation land.

Key words: Water balance, salt and nitrate pollution, agro-environmental indices.

Introducción

El carácter difuso de la contaminación agraria dificulta su cuantificación y asignación a un determinado territorio, por ello, la evaluación y vigilancia agroambiental del regadío no es una tarea sencilla. No obstante, la pérdida de agua y contaminantes en desagües agrícolas puede ser asignada a la cuenca hidrológica del desagüe correspondiente, y por tanto, asociada a sus características climáticas, geológicas y agronómicas, ofreciendo el diagnóstico agroambiental del regadío evaluado.

Para asegurar que el drenaje medido corresponde a la superficie agraria asignada, es necesario efectuar balances hídricos en los cuales las entradas de agua deben ser iguales a las salidas. Un correcto cierre del balance hídrico y la asignación de concentraciones de contaminantes a cada uno de sus componentes, permite cuantificar tanto la calidad del riego como el impacto agroambiental inducido por un determinado regadío.

Esta metodología ha sido aplicada con éxito en diferentes regadíos de la cuenca del Ebro en el marco de proyectos de investigación (Tedeschi *et al.*, 2001; Lasanta *et al.*, 2002; Cavero *et al.*, 2003; Causapé *et al.*, 2004a-b; Isidoro *et al.*, 2006a-b). Sin embargo, bajo una misma metodología general surgen versiones individualizadas para cada caso de estudio concreto. La escala de trabajo, presencia de flujos subterráneos, sistemas de riego implantados y disponibilidad de datos son algunos de los muchos factores que condicionan la alta variabilidad metodológica, lo que dificulta el contraste entre los resultados obtenidos en los distintos regadíos estudiados.

Por otro lado, la legislación vigente en la Unión Europea (EU, 1991; EU, 1998; EU, 2000; EU, 2006) tan solo hace referencia a niveles de concentración de contaminantes en las aguas, a pesar de que el estudio de regadíos (Causapé *et al.*, 2006) ha demostrado que la mejora en la eficiencia del riego puede pro-

vocar un incremento en la concentración del drenaje y una disminución en las masas de contaminantes exportados.

La masa de contaminantes exportados en el drenaje es el parámetro que debería tenerse en cuenta a la hora de proteger los sistemas receptores de los retornos de riego. Por ello, la Agencia Estadounidense para la Protección del Medio Ambiente está definiendo el Total Maximum Daily Load (TMDL) como el máximo de contaminantes que puede recibir cada masa de agua para no superar los estándares de calidad y comprometer su uso (www.epa.gov/). Al margen de la vulnerabilidad que tengan los sistemas receptores de los retornos de riego, la legislación debería promover la adecuada gestión de los regadíos mediante el cumplimiento de indicadores agroambientales basados en las masas de contaminantes exportados corregidas por factores desfavorables de origen natural o socioeconómico.

En definitiva, el elevado número de datos y la complejidad de cálculos desaniman la ejecución sistemática de estudios agroambientales. Frecuentemente, los organismos competentes en materia de aguas no disponen de las herramientas ni criterios necesarios para evaluar agroambientalmente un regadío. Todo ello impide legislar correctamente la gestión de los regadíos, lo que esta provocando que a día de hoy no se exija unos niveles mínimos de aprovechamiento del agua, ni niveles máximos de contaminación inducida por el regadío.

Por tanto, los objetivos de este trabajo son: i) unificar criterios metodológicos para la evaluación agroambiental de regadíos presentándolos en una aplicación informática de fácil manejo denominada EMR (Evaluador Medioambiental de Regadíos); ii) proponer indicadores agroambientales de la contaminación por sales y nitrato inducida por el regadío y iii) analizar el comportamiento de los índices propuestos.

Descripción de EMR

EMR está programado en JAVA (www.sun.com) y, aunque el instalador está preparado para un entorno Windows, la aplicación es multiplataforma, pudiéndose usar en Linux o en cualquier otro sistema operativo donde pueda existir una máquina virtual JAVA. Los requisitos técnicos mínimos para ser ejecutados son: a) un Procesador Pentium IV o superior, b) Memoria RAM: 256 MB y c) Disco duro: 25 MB.

EMR se distribuye mediante un archivo instalador llamado "InstalarEMR.exe" que puede descargarse gratuitamente junto al manual de usuario (Causapé y Pérez, 2007) desde la página web <http://acebo.pntic.mec.es/jcav0026/investigacion/EMR.htm>

EMR ejecuta balances diarios de agua y cuantifica la masa de contaminantes exportados en el drenaje (sales y nitrato). En base a ello, presenta agrupaciones temporales de los balances (diarias, mensuales, trimestra-

les, semestrales, anuales y para cualquier otro periodo seleccionado por el usuario) y calcula una serie de indicadores de la calidad del riego e impacto ambiental del regadío.

Para facilitar su uso, los ficheros de entrada y salida del programa se proporcionan en formato Excel existiendo unas plantillas que actúan de guía a la hora de afrontar un proyecto. Una vez construidos los ficheros de entrada de datos, el usuario simplemente debe asignarlos a su proyecto EMR e ir solicitando las salidas de datos que le interesen.

Metodología

El primer paso para la evaluación medioambiental de un regadío es tener perfectamente delimitado el regadío a evaluar y en función de ello proporcionar los datos necesarios. El regadío a evaluar puede subdividirse en varias "zonas" (fig. 1) cuya definición

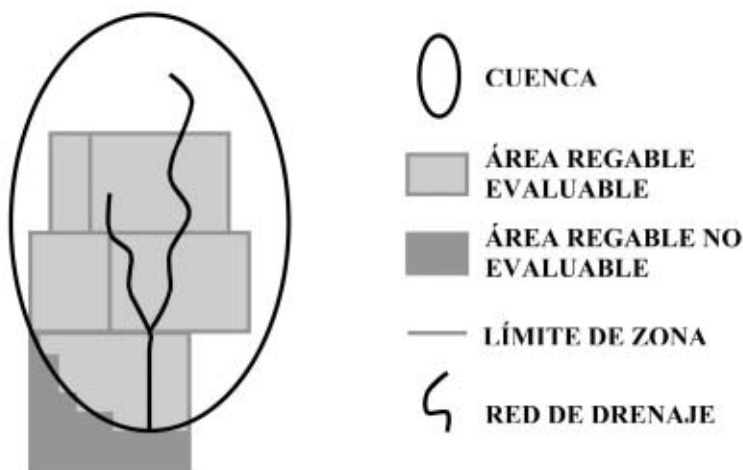


Figura 1. Croquis de una hipotética cuenca en la que el área regable a evaluar se reparte en cinco "zonas", de las cuales parte de una de ellas se localiza en el exterior de la cuenca y por tanto no es evaluable en el proyecto.

Figure 1. Outline of a hypothetical basin in which the irrigation land for evaluation is distributed into five "subareas", with part of one of them located outside the basin and therefore not assessable in this project.

es ampliamente variable ya que una "zona" se puede corresponder a toda una comunidad de regantes, a un sector de riego, a una parcela, etc.

Para cada "zona", EMR solicita información geográfica (coordenadas) y agronómica acerca de los cultivos que contiene, coeficientes de cultivo (K_c) para la estimación de la evapotranspiración potencial (ET_c), capacidad de retención de agua disponible para las plantas en los suelos (CRAD), y volúmenes de riego aplicado, tanto totales (R) como únicamente por aspersión.

Por otro lado, el programa solicita información sobre las coordenadas geográficas de las estaciones climáticas implicadas en el proyecto además de sus datos de precipitación (P), evapotranspiración de referencia (ET_0), velocidad del viento a 2 m del suelo (v) y humedad relativa a 1,5 m de la superficie del suelo (HR).

Las coordenadas geográficas de las estaciones climáticas y zonas implicadas en el proyecto son utilizadas por EMR para interpolar las variables climáticas en cada "zona" mediante la técnica de la inversa del cuadrado de la distancia (Isaaks y Srivastava, 1989) donde, el dato climático para una determina "zona" (X_z) obtenido a partir de n estaciones climáticas es igual al sumatorio de la variable climática (X_i) dividida por la distancia de cada estación climática al centro geográfico de la "zona" (d_i) al cuadrado, partido por la suma de las inversas de esas mismas distancias al cuadrado.

$$X_z = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} X_i}{\sum_{i=1}^{i=n} \frac{1}{d_i^2}}; \text{ siendo } d_i^2 = (x_i - x_z)^2 + (y_i - y_z)^2$$

La precipitación constituirá una entrada directa al balance mientras que la ET_0 se utilizará para estimar la evapotranspiración

potencial (ET_c) como $ET_c = ET_0 \cdot K_c$ (Allen et al., 1998). La velocidad del viento a 2 metros sobre la superficie (v, m/s) y la humedad relativa a 1,5 m sobre el suelo (HR, %) serán utilizadas para estimar el porcentaje de Pérdidas por Evaporación y Arrastre del riego por aspersión (PEA, %) calculadas según la relación encontrada por Salvador (2003):

$$PEA (\%) = 20,34 + 0.214 \cdot v^2 - 2,29 \cdot 10^{-3} \cdot HR^2$$

Con esta información EMR es capaz de ejecutar el Balance de Agua en el Suelo (BAS) para cada "zona" estimando diariamente el agua útil disponible para las plantas en el suelo (AU), la evapotranspiración real (ET_R) y el drenaje (D_{BAS}).

Para ello, al AU inicial, considerada como la mitad de la CRAD, le suma las entradas del día por el riego (R-PEA) y precipitación (P), y le resta la ET_c siempre y cuando haya suficiente AU en el suelo. Así pues, considera que la $ET_R = ET_c$ si $AU_{inicial} + P + R - PEA > ET_c$ y en caso contrario $ET_R = AU_{inicial} + P + R - PEA$ y el suelo queda al final del día con una humedad igual al punto de marchitez ($AU=0$).

En cambio, si $AU_{inicial} + P + R - PEA - ET_R > CRAD$, el programa interpreta que se ha sobrepasado la capacidad de campo del suelo obteniéndose un drenaje (D_{BAS}) igual a $D_{BAS} = AU_{inicial} + P + R - PEA - ET_R - CRAD$ y quedando el suelo al final del día a capacidad de campo ($AU = CRAD$). De este modo, EMR desarrolla el BAS un día tras otro hasta completar el periodo indicado por el usuario.

Adicionalmente y aprovechando la información generada en el BAS, EMR estima la Precipitación efectiva (Pef) para cada día en cada "zona" considerando que si $P < CRAD + ET_R - AU$ entonces $Pef = P$, y en caso contrario, $Pef = CRAD + ET_R - AU$.

Esta aproximación no tiene en cuenta la existencia de flujos preferenciales en el suelo ni la escorrentía superficial que se

podiera generar. No obstante, se considera una aproximación suficientemente válida teniendo en cuenta que las parcelas agrícolas se suelen encontrar abancaladas y para que se genere escorrentía superficial son necesarias lluvias muy intensas.

EMR también estima el volumen de drenaje procedente del riego (D_R) considerando en los días y "zonas" con drenaje que si $AU+P-ET_R \geq CRAD$ entonces $D_R = R-PEA$ y en caso contrario $D_R = [R-PEA] - [CRAD - (AU+P-ET_R)]$. Esta estimación interpreta que durante un día siempre se produce antes la lluvia que el riego y en consecuencia prioriza el drenaje del riego sobre el de la lluvia teniendo en cuenta que hasta cierto punto el agricultor debe tener en cuenta las lluvias para decidir sobre la aplicación del riego, aunque evidentemente, la predicción del tiempo no es ni mucho menos infalible.

Una vez obtenida las entradas de agua por Riego (R) y Precipitación (P) así como una estimación de la Evapotranspiración Real (ET_R) y Pérdidas por Evaporación y Arrastre del riego por aspersión (PEA), EMR solicita información hidrológica de la cuenca en la que se incluye el regadío. Esta información se compone de los caudales superficiales y subterráneos de los Flujos Hídricos Entrantes (FHE) y Salientes al regadío (FHS), y del contenido de agua en el sistema a evaluar en el momento inicial y final del balance tanto en suelos como en acuíferos. Estos últimos datos son necesarios para calcular el almacenamiento de agua en el sistema y periodo evaluado (A).

Con todo ello, EMR ejecuta el balance hídrico del regadío estudiado por el cuál, las entradas ($E = R+P+FHE$) menos las salidas ($S = ET_R+PEA+FHS$) menos el almacenamiento (A) deberían ser nulas. EMR comprueba la bondad del balance hídrico mediante el cálculo del desbalance como $Desbalance = 200 \cdot [(E-S-A)/(E+S+A)]$, pudiendo admitirse como ade-

cuados para este tipo de estudios desbalances inferiores al 10%. Asimismo, el drenaje propio del sistema calculado como $D = FHS - FHE$ debería ser similar al drenaje estimado por BAS (D_{BAS}), particularmente, en periodos suficientemente extensos cuando el almacenamiento de agua en el sistema adquiere una menor importancia frente al resto de componentes.

Una vez comprobado que el balance hídrico es satisfactorio, el usuario está en condiciones de asignar concentraciones de sales y nitrato a cada uno de los componentes del balance hídrico. Para las sales, el resultado de E-S-A no solo incluye los errores del balance si no también la cantidad de sales disueltas o precipitadas en el sistema.

En el caso del nitrato, E-S-A englobaría también los componentes del balance de nitrógeno no tenidos en cuenta como el nitrato aportado en la fertilización, la volatilización, la extracción de nitrógeno por los cultivos... En cualquier caso, EMR no pretende cerrar los balances de sales y nitrato si no principalmente cuantificar los contaminantes exportados en el drenaje como la diferencia entre los contaminantes exportados e importados a través de los flujos hídricos.

Cabe destacar, que EMR está diseñado para adaptarse lo máximo posible a la disponibilidad de datos y a las distintas escalas de trabajo. Así por ejemplo, si en un determinado regadío no se disponen datos a nivel de parcela pueden definirse zonas a nivel de comunidad de regantes y si por ejemplo no se dispone de datos de riego diarios pueden introducirse datos mensuales. Evidentemente, una menor precisión en las entradas al programa contribuye a una pérdida de precisión en los resultados pero EMR permite la evaluación de cualquier sistema de regadío del que se disponga una mínima información.

Resultados

Evaluación de la calidad del riego

A partir de la información generada en el balance de agua en el suelo, EMR presenta como resultados las necesidades hídricas netas y cuatro índices que pretenden evaluar la calidad del riego para cada "zona" y para el total del sistema en cualquier periodo de tiempo definido por el usuario.

i) Las Necesidades Hídricas netas (NHn, mm) se calculan como la diferencia entre la Evapotranspiración Potencial (ET_c) más el Agua Útil contenida en el suelo al final del balance (AUF) y la Precipitación efectiva (Pef) más el Agua Útil contenida en el suelo al inicio (AUi).

$$NHn = (ET_c + AUF) - (AUi + Pef)$$

Las NHn estiman el volumen de agua de riego necesario para que los cultivos no sufran estrés hídrico y el suelo quede en las mismas condiciones de humedad que al inicio del balance.

ii) La Eficiencia en el Uso del Agua (EUA, %) se calcula como la Evapotranspiración Real (ET_R) más el Agua Útil almacenada en el suelo al final del periodo (AUF) entre la suma de recursos hídricos disponibles para las plantas, es decir, el Agua Útil inicial contenida en el suelo (AUi), la Precipitación efectiva (Pef), y el Riego (R).

$$EUA = \frac{ET_R + AUF}{AUi + Pef + R} \cdot 100$$

Este índice hace referencia al grado de aprovechamiento del agua por los cultivos y en gran parte está condicionado por el manejo del riego. Así, la pérdida de agua por evaporación y arrastre del riego por aspersión o por percolación profunda implicaría un descenso en la EUA.

iii) El Déficit Hídrico (DH, %) es calculado como la diferencia entre la Evapotranspiración Potencial (ET_c) y la Evapotranspiración Real (ET_R) dividido por la Evapotranspiración Potencial (ET_c).

$$DH = \frac{ET_c - ET_R}{ET_c} \cdot 100$$

Este índice evalúa en que grado el riego como complemento al AUi y a la Pef, ha sido incapaz de satisfacer las necesidades hídricas de los cultivos. Cuanto mayor sea el DH mayor estrés hídrico habrán sufrido los cultivos como consecuencia de un manejo inadecuado del riego.

iv) La Fracción de Drenaje del riego (FD_R , %) se calcula como el porcentaje del Drenaje procedente del riego (D_R) respecto al volumen de Riego aplicado (R).

$$FD_R = \frac{D_R}{R} \cdot 100$$

Este índice evalúa las "pérdidas" de agua de riego por percolación profunda. Está condicionado por la dosis de riego en relación a la humedad del suelo en el momento de aplicar el riego.

v) La Eficiencia de Riego (ER, %) se calcula como uno menos la relación entre el volumen de agua de riego que sale del sistema sin ser evapotranspirada por los cultivos (Drenaje del riego- D_R más Pérdidas por Evaporación y Arrastre del riego por Aspersión-PEA) y el volumen de riego Aplicado (R).

$$ER = \left[1 - \left(\frac{D_R + PEA}{R} \right) \right] \cdot 100$$

Una teórica ER del 100% indicaría que todo el volumen de riego aplicado ha sido aprovechado para satisfacer las necesidades hídricas de los cultivos o acumulado en la reserva de agua en el suelo para su uso posterior.

Esta serie de índices permite evaluar la calidad del riego en cada una de las "zonas" y para el conjunto del regadío evaluado en un periodo de tiempo determinado. Así pues, una alta calidad del riego vendrá determinada cuando el DH y la FD_R sean nulos y la EUA y ER se aproximen al 100%. Si bien pueden ponerse en práctica técnicas de riego deficitario controlado que provocarían un DH intencionado, del mismo modo que en determinadas circunstancias, puede ser necesario aplicar el riego en exceso ($FD_R > 0$) para favorecer el lavado de sales con la consiguiente pérdida de EUA y ER.

Índices de evaluación agroambiental

Por último, EMR presenta los resultados de tres índices capaces de cuantificar el aprovechamiento del agua y la contaminación por sales y nitratos (principales problemas agroambientales) a nivel de todo el regadío evaluado. El Índice de Aprovechamiento del Agua (IAA) se calcula como uno menos el drenaje propio del sistema (D) más las Pérdidas por Evaporación y Arrastre (PEA) entre la Precipitación (P) más el Riego (R).

$$IAA = \left[1 - \frac{D + PEA}{R + P} \right] \cdot 100$$

Un IAA alto implica un elevado aprovechamiento de los recursos hídricos (precipitación y riego) mientras que por el contrario IAA bajos indicarían bajas eficiencias de riego y/o escasa regulación hídrica que en definitiva también conduce a un desaprovechamiento del agua dentro del regadío evaluado.

El impacto agroambiental se cuantifica en base a los Índices de Contaminación por Sales (ICS) y por nitrato (ICN). Ambos índices corrigen las masas unitarias de contaminantes exportados (masas exportadas por unidad de superficie) por factores hasta cierto punto de influencia "natural y socioeconó-

mica" como son la geología y las posibilidades agronómicas de un determinado regadío. Así, el ICS se estimó como las sales unitarias exportadas (D_S) dividido por la CE media del drenaje en periodo de no riego (CE_{NR}), parámetro representativo de la salinidad de los materiales geológicos de un determinado regadío. Esta decisión se tomó en base a que la CE_{NR} es un parámetro fácil de conseguir mientras que la salinidad edáfica habitualmente no suele cuantificarse y solo hace referencia a los primeros metros del terreno.

Por otro lado, el ICN se calculó como el nitrato unitario exportado en el drenaje (D_N) dividido por las necesidades de fertilización nitrogenada del sistema (NF). EMR calcula anualmente las necesidades de fertilización a partir las producciones de la "zona" y las extracciones de nitrógeno en las cosechas (Orús y Sin, 2006), salvo para las leguminosas que por su capacidad de fijar simbióticamente el nitrógeno se consideran nulas.

$$ICS = \frac{D_S}{CE_{NR}} ; \quad ICN = \frac{D_N}{NF}$$

Las necesidades de fertilización vienen impuestas por los cultivos implantados y por tanto condicionadas al clima y posibilidades socioeconómicas del regadío, factores no controlados por el agricultor. A mayor necesidad de fertilización existe un mayor riesgo de lixiviado de nitrato que el ICN compensa en la evaluación agroambiental.

El cálculo de estos índices a partir de datos anuales registrados en estudios de diferentes regadíos del Ebro (Tedeschi *et al.*, 2001; Lasanta *et al.*, 2002; Cavero *et al.*, 2003; Causapé *et al.*, 2004a-b; Isidoro *et al.*, 2006a-b) detecta la relación existente entre el IAA y los ICS e ICN (fig. 2) demostrando que el uso apropiado del agua es el factor clave para minimizar la contaminación inducida por el regadío.

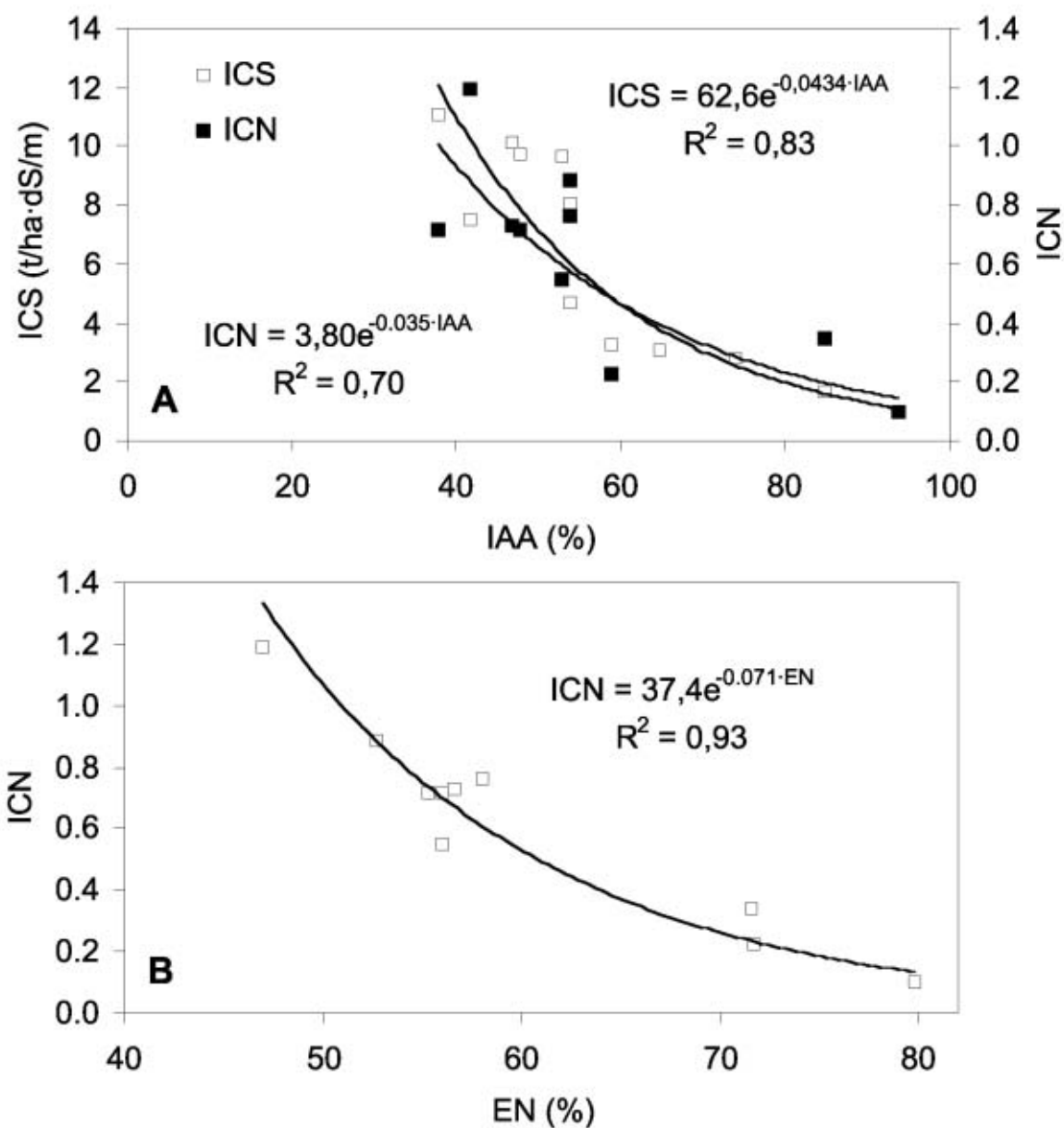


Figura 2. A- Relaciones entre el Índice de Aprovechamiento del Agua (IAA) y los Índices de Contaminación Salina (ICS) y por Nitratos (ICN). B- Relación entre la Eficiencia de aplicación de Nitrógeno (EN) y el Índice de Contaminación por Nitrato (ICN).
 Figure 2. A- Relationship between Water Use Index (WUI) and Salt and Nitrate Contamination Indices (SCI and NCI). B - Relationship between nitrogen efficiency (NE) and the Nitrate Contamination Index (NCI).

No obstante, la relación entre el IAA y el ICS ($R^2= 0,83$) es sensiblemente mejor que la relación entre el IAA e ICN ($R^2= 0,70$) poniendo de manifiesto que en el caso del nitrato no solo es necesario un uso apropiado del agua si no que también es necesario un manejo adecuado de la fertilización nitrogenada. Prueba de ello es la buena relación existente entre la eficiencia de aplicación del nitrógeno ($EN=$ Necesidades de Fertilización entre el Nitrógeno Aplicado) y el ICN ($R^2= 0,93$).

En base a las relaciones anteriores (Fig. 2), si se marcara un valor objetivo para los regadíos de $ICS < 2$ t/ha-año/dS/m e $ICN < 0,2$ estaríamos asegurando un aprovechamiento del agua y del nitrógeno aplicado en la fertilización superior al 80%.

La tabla 1 presenta una síntesis de los resultados medios anuales de estudios de regadíos de la cuenca del Ebro (Tedeschi et al., 2001; Lasanta et al., 2002; Cavero et al., 2003; Causapé et al., 2004a-b; Isidoro et al., 2006a-b) agrupados en tres grandes áreas regables (Bardenas I, Monegros I, Monegros II). Destaca como modernos y bien gestionados rega-

díos del Ebro ($IAA_{Monegros II} = 90\%$) con abundantes sales en el subsuelo ($CE_{NR} = 8,4$ ds/m), presentan un ICS 67% inferior a regadíos no salinos mal gestionados ($IAA_{Bardenas I} = 52\%$), a pesar de que exportan un 71% más de sales. Así, el ICS permite una mayor masa de sales exportada a los regadíos que por sus condiciones naturales son más salinos.

En el caso de los regadíos estudiados en Bardenas I donde las sales exportadas proceden casi exclusivamente del agua de riego, mejorando sensiblemente el aprovechamiento del agua (IAA del 52 al 90%) se podría prácticamente duplicar la CE_{NR} (de 0,85 a 1,7 dS/m) disminuyendo a la mitad la masa de sales exportada (de 4 a 2 t/ha-año) y con ello minimizar el ICS (de 4,8 a 1,2 t/ha-año/dS/m) hasta valores del mismo orden al obtenido en los modernos regadíos bien gestionados pero con muchas sales en el subsuelo como Monegros II.

En el ICN, las necesidades de fertilización juegan un papel similar al de la CE_{NR} en el ICS como demuestra el hecho de que los regadíos de Bardenas I presenten un ICN superior

Tabla 1. Índice de Aprovechamiento de Agua (IAA), Conductividad Eléctrica del drenaje en época de no riego (CE_{NR}), Masa anual de sales exportada en el drenaje (D_s), Índice de Contaminación por Sales (ICS), Necesidades de Fertilización (NF), Masa anual de nitrato exportada en el drenaje (D_N) e Índice de Contaminación por Nitratos (ICN) para regadíos estudiados en Bardenas I, Monegros I y Monegros II (Tedeschi et al., 2001; Lasanta et al., 2002; Cavero et al., 2003; Causapé et al., 2004a-b; Isidoro et al., 2006a-b).

Table 1. Water Use Index (WUI), Electric Conductivity of drainage in non-irrigation period (ECNI), annual mass of salts exported in the drainage (D_s), Salt Contamination Index (SCI), Fertilization Needs (FN), annual mass of nitrate exported in the drainage (D_N) and Nitrate Contamination Index (NCI) for irrigation districts studied in Bardenas I (Lasanta et al., 2002; Causapé et al., 2004a-b), Monegros I (Isidoro et al., 2006a-b) and Monegros II (Tedeschi et al., 2001; Cavero et al., 2003).

	IAA %	CE_{NR} dS/m	D_s t/ha-año	ICS t/ha-año/dS/m	NF Kg N/ha-año	D_N Kg N-NO ₃ ⁻ /ha-año	ICN
Bardenas I	52	0,85	4	4,8	146	108	0,74
Monegros I	48	1,78	20	11,4	155	111	0,71
Monegros II	90	8,40	14	1,6	145	31	0,22

(0,74) al de los de Monegros I (0,71) a pesar de exportar una menor masa de nitrato en el drenaje (108 frente a 111 Kg N-NO₃/ha·año).

Sin embargo, ante la casi igualdad de necesidades de fertilización en los tres regadíos (tabla 1), el ICN de Monegros II es un 70% inferior al de Bardenas I y Monegros I donde las soluciones a sus problemas agroambientales pasan por un manejo más adecuado del riego y de la fertilización nitrogenada que minimice la masa de nitrato exportada.

El cálculo de estos índices en base a masas de contaminantes exportadas por unidad de superficie permite establecer comparaciones entre regadíos de diferente tamaño. No obstante, la escala de trabajo puede influir en los resultados obtenidos ya que a mayor tamaño se multiplican las posibilidades de reutilización del agua dentro del sistema evaluado con el consiguiente incremento del IAA y disminución de ICS e ICN.

En definitiva, estos índices son más permisivos con aquellos regadíos desfavorecidos, es decir, geológicamente más salinos y en los que se desarrollen cultivos con mayores necesidades de fertilización y por tanto con mayores riesgos "naturales" para el lavado de sales y nitrato. No obstante, para todos los regadíos exigen una buena gestión que se puede conseguir a través del adecuado manejo agronómico a nivel de parcela y/o a través de la adecuada gestión a nivel de distrito de riego.

Conclusiones

EMR constituye una herramienta de fácil manejo para la evaluación agroambiental de regadíos avalada por los resultados obtenidos en proyectos de investigación basados en la misma metodología. La unificación metodológica incorporada en EMR para la evaluación agroambiental de regadíos permitirá comparar la calidad del riego e impac-

to agroambiental de una amplia variedad de regadíos. La posibilidad de uso a distintas escalas y con una disponibilidad de datos mínima, facilitará su uso sistemático por técnicos encargados de la gestión del agua.

Los indicadores agroambientales propuestos para la contaminación por sales (ICS) y nitrato (ICN) están relacionados con el aprovechamiento del agua y del nitrógeno aportado en la fertilización, factores clave para minimizar el impacto ambiental del regadío. De tal forma, que si un regadío presenta índices de contaminación por sales y nitrato inferiores a 2 t/ha·año/dS/m y 0,2 respectivamente, sería indicativo de que el regadío aprovecha más del 80% de los recursos hídricos (riego y precipitación) y del nitrógeno aportado en la fertilización.

El hecho de que ICS e ICN estén basados en la masa unitaria de contaminantes exportada corregida por factores representativos de sus condiciones "naturales y socioeconómicas" provoca que estos índices sean más permisivos con los regadíos más desfavorecidos, lo que no impide, que exijan por igual la adecuada gestión de todos los regadíos.

En definitiva, el Evaluador Medioambiental de Regadíos (EMR) distribuido gratuitamente (<http://acebo.pntic.mec.es/jcav0026/investigacion/EMR.htm>), se presenta como una herramienta sencilla y eficaz al servicio de la vigilancia agroambiental de regadíos. Los índices que calcula podrían ser incorporados a la legislación vigente imponiendo la consecución de valores objetivo que conduzcan hacia sistemas agrarios más eficientes y respetuosos con el medio ambiente.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido posible gracias a la financiación de Confederación Hidrográfica del Ebro y del Ministerio de Educación y

Ciencia dentro del marco del proyecto AGL2005-07161-C05-01/AGR, titulado: Red de cuencas experimentales agrarias para la investigación de la contaminación difusa del regadío. Red CCoR. Un especial agradecimiento a Sergio Pérez, responsable informático de EMR, y a Ignacio Clavería, ingeniero agrícola "probador" de la aplicación informática.

Referencias

- Allen R, Pereira L, Raes D, Smith M, 1998. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper nº 56. FAO. Roma (Italia). 300 pp.
- Causapé J, Quílez D, Aragüés R, 2004a. Assessment of irrigation and environmental quality at the hydrological basin level. I: Irrigation quality. *Agricultural Water Management*. 70: 195-209.
- Causapé J, Quílez D, Aragüés R, 2004b. Assessment of irrigation and environmental quality at the hydrological basin level. II: salt and nitrate loads in irrigation return flows. *Agricultural Water Management*. 70: 211-218.
- Causapé J, Quílez D, Aragüés R, 2006. Irrigation efficiency and quality of irrigation return flows in the Ebro River Basin: An overview. *Environmental Monitoring and Assessment*. 117: 451-461.
- Causapé J, Pérez S, 2007. Evaluador Medioambiental de Regadíos. EMR 1.0. Manual de Usuarios. Depósito Legal: Z-2312-2007. ISBN: 978-84-690-6960-8. 26 pp. Disponible en: <http://acebo.pntic.mec.es/jcav0026/investigacion/EMR.htm>
- Cavero J, Beltrán A, Aragüés R, 2003. Nitrate exported in the drainage water of two sprinkler irrigated watershed. *J. Environmental Quality* 32: 916-926.
- European Union, 1991. Council Directive 91/676/EEC of 12 December 1991 concerning the protection of waters against pollution caused by nitrates from agricultural sources. *Official Journal L* 375, 31/12/1991: 1-8.
- European Union, 1998. Council Directive 98/83/CE of 3 November 1998 imposed to the surface waters devoted to the production of water for human consumption. *Official Journal L* 330, 5/12/1998. 32-54.
- European Union, 2000. Directive 2000/60 of the European Parliament and of the Council establishing a framework for community action in the field of water pollution. *Official Journal L* 327, 22/12/2000. 1-72.
- European Union, 2006. Directive 2006/118/EC of the European Parliament and of the Council of 12 December 2006 on the protection of groundwater against pollution and deterioration. *Official Journal L* 372/19, 27/12/2006. 19-31.
- Isaaks E, Srivastava RM, 1989. An introduction to applied geostatistics. Oxford University, Nueva York, 561 pp.
- Isidoro D, Quílez D, Aragüés R, 2006a. Environmental Impact of Irrigation in La Violada District (Spain): I. Salt Export Patterns. *Journal Environmental Quality* 35: 766-775.
- Isidoro D, Quílez D, Aragüés R, 2006b. Environmental Impact of Irrigation in La Violada District (Spain): II. Nitrogen Fertilization and Nitrate Export Patterns in Drainage Water. *Journal Environmental Quality* 35: 776-785.
- Lasanta T, Mosch W, Pérez-Rontomé MC, Navas A, Machín J, Maestro M, 2002. Effects of irrigation on water salinization in semi-arid environments. a case study in Las Bardenas, Central Ebro Depression, Spain. *Environmental change and water sustainability*. García-Ruiz JM, Jones A, Arnáez J, Eds. Instituto Pirenaico de Ecología. 198-218.
- Orús F, Sin E, 2006. El balance del nitrógeno en la agricultura. Capítulo 1 en Fertilización Nitrogenada. Guía de actualización. *Informaciones Técnicas*. Centro de Transferencia Agroalimentaria. Ed. Gobierno de Aragón. 196 pp.
- Salvador R, 2003. Estudio de las pérdidas por evaporación y arrastre en los sistemas de riego por aspersión: Diferencias entre riegos diurnos

nos y nocturnos. Proyecto fin de carrera de Ingeniería Agrónoma. Universidad de Lérida, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agraria. Departamento de Medio Ambiente y Ciencias del Suelo. 206 pp.

Tedeschi A, Beltrán A, Aragüés R, 2001. Irrigation management and Hydrosalinity balance in a semi-arid area of the middle Ebro River Basin (Spain). *Agricultural Water Management*. 49: 31-50.

(Aceptado para publicación el 18 de abril de 2008)

Comparación del crecimiento y la canal de diferentes tipos genéticos de pollos criados en régimen semiextensivo en la provincia de Soria

José Ángel Miguel*, Jesús Ciria*, Begoña Asenjo*, José Luis Calvo*, Alicia Gómara*, Amadeu Francesch**

* Área de Producción Animal. E.U. de Ingenierías Agrarias de Soria (Universidad de Valladolid). Campus Universitario. 42004 Soria

** IRTA - Centro Mas Bove – Unitat de Genética Avícola. 43280 Reus. Tarragona

Resumen

Desde el Área de Producción Animal de la E.U. de Ingenierías Agrarias de Soria (Universidad de Valladolid), se han realizado tres ensayos con el fin de encontrar un tipo genético de pollo para la producción en condiciones semiextensivas en la provincia de Soria. En el primer ensayo se utilizaron machos de dos razas autóctonas catalanas (Penedesenca Negra y Empordanesa Roja) y de la línea semipesada SASSO L-451N, siendo la Penedesenca Negra, tanto por su mayor aceptación entre un grupo potencial de consumidores no entrenados (restauradores, amas de casa, ...), como por sus características productivas, la raza elegida. Dado que se pretendía contar con una base genética autóctona de la zona, en el segundo estudio se caracterizaron los crecimientos y características de la canal de ambos sexos de la raza Penedesenca Negra, la Castellana Negra y el cruce de ambas (tipo CASPEN), y dadas las buenas características de los machos de este último tipo en su cría en libertad, en el tercer ensayo se trabajó con machos de la Castellana Negra, el tipo CASPEN y la línea SASSO L-451N, para su comparación en cría intensiva y semiextensiva. Se encontró en el cruce de gallos mejorados de Penedesenca Negra con gallinas de raza Castellana Negra, un tipo genético que tanto por su crecimiento como por las características de la canal, se considera idóneo para su cría en libertad y la producción alternativa de pollo en Soria.

Palabras clave: Aviculturas alternativas, producciones de calidad, Castellana Negra, Penedesenca Negra, Empordanesa Roja, SASSO.

Summary

Poultry genetic type's growth and carcass comparison for semiextensive housing systems in the region of Soria (Spain)

Three experiences have been carried out so as to find a genetic type of chicken which could be produced in extensive situations in the province of Soria. In the first test males from the two indigenous Catalan breeds (Penedesenca Negra and Empordanesa Roja) and the semi-heavy SASSO L-451N line were used; of these, the Penedesenca Negra was chosen, due to its greater acceptance among non-trained consumers (restaurant personnel, housewives,...) and its productive characteristics. Given that we hoped to comprise an indigenous genetic base from the area, in the second study the growth and carcass characteristics for both sexes of the Penedesenca Negra breed, the Castellana Negra, and the cross of both of these (CASPEN type) were distinguished. And given that the males of this last type demonstrated such good characteristics when raised in extensive housing systems, in the third test we worked with males from the Castellana Negra breed, the CASPEN line and the SASSO L-451N lines, so as to compare them being raised through open range husbandry or in intensive housing systems. It was found that Penedesenca cocks improved by crossing them with hens from the Castellana Negra

breed proved to be an ideal genetic type, due to both their growth and to the characteristics of their carcass, to be raised through open range husbandry and as an alternative for chicken production in the climactic conditions of Soria.

Key words: Alternative aviculture, quality production, Castellana Negra, Penedesenca Negra, Empordanesa Roja, SASSO.

Introducción

A nivel mundial, en 2003 se produjeron 72,2 millones de toneladas de carne de ave, lo que representa el 29,72 por 100 de la carne total. El consumo de carne total en el mundo es de 35,9 kg/habitante y año, correspondiendo a carne de aves 9,9 kg, con grandes diferencias entre áreas geográficas, pues en Norteamérica se alcanzan 43,9 kg y en África solamente 3,5 kg. En la Unión Europea la producción es de 8,4 millones de toneladas y el consumo de 19,5 kg, correspondiendo en su mayoría a pollo broiler.

Al principio de los años 60 tuvo lugar en España la entrada de las estirpes de pollo de carne (broiler) y el desarrollo de las explotaciones industriales. Desde este momento, la cría en confinamiento es aceptada por los avicultores y no se plantea la existencia de parques en las granjas de cebo, incrementándose progresivamente el consumo de carne hasta alcanzar las cifras actuales de 20 kg/habitante y año.

Diversos autores han denunciado desde hace tiempo, un cierto cansancio de los consumidores hacia la carne de pollo industrial, que en numerosas ocasiones, se exterioriza en los medios de comunicación mediante críticas a los métodos de producción utilizados (García Martín, 1995; Lleonart et al., 1984; Cepero et al., 1998). Las críticas que se vierten sobre el pollo broiler señalan su supuesta "artificialidad". La temprana edad a la que se sacrifican implica un "bouquet"

insípido o, incluso poco agradable en ocasiones (Cepero et al., 1989).

A esto se une el que los ganaderos vienen padeciendo las consecuencias de la caída de precios en los mercados, lo que hace pensar a muchos de ellos en un cambio de orientación de sus explotaciones en busca de una alternativa a la avicultura industrial (García Martín, 1998). Además, la situación económica de relativa estabilidad en Europa y los mayores ingresos de buena parte de la población, han provocado que el consumidor sea más exigente a la hora de elegir los productos que compra, su calidad y atributos preferidos (Bernues y Corcoran, 2000).

Frente a la explotación intensiva de pollos, que cuantitativamente es el sistema más empleado y cuyo objetivo fundamental es obtener los mínimos costes, existe la explotación en libertad que empezó a desarrollarse en Francia en 1965 y posteriormente en otros países, incluido España. El objetivo de estos sistemas de explotación es conseguir un producto con unas características organolépticas diferenciales, aunque lleve consigo unos costes de producción mayores, recibiendo diferentes denominaciones (pollo de corral, pollo campero, pollo label o pollo extensivo). En definitiva, un producto de calidad diferenciada.

Para Groom (1990), los principales factores que influyen en las características de la canal y la carne de pollo se pueden dividir en aquellos ligados al animal (edad de sacrificio, genotipo y sexo) y en otros extrínsecos

a este (alimentación y manejo, tanto durante la cría como las condiciones en que se realice el transporte y el sacrificio).

Según diferentes autores no todos estos factores juegan el mismo papel, así, para Touraille y Ricard (1981), la duración del cebo es el más importante para el sabor de la carne (parece estar relacionado con la proximidad a la madurez sexual). De igual manera opinan Touraille y Ricard (1981) que sitúan la edad de sacrificio óptima a las 12-14 semanas para los pollos label, edad a la que también se observa una mejora para los pollo broiler (Cepero et al., 1989).

Es difícil separar los efectos del distinto genotipo de las aves (diferentes razas) y de la edad de sacrificio, pues casi siempre se han comparado la calidad de la carne de broiler y de pollo label a edades muy distintas. Farmer et al. (1997) comparó animales a similares edades e inferiores a 10-11 semanas, y no encontró apenas diferencias. Las aves de crecimiento rápido acumulan mayor porcentaje de grasa que las de crecimiento lento (Ricard et al., 1993). Ricard et al. (1986) demostraron que las razas de crecimiento lento estaban más adaptadas a dietas de baja energía y alta proteína, y que las de crecimiento rápido producían canales más pesadas y engrasadas con un mejor rendimiento muscular. A causa de un mayor contenido en grasa, la carne de las aves alimentadas con dietas muy energéticas era calificada como más tiernas (Ricard y Touraille, 1988).

La composición corporal diferencia a las estirpes que se utilizan para producir pollo campero que a los broiler de crecimiento rápido, ya que poseen una menor proporción de grasa principalmente en la zona abdominal (15-35% menos) incluso a edades avanzadas (Touraille, 1978; Ricard, 1984). El crecimiento más lento de los label reduce la tendencia a la acumulación de grasa. En Francia se ha trabajado durante

25 años en la mejora genética de estirpes de crecimiento lento para este tipo de producciones, mejorando su rendimiento canal y la relación carne/hueso, así como sus crecimientos de forma moderada (Brackenbury et al., 1989).

El sexo no tiene importancia práctica (Ricard y Touraille, 1988), pues lo normal es criar machos para este tipo de producciones alternativas. En el despiece, las hembras tiene mayor proporción de pechugas, alas y grasa abdominal, aunque menos patas y tarsos, así como de grasa infiltrada (Castelló, 2001). Young et al. (2001), también obtiene que las hembras presentan mayores rendimientos en pechuga que los machos.

La alimentación y el manejo (densidad, acceso a parques al aire libre,...), tienen menos importancia según autores como Coulioli et al. (1994) y Remignon et al. (1995). Así no se ha demostrado ninguna influencia de la proporción de cereales en la ración, que tiende a ser superior en los piensos de pollos label (Fris Jensen, 1997; Haugan et al., 1992). La posibilidad de que los animales accedan a parques exteriores durante la cría, no tiene ningún efecto sobre el sabor de la carne (Hanson et al., 1959; Skaarup, 1983; Deroanne et al., 1983), pero proporciona a los músculos de las extremidades una textura más firme y un color más oscuro (mayor ejercicio e irrigación sanguínea), y la capacidad oxidativa del músculo (Brackenbury et al., 1989). Tampoco ejerce ningún efecto sobre el sabor de la carne la densidad de cría, pero si esta es baja puede prevenir defectos en la canal. El libre acceso a parques empeora los índices de conversión y reduce la proporción de grasa (Bastiaens et al., 1991; Grashorn et al., 1997).

Así en España en los últimos años, se vienen desarrollando sistemas de producción de carne de pollo en régimen semiextensivo, con animales de crecimiento lento y sacrifi-

cios a edades más altas que las utilizadas en avicultura intensiva (Francesch *et al.*, 1995; Muriel *et al.*, 1995; Muriel *et al.*, 1997; Ciria *et al.*, 1999), con el fin de obtener productos de mayor calidad, ya que según varios autores éste es uno de los factores más determinantes en la calidad organoléptica de la carne (Cepero *et al.*, 1994). A veces la base genética en estas producciones son razas autóctonas. Frente a la situación española, observamos cómo en Francia, el progreso de la producción de pollo "label" ha sido espectacular, pues se inició este sistema productivo en los años 60, y actualmente supone más del 12 por 100 de la producción de pollos en ese país. Según el informe anual del sindicato Nacional de lábeles Franceses, (SYNALAF, 2002), se alcanzó en 2001 la cifra de 99,8 millones de pollos, con un incremento del 4 por 100 sobre el año anterior.

También es importante considerar lo apuntado por Campo *et al.* (2002), según el cual en avicultura, la diversidad genética es muy reducida debido a la uniformidad de productos y sistemas de producción, con las aves comerciales procedentes de las mismas poblaciones selectas de unas mismas razas (Cornish, Leghorn, New Hampshire, Plymouth Rock y Wyandotte), y la producción comercial esta controlada por cinco grandes compañías multinacionales (Aviagen, Cobb, Euribri, Lohmann y Merial). Sin embargo, la diversidad de mercados se ha incrementado en los últimos años, proporcionando la posibilidad de preservar la variabilidad genética y conservar razas productivas tradicionales, como alternativa de calidad a los mercados industriales altamente productivos. Sin duda, la mejor manera de contribuir a la conservación de las diferentes razas autóctonas que se encuentran en peligro de desaparición es la de buscarles una producción que haga económicamente rentable su cría.

En este contexto se han realizado una serie de estudios para encontrar un tipo de pollo

diferenciado para la producción en régimen semiextensivo en la provincia de Soria. En el presente trabajo presentamos de forma conjunta los resultados obtenidos referentes a los crecimientos, características de la canal y aceptación de los diferentes tipos genéticos estudiados, comparando como se comportan dos razas autóctonas catalanas (Penedesenca Negra y Empordanesa Roja), la raza Castellana Negra y el SASSO de cuello pelado cuando se crían en libertad y en cautividad.

Material y métodos

Material biológico

Se realizaron tres ensayos, **el primero** con el objetivo de conocer en las condiciones de la región de Soria, el comportamiento de pollos obtenidos de dos razas autóctonas catalanas, el producto final de Penedesenca Negra (PN) (cruce de gallos de la estirpe IRTA-PN con gallinas estirpe IRTA-MN) y producto final de Empordanesa Roja (ER) (cruce de gallos de la estirpe IRTA-PR con gallinas estirpe IRTA-MR) (Francesch *et al.*, 1993), suministradas por la Unidad de Genética Avícola del IRTA, y el producto francés SASSO L-451N (SASSO). Se utilizaron 120 animales machos de cada tipo genético, vacunados contra la enfermedad de Marek, que se dividieron al azar en dos lotes de 60 animales, uno para cría intensiva (en cautividad) y otro, tras 6 semanas en cautividad, con acceso a parque exterior (cría semiextensiva).

En el **segundo ensayo** se planteó la utilización de la raza Castellana Negra (CN) en pureza (para ver cómo mejoraba el producto final) y de un cruce de gallos de la estirpe IRTA-PN (línea padre de Penedesenca Negra) con gallinas Castellana Negra (CAS-PEN) y compararlo con el producto final de Penedesenca Negra, que había mostrado la mayor aceptación en el primer ensayo. Los

pollitos de un día se recibieron sin sexar y vacunados contra la enfermedad de Marek. A las 6 semanas se separaron machos y hembras, quedándonos con 40 hembras y 40 machos CN, 60 hembras y 60 machos CASPEN (CP) y 60 hembras y 60 machos PN, permaneciendo en todos los casos las hembras en cría intensiva (alojamiento en cautividad) y los machos en régimen semiextensivo (posibilidad de salida a parques exteriores).

En el **tercer ensayo**, se pretendió contrastar la raza CN, el CASPEN y el SASSO. Así se utilizaron 90 machos CN, 129 machos del producto francés SASSO L-451N y 90 machos CASPEN, todos ellos vacunados de la enfermedad de Marek. Se dividieron al azar los animales de cada grupo genético en dos lotes con igual número de animales, uno para cría intensiva (cautividad) y otro en semiextensivo (salida a parques exteriores) una vez alcanzadas las 6 semanas de vida.

Manejo general y alimentación

En todos los casos, los animales en intensivo tuvieron una densidad de 5,7 animales/m² y los criados en semiextensivo, esa misma densidad en la zona cubierta y en los par-

ques una densidad aproximada de 1,6 animales/m². La iluminación fue natural y la yacija de viruta de carpintería.

La alimentación fue "ad libitum" con una dieta hasta la sexta semana (23,5% de proteína y 3.100 kcal/kg de EM); y otra hasta el final de cada estudio (20,1% de proteína y 3.200 kcal/kg de EM). Ninguno de los piensos contenía promotores del crecimiento y en ambos casos se equilibraron aminoácidos y se añadió un coccidiostático.

Controles

En el **primer ensayo** se determinó quincenalmente el peso global de los animales e índices de conversión. A las 15 semanas (tras 16 horas de ayuno) se pesaron individualmente todos los animales y se sacrificó una muestra de 10 pollos/grupo, con los que se procedió a evaluar el rendimiento a la canal, considerando porcentaje de canal eviscerada (sin grasa abdominal, intestinos, hígado, bazo, molleja y proventrículo) sobre el peso vivo. Con la canal eviscerada se determinó la composición de la canal, de acuerdo con la metodología de disección expuesta por el Grupo de Trabajo nº5 de la WPSA (1984).

Tabla 1. Número de animales, según sexos y tipo de cría utilizados en los diferentes ensayos.
Table 1. Animals' number, according to sexes and housing's type used in the different trials.

		CN		PN		ER		SASSO		CP	
		S-E	I	S-E	I	S-E	I	S-E	I	S-E	I
1º ensayo	Machos	-	-	60	60	60	60	60	60	-	-
	Hembras	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2º ensayo	Machos	40	-	60	-	-	-	-	-	60	-
	Hembras	-	40	-	60	-	-	-	-	-	60
3º ensayo	Machos	45	45	-	-	-	-	65	65	45	45
	Hembras	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

S-E: cría semiextensiva (posibilidad de salida a parques exteriores); I: cría intensiva (alojamiento en cautividad)
CN: Castellana Negra; PN: Penedesenca Negra; ER: Empordanesa Roja; SASSO: SASSO L-451N de cuello pelado; CP: CASPEN.

Se realizó una valoración de la canal y degustación de la carne, mediante un sondeo con asociaciones representativas del sector de consumidores de la provincia de Soria, utilizando solo pollos de los lotes criados en libertad. Las distintas muestras con igual troceado y cocinado, fueron presentadas de forma anónima. Participaron 20 personas valorando distintos atributos de cada tipo genético: aceptación de la canal, ternura, jugosidad, agrado de sabor y aceptación global. Cada persona valoró cada atributo una sola vez, con una puntuación de 1 (peor) a 3 (mejor).

En el **segundo ensayo**, quincenalmente (y tras 16 horas de ayuno) se determinaba el peso global de los animales y el consumo de pienso de cada grupo. A las 15 semanas se pesaron individualmente todos los animales y se sacrificó una muestra de 10 pollos y 10 pollitas de cada grupo, excepto pollitas de Castellana Negra debido a que no habían alcanzado el peso mínimo que se requiere en los mataderos. Con los animales sacrificados se procedió a evaluar el rendimiento a la canal considerando porcentaje de canal eviscerada (sin grasa abdominal, intestinos, hígado, bazo y proventrículo) sobre peso vivo. Con la canal eviscerada se determinó la composición de la canal, de acuerdo con la metodología de disección descrita por el Grupo de Trabajo nº5 de la WPSA (1984).

En el **tercer ensayo** los controles de peso y consumo de pienso se realizaron a partir de las 8 semanas y posteriormente también cada 2 semanas. Se sacrificaron 10 animales de la raza Castellana Negra a las 20 semanas de vida, otros 10 del tipo CASPEN a las 15 y 20 semanas y 10 del SASSO a las 15 y 20 semanas, con el fin de comparar las características de canal a la misma edad (20 semanas) y con pesos similares (SASSO con 15 y CP con 20 semanas). Se evaluó el rendimiento canal, considerando la canal eviscerada (sin grasa abdominal, intestinos, hígado,

bazo, molleja y proventrículo). Posteriormente se determinó la composición de la canal de acuerdo con la metodología de disección propuesta por el Grupo de Trabajo nº5 de la WPSA (1984).

Análisis estadístico

Los pesos individuales previos al sacrificio y los resultados de la composición de la canal para cada tipo genético y sistema de explotación, se analizaron mediante modelo lineal general de análisis de varianza del programa informático SPSS 10.0 para Windows. Se aceptó un nivel de significación de 0,05 y se utilizó el método de Scheffe para comparar medias.

El modelo matemático utilizado fue:

$$Y_{ijk} = \mu + C_i + R_j + (C^*R)_{ij} + e_{ijk}$$

Y_{ijk} : Observación "k" del sistema de cría "i" de la raza "j"

μ : Media general de las observaciones

C_i : Efecto fijo y cruzado del sistema de cría "i"

R_j : Efecto fijo y cruzado de la raza "j"

$(C^*R)_{ij}$: Interacción entre el sistema de cría y la raza

e_{ijk} : error experimental

En el segundo ensayo se compararon sexos, pero las hembras siempre se criaron en régimen intensivo y los machos en semiextensivo.

Resultados y discusión

Primer ensayo

Como puede observarse de los datos referentes al peso recogidos en la tabla 2, a las 15 semanas el producto SASSO presentó el

mayor peso y menor índice de conversión (siendo mejor en régimen intensivo), seguido con mucha diferencia por el producto ER, y por el PN. Las diferencias en peso entre PN y ER coinciden con las presentadas por Francesch *et al.* (1993 y 1998). Así mismo, los animales PN y SASSO presentaron mejores crecimientos en cría intensiva, no siendo así para los animales ER donde no se observaron diferencias entre sistemas de cría, estos resultados se encuentran en la línea de los presentados por Francesch *et al.* (1998), donde también encontraron un crecimiento ligeramente a favor de los animales PN criados en intensivo y no encontraron diferencias en los ER a las 14 semanas.

Escoda (2004) trabajando con las líneas semipesadas mejoradas de PN y de ER, obtuvo a las 12 semanas pesos de 2.240,40 g y de 2.295,91 g respectivamente, la misma investigadora en un ensayo diferente encontró pesos de 2.033,45 g para PN y de 2.138,18 g para ER, los cuales son similares a los encontrados en este trabajo. Cuando Escoda (2004) trabajo con líneas pesadas de las mismas razas, los resultados fueron muy superiores (2.847,05 y 3.003,48 para PN y ER, respectivamente)

Los menores índices de conversión los presentaron los SASSO, seguidos por los PN y por los ER, siendo menores en semiextensivo que en intensivo (excepto en el SASSO a las 15 semanas), a diferencia de lo observado por Francesch *et al.* (1998) con índices algo mejores en cría intensiva. Escoda (2004) encontró valores inferiores a los nuestros a las 12 semanas.

En lo que respecta al rendimiento de canal eviscerada, y como se observa en la tabla 3, SASSO y PN no presentaron diferencias significativas, independientemente del tipo del tipo de cría. Los valores observados en PN y ER fueron menores a los observados

por Francesch *et al.* (1993), en cambio los presentados por el SASSO fueron superiores a los obtenidos por Cepero (1998).

En el porcentaje de grasa abdominal se encontraron diferencias entre tipos genéticos y sistemas de cría, siendo significativa la interacción entre ambos factores. Así SASSO y ER no se diferenciaron entre sistemas mientras que PN presentó un mayor engrasamiento en cría intensiva. Esta diferencia entre sistemas observada en el caso de los animales PN coincide con lo encontrado por Francesch *et al.* (1998), quienes también lo observaron en ER y Prat Leonada. Así mismo, Ricard *et al.* (1986) también encontraron mayor engrasamiento en intensivo utilizando tipos genéticos distintos.

Para PN y ER no hubo diferencias en el porcentaje de músculos pectorales diferencias según el sistema de cría, pero si en el caso del SASSO, así este último se diferencia en intensivo del PN y del ER con un mayor porcentaje, lo que no ocurrió en cría semiextensiva, donde no aparecieron diferencias. No obstante, en otros trabajos (Francesch y Pardo, 1995; Francesch *et al.*, 1998) se encontró que PN presentó un mejor rendimiento en pectorales que ER. Por otra parte la ausencia de diferencias entre sistemas de explotación para PN y ER coincide con lo observado por Francesch *et al.* (1998). Ricard *et al.* (1986) en SASSO obtuvieron mejores rendimientos en semiextensivo que en intensivo.

En el porcentaje de muslos+contramuslos no aparecieron diferencias ni entre sistemas, ni entre tipos genéticos, pero si en la interacción, ya que mientras el tipo SASSO presentó el mejor rendimiento en semiextensivo, PN lo hizo en cría intensiva, aunque ello no contribuyera a hacer significativas las diferencias de las medias generales. El tipo ER presentó el mismo rendimiento en ambos sistemas.

Tabla 2. Pesos e índices de conversión acumulados (IC)
 Table 2. *Weights and cumulated conversion indexes (IC)*

Edad (sem)	PN			ER			SASSO					
	Intensivo		Semiextensivo	Intensivo		Semiextensivo	Intensivo		Semiextensivo			
	Peso (g)	IC	Peso (g)	IC	Peso (g)	IC	Peso (g)	IC	Peso (g)	IC		
4	344	2,5	352	2,4	362	2,5	363	2,6	447	2,4	431	2,3
8	1.155	3,2	1.167	3,1	1.197	3,8	1.140	3,7	1.557	2,9	1.488	2,8
12	2.068	4,1	1.995	3,7	2.159	4,9	2.133	4,2	2.903	3,4	2.815	3,3
15	2.421d	4,7	2.204 e	4,4	2.536 c	5,6	2.513 c	4,7	3.653 a	3,8	3.386 b	3,8
e.e.	23,2		25,6		30,8		27,6		34,7		41,1	

* Letras diferentes en la misma fila indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

PN: Penedesenca negra; ER: Empordanesa Roja; SASSO: SASSO L-451N de cuello pelado.

Tabla 3. Valores de rendimientos a la canal
 Table 3. *Values of productivity in the carcass*

	Semiextensivo			Intensivo			e.e.				
	PN		SASSO	ER		SASSO					
	Peso (g)	IC	Peso (g)	IC	Peso (g)	IC					
Canal eviscerada ₁ (%)	77,09 a		73,61 b		75,64 a		79,11 c		77,36 a		0,63
Grasa abdominal ₁ (%)	1,25 d		2,13 bc		3,30 ab		2,61 b		5,03 ac		0,38
Pect. totales ₂ (%)	15,84 ab		15,74 ab		15,50 b		15,25 b		18,52 c		0,41
Muslo+contram. ₂ (%)	29,47 bc		30,38 ab		30,47 a		30,39 ab		29,59 b		0,30
Alas ₂ (%)	10,33		10,51		10,29		10,51		10,11		0,12
Partes nobles ₂ (%)	55,64 b		56,64 b		56,26 b		56,16 b		58,22 a		0,47

1. expresado sobre peso vivo.

2. expresado sobre peso canal eviscerada.

* Letras diferentes en la misma fila indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

PN: Penedesenca negra; ER: Empordanesa Roja; SASSO: SASSO L-451N de cuello pelado.

El rendimiento global en partes nobles fue significativamente diferente entre tipos genéticos pero no entre sistemas de cría. El producto SASSO tuvo mayor rendimiento, pero ER y PN no se diferenciaron entre sí, todo ello independientemente de si se criaron los animales en intensivo o en régimen semiextensivo. Francesch *et al.* (1998), tampoco encontraron diferencias entre sistemas, pero sí un mejor rendimiento del ER respecto al PN.

En la tabla 4 se observa que el producto PN resultó ser elegido tanto en características organolépticas como en aceptación de la canal, que a pesar de ser más pequeña que la del SASSO, por su conformación, color de piel y pata, recordaba los pollos de antaño criados en los pueblos de Soria.

Como conclusión a este primer ensayo se obtuvo que el producto final mejorado por el IRTA (Francesch *et al.*, 1993) de la raza Penedesenca Negra fue el mejor valorado por el equipo investigador ponderando rendimientos productivos con la aceptación en restauración, como punto de partida para encontrar un pollo campero bien adaptado para la cría semiextensiva en la provincia de Soria. Por su similitud morfológica con la raza Castellana Negra (tradicionalmente huevera) y como forma de darle a esta última raza una posible vía de escape a la extinción, se planteó un cruce entre ambas razas: gallos de la línea padre de Penedesenca Negra mejorada por el IRTA y gallinas de raza Castellana Negra (CASPEN).

Tabla 4. Medias \pm error estándar de la valoración subjetiva de distintos atributos de la carne
Table 4. Measurements \pm standard error of the subjective evaluation of different attributes of the meat

	PN	ER	SASSO
Aceptación canal	2,64 \pm 0,14	1,64 \pm 0,20	1,76 \pm 0,16
Terneza	2,35 \pm 0,16	2,35 \pm 0,16	1,40 \pm 0,13
Jugosidad	1,95 \pm 0,17	2,63 \pm 0,13	1,52 \pm 0,15
Agrado sabor	2,21 \pm 0,19	2,36 \pm 0,15	1,60 \pm 0,15
Apreciación global	2,39 \pm 0,18	2,11 \pm 0,19	1,61 \pm 0,16

PN: Penedesenca negra; ER: Empordanesa Roja; SASSO: SASSO L-451N de cuello pelado.
Puntuación: 1 (peor) a 3 (mejor).

Segundo ensayo

Se compara aquí el crecimiento y características de la canal del CASPEN (CP), con el producto mejorado de Penedesenca Negra (PN) y con la Castellana Negra (CN).

En lo que hace referencia a los datos recogidos en la tabla 5 se observa que tanto los machos como las hembras CN presentaron menor peso y mejores índices de conversión a lo largo de toda la crianza que CP y PN. Sin

embargo, CP y PN se comportaron de forma similar aunque con un crecimiento ligeramente superior para CP hasta las 12 semanas, pero a las 15 semanas los machos PN fueron significativamente más pesados que los CP. Los resultados obtenidos para PN fueron inferiores a los presentados por Escoda (2004) en dos ensayos trabajando con líneas semipesadas mejoradas, las cuales a las 12 semanas obtienen pesos de 2.244,40 g y 2.033,45 g, respectivamente.

Tabla 5. Peso medio vivo (g) e Índices de Conversión acumulados bisemanalmente (IC)
 Table 5. Average live weight (g) and Conversion Indexes cumulated biweekly (IC)

Edad (sem)	CN			CP			PN		
	Pesos		IC	Pesos		IC	Pesos		IC
	h	m	h	h	m	h	h	m	m
8	553	605	4,5	821	1.022	3,6	750	992	3,7
10	696	791	5,0	1.104	1.411	3,9	976	1.394	4,1
12	863	1.137	5,5	1.312	1.867	4,2	1.261	1.806	4,3
14	1.007	1.347	5,8	1.485	2.138	4,5	1.429	2.213	4,7
15	1.072,3	1.479,6	5,7	1.529,5	2.261,6	5,0	1.558,9	2.370,5	4,7
e.e.	11,8	17,2		21,4	26,6		32,2	35,3	

Letras diferentes en la misma fila indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

CN: Castellana Negra; CP: Penedesenca Negra x Castellana Negra, PN: Penedesenca Negra; m: machos en libertad; h: hembras en cautividad.

Tabla 6. Promedios \pm error standard medio de rendimientos a la canal
 Table 6. Productivity averages \pm standard error for the carcass

	Machos			Hembras			Nivel de significación Sexo Grupo SxG (S) (G)
	CN	CP	PN	CN	CP	PN	
Canal eviscerada ₁	71,62 a	74,18 d	73,64 dc	70,46 a	75,92 b	72,09 ac	* *
Grasa abdominal ₁	1,64 a	2,39 b	4,17 c	1,09 a	3,39 b	3,91 c	* NS
Pectorales totales ₂	17,09 a	18,10 b	17,36 a	18,03 b	21,44 c	19,27 d	** * NS
Muslo+Contramuslo ₂	29,85 a	31,05 b	30,45 c	28,09 a	29,96 d	29,23 c	* * NS
Alas ₂	10,83 a	9,96 b	10,45 a	9,27 a	10,45 c	11,18 d	* * NS
Partes nobles ₂	57,57 a	59,11 b	58,17 a	55,39 a	61,86 c	59,69 d	** * NS

* $p \leq 0,05$ ** $\leq 0,001$. Letras diferentes en la misma fila indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

CN: Castellana Negra; CP: Penedesenca Negra x Castellana Negra, PN: Penedesenca Negra.

1 expresado sobre peso vivo.

2 expresado sobre peso canal eviscerada.

Miguel (2003) trabajando en la mejora genética de animales de raza CN, encontró a las 14 semanas pesos significativamente superiores en machos criados en régimen intensivo (1.574,12 g) y obtuvo pesos de 2.306,25 g para CP a esa misma edad.

Se observa que el rendimiento a la canal eviscerada (tabla 6) de las hembras CP fue mayor que el de las PN, pero no así para los machos. Así mismo, hubo diferencias entre sexos en los animales CP a favor de las hembras pero no las hubo en los PN. El rendimiento de CN quedó claramente por debajo de los otros dos.

En cuanto a la grasa abdominal no se apreciaron diferencias entre sexos, resultados no acordes con lo esperado y alejados de los obtenidos por Francesch *et al.* (1993) para los animales PN aunque hay que tener en cuenta que se realizó cría diferente entre sexos (machos en semiextensivo y hembras en intensivo). PN presentó más grasa abdominal que CP y esta a su vez que CN. El grupo PN presentó un porcentaje de grasa abdominal muy elevado en relación a trabajos realizados con anterioridad por este equipo investigador (primer ensayo) y Francesch *et al.* (1993). Escoda (2004) obtuvo valores sensiblemente inferiores en machos PN mejorados de líneas tanto tradicionales como semipesados y pesadas a edades similares. También Miguel (2003) encontró valores inferiores para CN y CP a las 18 semanas.

El porcentaje de músculos pectorales presentó diferencias significativas entre sexos, siendo mayor, como es habitual, el porcentaje en las hembras. También fueron significativas las diferencias entre razas, siendo mayor en CP seguido de PN y CN. En el porcentaje de muslos+contramuslos hubo diferencias entre sexos y entre grupos, las hembras presentaron menor porcentaje que los machos que los machos y el grupo CP mayor que PN. El grupo de animales CN es el que presentó menor porcentaje. En el porcentaje de alas

también aparecieron diferencias entre sexos y entre grupos. El porcentaje fue mayor en hembras. En este caso el grupo que presentó menor rendimiento fue el CP y no se diferenciaron los machos PN y CN.

Se obtuvieron así, en el caso del CP, unos animales de crecimiento en la línea de los PN y con un alto rendimiento en partes nobles, lo que podría hacerlos adecuados para su cría en explotaciones semiextensivas. Nos planteamos ahora la necesidad de compararlos con otros tipos genéticos más utilizados en este tipo de explotaciones, como es el SASSO de cuello pelado, en este caso solo se utilizarían machos, comparando su cría en intensivo y en semiextensivo.

Tercer ensayo

En la tabla 7 se observa el mayor peso del SASSO, seguido de CP y de CN, animal de la raza autóctona no mejorada. El análisis estadístico reveló que existieron diferencias significativas de peso entre grupos genéticos, pero no entre sistemas de cría, esto no ocurrió en crías realizadas desde los meses de Febrero a Junio por este equipo investigador (primer ensayo) trabajando con animales machos SASSO L-451N (de cuello pelado), Empordanesa Roja mejorada y Penedesenca Negra producto final, donde se observaron diferencias significativas entre grupos genéticos y también entre sistemas de cría a las 15 semanas para los SASSO y Penedesenca Negra, pero no para los animales mejorados de Empordanesa Roja.

Los pesos alcanzados por los animales CN y CP hasta las 15 semanas fueron superiores a los observados para animales criados en régimen semiextensivo por este equipo (segundo ensayo) en crías realizadas durante el otoño e invierno.

Los pesos obtenidos para CP fueron similares a los encontrados por Miguel (2003) a las 16

Tabla 7. Peso vivo medio (g), Índices de Conversión acumulados (IC) y Desviaciones estándar a las 15 y 20 semanas de vida
 Table 7. Average live weight (g), cumulated Conversion Indexes (IC) and Standard deviation at 15 and 20 weeks of age

EDAD (sem)	CN			CP			SASSO					
	Intensivo Pesos	IC	Semiextensivo Pesos	IC	Intensivo Pesos	IC	Semiextensivo Pesos	IC	Intensivo Pesos	IC	Semiextensivo Pesos	IC
8	634	2,9	551	3,6	985	2,6	867	3,0	1.169	2,4	1.191	2,5
12	1.240	3,7	1.197	3,7	1.727	3,5	1.633	3,5	2.147	3,0	2.197	3,2
15	1.628a	4,2	1.599a	4,8	2.255b	4,1	2.172b	4,0	2.830c	3,3	2.762c	3,5
e.e.	±25,4		±19,2		±13,9		±7,1		±45,6		±45,9	
16	1.649	5,0	1.624	4,8	2.302	4,2	2.239	4,3	2.961	3,9	2.866	4,0
20	2.012a	5,1	2.012a	4,9	2.631b	5,2	2.672b	4,7	3.474c	4,2	3.333c	4,5
e.e.	±29,2		±24,6		±24,8		±24,5		±48,1		±49,3	

Letras diferentes en una misma fila indican diferencias significativas ($P < 0,05$).

CN: Castellana Negra; CP: Penedesca Negra x Castellana Negra, SASSO: SASSO L-451N de cuello pelado.

Tabla 8. Rendimiento a la canal a las 20 semanas
 Table 8. Productivity of the carcass at 20 weeks

	CN			CP			SASSO		
	Intensivo Peso (g)	Semiextensivo Peso (g)	%	Intensivo Peso (g)	Semiextensivo Peso (g)	%	Intensivo Peso (g)	Semiextensivo Peso (g)	%
Peso Vivo	1.942,0 a ±152,7	2.005,8 a ±203,8		2.692,4 b ±202,6	2.674,6 b ±183,8		3.409,2 c ±285,2	3.387,0 c ±413,3	
Peso Canal	1.704,4 a ±131,9	1.741,0 a ±180,4		2.383,8 b ±185,9	2.380,2 b ±196,8		3.042,4 c ±291,8	3.015,9 c ±349,0	
Rto. Canal ₁	-	-	87,7	-	-	88,5	-	-	89,0
Canal	1.531,6 a ±138,0	1.525,1 a ±124,5	78,8	2.105,3 b ±142,5	2.106,2 b ±180,8	78,1	2.752,9 c ±263,3	2.758,0 c ±327,2	81,4
Eviscerada ₂	14,4 a ±10,2	12,2 b ±6,2	0,7	42,6 c ±24,6	34,6 d ±21,8	1,5	83,9 e ±55,5	45,8 f ±18,2	1,3
Abdominal ₂	268,7 a ±58,5	254,5 a ±26,6	17,5	353,9 b ±26,8	380,6 b ±34,9	16,8	514,1 c ±40,1	520,6 c ±69,0	18,8
Pectorales ₁	445,6 a ±41,5	455,6 a ±52,6	29,1	642,9 b ±45,2	658,7 b ±63,5	30,5	909,7 c ±130,7	885,6 c ±112,7	32,1
Muslo + Contramuslo ₁	145,7 a ±25,7	143,1 a ±18,7	9,5	204,8 b ±14,5	204,7 b ±19,5	9,7	283,2 c ±15,6	271,7 c ±24,2	9,8
Partes Nobles ₁	860,1 a ±58,8	854,2 a ±56,5	56,8	1.200,6 b ±57,0	1.244,2 b ±59,0	57,0	1.707,0 c ±62,0	1.677,9 c ±60,8	60,8

Letras diferentes en la misma fila indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$).
 CN: Castellana Negra; CP: Penedesca Negra x Castellana Negra; SASSO: SASSO L-451N de cuello pelado.
 1 expresado sobre peso vivo.
 2 expresado sobre peso canal eviscerada.

semanas (2.391,53 g), aunque los encontrados para CN han sido sensiblemente inferiores que los encontrados por aquel (1.715,69 g). El mismo autor obtuvo valores de 2.211,79 g para machos de CN criados en cautividad a las 20 semanas, en un trabajo de mejora genética de la raza.

Los mejores IC los presentaron los animales SASSO seguidos de CP y CN. En el caso del SASSO estos fueron similares en los animales criados en intensivo y en semiextensivo, algo ya observado en el primer ensayo. Los pesos obtenidos a las 12 semanas en el SASSO fueron muy parecidos a los citados por Cepero (1998) al igual que los IC.

Comparando los resultados obtenidos con los de un pollo broiler (García Martín, 1998), vemos que este alcanza un peso comercial de

2-2,5 kg a las 6,5 semanas, peso que no logró CN hasta las 20 semanas y CP hasta las 15. Según bibliografía consultada, el mayor tiempo de crianza es uno de los factores fundamentales que le confieren a este tipo de carne unas características especiales y la hacen tan apreciada por parte del consumidor.

En los datos recogidos en la tabla 8 se observa que el peso de la canal y el rendimiento a la canal a las 20 semanas de los animales SASSO fueron superiores a los observados en animales CP y estos a los CN. En ningún caso hubo diferencias significativas respecto al sistema de cría. Estos resultados están dentro de lo esperado si consideramos que el peso vivo de los animales ya era significativamente diferente en unos y otros animales. Lo mismo ocurre entre los animales CP y

Tabla 9. Rendimiento a la canal a las 15 semanas
Table 9. Productivity of the carcass at 15 weeks

	CP				SASSO			
	Intensivo		Semiextensivo		Intensivo		Semiextensivo	
	Peso (g)	%	Peso (g)	%	Peso (g)	%	Peso (g)	%
Peso Vivo	2.261,2 a ±94,4	-	2.209,0 a ±250,5	-	2.673,8 b ±399,9	-	2.736,0 b ±289,6	-
Peso Canal	1.986,0 a ±92,2	-	1.915,1 a ±228,8	-	2.352,1 b ±348,9	-	2.412,9 b ±254,6	-
Rto. Canal ₁	-	87,8	-	86,7	-	87,9	-	88,29
Canal Eviscerada ₂	1.738,7 a ±101,3	76,9	1.669,2 a ±202,8	75,5	2.162,4 b ±268,2	80,8	2.158,3 b ±221,9	78,8
Grasa Abdominal ₂	34,5 a ±14,0	1,5	47,5 a ±20,7	2,1	53,6 b ±29,1	2,0	65,2 b ±22,1	2,3
Pectorales ₁	309,7 a ±32,5	17,8	298,1 a ±56,6	17,8	407,5 a ±72,4	18,8	361,1 a ±107,7	16,7
Muslo + Contramuslo ₁	529,5 a ±31,1	30,4	526,5 a ±90,3	31,5	667,7 b ±102,7	30,8	672,6 b ±74,6	31,1
Alas ₁	180,0 a ±13,1	10,3	181,4 a ±22,7	10,8	226,3 b ±22,2	10,4	230,3 b ±17,9	10,6
Partes Nobles ₁	1.019,4 a	58,6	1.006,0 a	60,2	1.301,6 b	60,2	1.264,2 b	58,5

Letras diferentes en la misma fila indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$).

CP: Penedesenca Negra x Castellana Negra; SASSO: SASSO L-451N de cuello pelado.

1 expresado sobre peso vivo.

2 expresado sobre peso canal eviscerada.

SASSO a las 15 semanas (tabla 9). Si se comparan estos a similares pesos (tabla 10), no se encuentran diferencias.

La grasa abdominal acumulada por los SASSO fue significativamente superior a la de los pollos de CP y CN, siendo mayor en todos los casos en los animales criados en intensivo, situación esperada, dado el menor consumo energético de los animales criados en cautividad. Estos resultados han sido inferiores a los encontrados en el segundo ensayo en animales de los mismos tipos genéticos pero sacrificados a las 15 semanas de vida, aunque si son más acordes con los del primer ensayo y los de Francesch *et al.* (1993) en pollos de Penedesenca Negra a las 15 semanas. Así mismo podemos observar que

estos datos, en el caso del cruce, son similares a los encontrados por Cepero *et al.* (1998) en pollos broilers sacrificados a las 8 semanas, pero muy inferiores a los que se encuentran a mayores edades de sacrificio. También Muriel *et al.* (1997) encontraron resultados similares para animales criados en régimen semiextensivo y sacrificados a los 89 días y Cubiló *et al.* (1999) con animales de la raza Penedesenca Negra sacrificados a las 28 semanas, encuentran contenidos de grasa abdominal del 1,31 por 100.

A las 15 semanas el contenido en grasa abdominal en SASSO ha sido superior a la de CP independientemente del sistema de explotación utilizado, algo que también ocurre si se comparan a pesos similares (tabla 10).

Tabla 10. Rendimiento a la canal con pesos similares
Table 10. Productivity of the carcass with similars weights

	CP 20 semanas				SASSO 15 semanas			
	Intensivo		Semiextensivo		Intensivo		Semiextensivo	
	Peso (g)	%	Peso (g)	%	Peso (g)	%	Peso (g)	%
Peso Vivo	2.692,4 a		2.674,6 a		2.673,8 a	-	2.736,0 a	
	±202,6		±183,8		±399,9		±289,63	-
Peso Canal	2.383,8 a		2.380,2 a		2.352,1 a		2.412,9 a	
	±185,9		±196,8		±348,9	-	±254,6 a	-
Rto. Canal ₁	-	88,5	-	89,0	-	87,9	-	88,2
Canal Eviscerada ₂	2.105,3 a	78,2	2.106,2 a	78,7	2.162,4 a	80,8	2.158,3 a	78,8
	±142,5		±180,8		±268,2		±221,9	
Grasa Abdominal ₂	42,6	1,6	34,6	1,3	53,6	2,0	65,2	2,3
	±24,6 a		±21,8 a		±29,1 b		±22,1 b	
Pectorales ₁	353,9	16,8	380,6	18,1	407,5	18,8	361,2	16,7
	±26,8 a		±34,9 a		±72,4 a		±107,7 a	
Muslo + Contramuslo ₁	642,9	30,5	658,7	31,2	667,7	30,8	672,6	31,1
	±45,2 a		±63,5 a		±102,7 a		±74,7 a	
Alas ₁	204,8	9,7	204,7	9,7	226,3	10,4	230,4	10,6
	±14,5 a		±19,5 a		±22,2 b		±17,9 b	
Partes Nobles ₁	1.200,6 a	57,0	1.244,2 a	59,1	1.301,6 a	60,2	1.264,2 a	58,5

Letras diferentes en la misma fila indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

CP: Penedesenca Negra x Castellana Negra, SASSO: SASSO L-451N de cuello pelado.

1 expresado sobre peso vivo.

2 expresado sobre peso canal eviscerada.

Los porcentajes de partes nobles a las 20 semanas, fueron significativamente superiores en los animales SASSO que en los CP y CN, no siendo en ningún caso significativas las diferencias debidas al tipo de alojamiento. Lo mismo ocurre a las 15 semanas y las diferencias se hacen no significativas para la comparación a pesos similares. Todos estos resultados son similares a los encontrados en el segundo ensayo en el mismo tipo de animales, sacrificados con 15 semanas. Los resultados han sido pectorales son superiores, tanto en CN como en CP a los publicados por Muriel *et al.* (1999) a los 89 días de vida e inferiores los de muslo+contramuslo y alas. Cubiló *et al.* (1999) encontraron rendimientos en pectorales del 14,1% en la raza Penedesenca Negra a las 28 semanas.

Miguel (2003) encontró para CN a las 18 semanas, rendimientos de 31,95% para muslo+contramuslo y de 14,12% para pectorales. El mismo investigador obtuvo para PN valores de 33,48 % y de 14,23% para muslos+contramuslos y pectorales respectivamente a esa edad y de 30,91% y 15,29% a las 12 semanas.

Podemos concluir así que la raza Castellana Negra en pureza no puede competir en lo que a la utilización para la producción de carne se refiere, con otras razas mejoradas y de mayor crecimiento y conformación, es una raza que engloba a animales ligeros de crecimiento lento. Con el CASPEN tenemos un tipo de animal que alcanza a las 15 semanas de vida un peso comercial en torno a los 2.200 g (tanto si se cría en régimen intensivo como en semiextensivo) con un contenido en grasa abdominal inferior a otra líneas de mayor crecimiento como es el SASSO y con un rendimiento en partes nobles elevado y similar al de otras razas autóctonas utilizadas en este tipo de producciones (PN). La utilización de CASPEN como pollo campero de crecimiento lento mejora la rentabilidad y permite la utiliza-

ción de la raza Castellana Negra en producción de carne, con lo que supone un apoyo a su conservación.

Referencias bibliográficas

- Bastiaens A, Deroanne C, Carletti G, Zayan R, 1991. Influence of age, strain and breeding method on the ezing of broiler chickens. 37th International Congress of Meat Science and Technology, Germany, 1: 37-43.
- Bernues A, Corcoran K, 2000. Carnes rojas, consumidores y seguridad alimentaria.
- Brackenbury JH, Willianson ADB, 1989. Treadmill exercise training increases the oxidative capacity of chicken Iliotibialis muscle. Poultry Sci., 68: 577-581.
- Campo JL, Gil MG, Davila SG, 2002. El programa de conservación de razas españolas de gallinas. V Congreso de la Sociedad Española para los Recursos Genéticos Animales. III Congreso Ibérico sobre Recursos Genéticos Animales pp: 183-191.
- Castello JA, 2001. Jornadas Profesionales de Producción de Carne de Pollo. Real Escuela de Avicultura, Arenys de Mar, 4.1-4.13.
- Cepero R, 1998. El pollo de campo: calidad, rentabilidad y futuro comercial: Jornadas técnicas PROGALTER. Expoaviga 1998. pp. 97-120.
- Cepero R, Rubio J, Tarazona J, Alava A, Gutierrez MA, Santolaria P, Sañudo C, 1994. Evaluación de la calidad de la carne de pollos "label" producidos en Aragón: resultados preliminares: XXXI Symposium de la Sección Española de la WPSA. Pamplona. pp. 165-175.
- Cepero R, Sañudo C, Sierra I, 1989. Efectos de la edad de sacrificio sobre la calidad de la carne de pollo broiler. XXVII Symp. de la Soc. Esp. de la WPSA, Barcelona.
- Ciria J, Francesch A, Asenjo B, Gómara R, Pérez R, Ribas M, 1999. "Crecimiento, características de la canal y aceptación organoléptica de tres tipos de pollo campero en la provincia de

- Soria". VII Jornadas sobre producción animal. Volumen Extra, Número 20- Tomo I (1999) pp. 176-178.
- Cubilo MD, Tor M, Francesch A, 1999. "Rendimientos al sacrificio y calidad de la canal en gallos de la raza Penedesenca Negra". XXXVI Symposium de la Sección Española de la WPSA, Valladolid. pp. 175-181.
- Delpech P, Dumont BL, Nedfaoui A, 1983. Influence du rationnement et du patrimoine génétiques des poulets sur des caractéristiques physico-chimiques et sensorielles de la viande a différents âges. 6th Symp. of Quality of Poultry Meat, Ploufragan: 21-26.
- Deroanne C, Castermant B, Despontin JPH, 1983. Influence des conditions délevage sur la qualité de la viande de volaille. 6th Europ. Symp. Quality of Poultry Meat, Ploufragan: 28-36.
- Escoda L, 2004. Estudi comparat de característiques productives i de qualitat de la canal i de la carn en pollastres obtinguts de races autòctones catalanes. Tesis Doctoral. Universitat de Barcelona.
- Farmer LJ, Perry GC, Lewis PD, Nute GR, Piggot JR, Patterson RLS, 1997. Responses of two genotypes of chicken to the dietes and stocking densities of conventional U.K. and Label Rouge production systems. II. sensory attributes. *Meat Sci.*, 47 (1): 77-93.
- Francesch A, Fortuny MR, Farran M, Garcia Martin E, 1998. "Extensive breeding and castration effects on the productivity and carcass quality of local breed's chickens". International Symposium Basis of the Quality of Typical Mediterranean Animal Products, Badajoz.
- Francesch A, Pardo C, 1995. Comparison of some carcass characteristics between traditional and genetically improved catalan autochthonous chickens. XII Europ. Symp. on the Quality of Poultry Meat, Zaragoza: 195-200.
- Francesch A, Pardo C, Esteve-Garcia E, Almirall M, 1993. Resultados de la mejora genética de las razas de gallinas Penedesenca Negra y Ampurdanesa Roja en producción de carne. Crecimiento y rendimientos de los productos finales. XXX Symposium de Avicultura Científica. Sección Española de la WPSA. pp. 289-297.
- Fris Jensen J, 1997. Quality of poultry meat as affected by nutritional factors. XII Europ. Symp. on the Quality of Poultry Meat, Polonia: 37-48.
- García Martín E, 1998. Pollo de campo intensivo versus pollo de campo extensivo. II Jornadas Técnicas Progalter. Expoaviga 1998. pp. 79-83.
- García Martín E, Cepero R, Campo M, Lafuente R, Sañudo C, Canti M, 1995. Effects of production system on the meat quality of label chickens and capons. XII Europ. Symp. On the Quality of Poultry Meat, Zaragoza: 2007-217.
- Grashorn MA, Brose K, 1997. Quality assurance in label programs for chicken meat. XIII Europ. Symp. on the Quality of poultry meat, Polonia: 619-624.
- Groom GM, 1990. Factors affecting poultry meat quality, L'Aviculture en méditerranée. Options méditerranéennes séries A, Ciheam, Montpellier, 7: 205-210.
- Hanson HL, Campbell AA, Kraft AA, Gilpin GL, Harkin AM, 1959. The flavour of modern and old-type chickens. *Poultry Sci.*, 38: 1071-1078.
- Haugan K, 1992. The influence of diet, sex and age on sensory quality in broiler meat. XIX World Poultry Congress, Amsterdam: 148.
- Lleonart F, Castello JA, 1984. Las transformaciones de la avicultura en un cuarto de siglo. *Selecciones Avícolas*, 26 (1): 12-18.
- Miguel JA, 2003. Caracterización productiva y genética de una población de gallinas de raza Castellana Negra. Tesis Doctoral. Universidad de Valladolid.
- Muriel A, Pascual M^aR, 1999. Efecto del sistema de explotación y del sexo sobre el peso al sacrificio y diferentes parámetros de pollos. ITEA. Volumen Extra 20 N^o 1. 179-181.
- Muriel A, Solana J, Cancho M, 1997. Resultados productivos y composición de la canal de dos cruces de pollos de carne criados en libertad. *Archivos de Zootecnia*. 46 pp. 239-247.

- Muriel A, Pascual M^aR, 1995. Carcass and meat characteristics from free range chickens. In: proceeding of the XII European Symposium on the quality of poultry meat. Zaragoza.
- Remignon H, Coulioli J, 1995. Meat quality traits of French "Label" chickens. XII Europ. Symp. on the Quality of Poultry Meat, Zaragoza: 145-150.
- Ricard FH, Marché G, Remignon H, 1993. Caractéristiques de carcasse de poulets sélectionnés en lignées divergentes sur la vitesse de croissance. *Ann. Zootech.*, 42: 379-385.
- Ricard FH, Touraille C, 1988, Influence du sexe sur les caractéristiques organoleptiques de la viande de poulet. *Arch Gefluglek*, 52, 27-30.
- Ricard FH, Touraille C, Marché G, 1986. Influence des méthodes d'élevage sur la qualité des carcasses du poulet. 7^a Conferencia europea de Avicultura. Hamburgo, 870-873.
- Ricard FH, 1984. Comparaison de 3 types génétiques de poulets pour l'état d'engraissement et le redement en viande. XVII th World Poultry. Cong., Helsinki. 161-163.
- Skaarup T, 1983. The quality of meat from free range chickens versus chickens in confinement. 6th Symp. on Quality of Poultry Meat, Ploufragan: 37-45.
- Touraille C, Ricard FH, 1981. Relationship between sexual maturity and meat quality in chickens. 5th Europ. Symp. Poultry meat, Apeldoorn: 295-264.
- Touraille C, 1978. Evolution de la composition corporelle du poulet en fonction de l'âge, et conséquences sur la qualité. INRA, La composition corporelle des volailles séances de travail, à Nouzilly: 59-70.
- WPSA. Working Group n°5, 1984. Method of dissection of broiler carcasses and description of parts. 33 pp. J. Fris Jensen edit.
- Young LL, Northcutt JK, Buhr RJ, Lyon CE, Ware GO, 2001. Effects of age, sex, and duration of postmortem aging on percentage yield of parts from broiler chicken carcasses. *Poultry Sci.*, 80: 376-379.

(Aceptado para publicación el 20 de diciembre de 2007)

Papel del β -caroteno y la vitamina A en la reproducción en el ganado vacuno: revisión

L.A. Quintela, C. Díaz, J.J. Becerra, G. Alonso, S. Gracia, P.G. Herradón

Departamento de Patología Animal. Universidad de Santiago de Compostela. Facultad de Veterinaria. Campus Universitario. 27002 Lugo. España. E-mail: laquiari@lugo.usc.es

Resumen

Ante la sospecha de que la formación de radicales libres en el organismo animal pueda influir negativamente en la reproducción y ser una de las múltiples causas del descenso de la eficacia reproductiva observada en los últimos años en el ganado vacuno lechero, nos hemos propuesto en este artículo hacer una amplia revisión de los posibles efectos beneficiosos sobre la reproducción de dos antioxidantes, la vitamina A y su precursor el β -caroteno, con el fin de valorar sus posibilidades terapéuticas frente a este importante problema. Tras la revisión, podemos concluir que en los procesos reproductivos del animal se generan numerosos radicales libres que pueden dañar las células del aparato reproductor, incluidos los gametos y el embrión, provocando, entre otros, fallos en la maduración del ovocito y en el desarrollo temprano del embrión, que derivan en un fallo reproductivo. Sin embargo, el organismo mantiene, en condiciones normales, un equilibrio entre los radicales libres y los antioxidantes que previene la aparición de estos problemas. Cuando este equilibrio se rompe, consecuencia de bajos niveles de antioxidantes en la dieta, incremento de las demandas por estrés por calor, por elevada producción o por determinados tratamientos que aumentan la actividad de los órganos reproductivos (superovulación), es cuando surgen los problemas y puede ser necesaria la suplementación exógena con antioxidantes.

Palabras clave: Antioxidantes, vaca, reproducción.

Summary

Role of β -carotene and A vitamin in bovine reproduction: a review

Faced with the suspect free radicals formation in animal organism can have a negative influence in bovine reproduction and be one of the multiple causes of dairy cattle reproductive efficiency decrease in last years, in this study we make an extensive literature review about possible good effects of two antioxidants, vitamin A and its precursor β -carotene, on cattle reproduction with the aim of analyse its therapeutic possibilities. In accordance with the study results, we observe that in reproductive processes there is an important free radicals formation that may damage reproductive system cells, including gametes and embryos, it causes some effects like failures in oocyte maturation process and early embryo growth, that move on to a reproductive failure. Nevertheless, under normal conditions, animal organism keeps balance between free radicals and antioxidants. This balance prevents reproductive problems occurrence, therefore when it is broken, as a result of low antioxidants levels in diet, increase on its demand on heat-stress, elevated rate of free radicals production or several treatments that increases reproductive organs activity (superovulation); in all this cases reproductive problems appear and it may be necessary exogenous antioxidants supplementation.

Key words: Antioxidants, cow, reproduction.

Durante los últimos años hay un creciente interés de la comunidad científica en el estudio de la formación de radicales libres, así como sobre aquellas sustancias que tienen funciones antioxidantes, debido a sus potenciales efectos beneficiosos sobre la salud. Tanto la vitamina A como su precursor, el β -caroteno, son sustancias con una marcada acción antioxidante que tienen notables implicaciones en muchas actividades biológicas, tanto en el hombre como en los animales. Es por ello, que hemos realizado una profunda revisión de las posibles repercusiones de estas dos sustancias en la reproducción del ganado vacuno, que nos sirva para valorar las posibilidades terapéuticas de las mismas, con el fin de mejorar la eficacia reproductiva en esta especie.

La vitamina A, es un alcohol poliéxico isoprenoide que se conoce también con otros nombres como: retinol, axeroftol, biosterol, vitamina antixeroftálmica y vitamina antiinfecciosa. Ya en el siglo XIX se descubrió que la vitamina A era esencial para la vista, pero a lo largo de la historia se ha visto que también es necesaria para el adecuado crecimiento de huesos y músculos, para la integridad de los epitelios, para la adecuada funcionalidad del sistema inmune, para evitar alteraciones genéticas y también para una buena funcionalidad reproductiva (Hemken y Bremel, 1982; Graves-Hoagland et al., 1988; Hurley y Doane, 1989; Ergun y Erdogan, 2002). Su deficiencia se ha asociado con ceguera nocturna, diarreas, neonatos muertos, ciegos, débiles y enfermos, incremento de la incidencia de abortos, retenciones de placenta, y en deficiencias prolongadas, pueden verse afectados los índices reproductivos (Graves-Hoagland et al., 1988; Hurley y Doane, 1989; Weiss, 1998).

El β -caroteno es un pigmento natural, soluble en grasas, producido por plantas y organismos fotosintéticos. Los animales ingieren

los alimentos que contienen el β -caroteno y lo transforman en vitamina A en el hígado (Bendich y Olson, 1989) y en la mucosa del intestino delgado (Ikeda et al., 2005). De todas formas, a pesar de que una parte de su función procede de su transformación en vitamina A, otra parte es directa, ya que no todo se convierte. Por lo tanto, los animales necesitan de ambas sustancias para su correcto funcionamiento vital.

El β -caroteno, es esencial en la síntesis de vitamina A y también influye en la función reproductiva y tiroidea (Puls, 1994; Weiss, 1998). Su deficiencia se manifiesta con un incremento en la duración del estro, retrasos en la ovulación, aumento en la incidencia de abortos y mortalidades embrionarias, disminución de los signos de estro, y un incremento del riesgo de padecer quistes ováricos, retenciones de placenta y metritis (Hemken y Bremel, 1982; Graves-Hoagland et al., 1988; Hurley y Doane, 1989; Puls, 1994; Aksakal et al., 1995).

El animal ingiere con los alimentos el β -caroteno, mientras que la vitamina A, en forma de ésteres de retinol, normalmente es suplementada en el concentrado. Sin embargo no toda la vitamina A y el β -caroteno son absorbidos, ya que una parte se destruye en el rumen (Weiss, 1998). Los ésteres del retinol se hidrolizan en el intestino y se transforman en retinol. Tanto el retinol como el β -caroteno son absorbidos a través de la mucosa intestinal. Una parte del β -caroteno es transformado en las células de la mucosa intestinal en retinal que pasa rápidamente a retinol. El retinol es reesterificado y junto con el β -caroteno no transformado, son empaquetados en los quilomicrones (lipoproteínas sintetizadas en las células epiteliales del intestino y que sirven para el transporte de lípidos en la sangre) y secretado a la sangre vía sistema linfático. Los quilomicrones son transportados por la sangre al hígado en donde se almacenarán

hasta el momento de su degradación. En el hígado, los esteres del retinol vuelven a hidrolizarse y pasan a retinol, se unen a proteínas transportadoras y se dirigen vía sanguínea a los órganos diana. El β -caroteno, a su vez, es también liberado y pasa a la sangre para ser distribuido por el organismo (Ikeda et al., 2005).

Existen numerosas referencias en la bibliografía que relacionan los niveles de vitamina A y β -caroteno con la función reproductiva. Respecto a la función de la vitamina A en la reproducción, se ha visto que tanto ésta como sus metabolitos intervienen en el crecimiento folicular (Schweigert y Zucker, 1988), en la esteroidogénesis (Graves-Hoagland et al., 1988), en la composición del ambiente oviductal y uterino (Liu et al., 1990; Mackenzie et al., 1997), en la inmunidad (Chew, 1987; Michal et al., 1994), en la maduración del ovocito y en el desarrollo del embrión y el feto (Liu et al., 1993). En cuanto al β -caroteno, numerosos autores postulan su efecto en la función lútea (Ahlsvede y Lothammer, 1978; Chew et al., 1984; Pethes et al., 1985; Graves-Hoagland et al., 1988, 1989; Aslan et al., 1998; Arikani y Rodway, 2001).

De todas formas, la principal función de la vitamina A y el β -caroteno en el organismo, y de la que derivan la mayor parte de sus efectos, es su acción antioxidante. Así, su papel más importante es proteger al organismo de los radicales libres producidos durante el metabolismo oxidativo normal del organismo. Un radical libre es una molécula (orgánica o inorgánica), extremadamente inestable y, por tanto, con gran poder reactivo que actúan alterando a las membranas celulares y atacando el material genético de las células.

Se ha propuesto que el efecto negativo del estrés por calor puede estar mediado por la acción de los radicales libres (Loven, 1988) y

que la actividad antioxidante disminuye con la edad (Rani y Pannerselvam, 2001).

El organismo se ha adaptado para desenvolver un sistema antioxidante que lo proteja. Cuando existe un desbalance entre los radicales libres y los antioxidantes del organismo (glutathion y glutathion peroxidasa, vitamina A y E y β -caroteno, etc.) se produce el denominado estrés oxidativo (Kamiloglu et al., 2005). Este estrés oxidativo compromete la función celular provocando un fallo orgánico. La vitamina A y el β -caroteno, a pesar de actuar en todos los procesos oxidativos del cuerpo, parece que tienen una especial relevancia en aquellos relacionados con la reproducción (Rapoport et al., 1998; Young et al., 1995).

Jozwik et al. (1999) y Guerin et al. (2001), demostraron la existencia de sistemas oxidativos y antioxidativos en tejidos del aparato reproductor de las hembras. Así, Agarwal y Allamaneni (2004) comprobaron que el fluido folicular contiene elevadas concentraciones de antioxidantes para proteger a los ovocitos del daño producido por los radicales libres.

En base a esto, podemos decir que cuando el animal no tiene un nivel suficiente de antioxidantes se producirá un efecto negativo sobre la reproducción. Pero, ¿cuál es el nivel normal de vitamina A y β -caroteno en la vaca? Según Can et al. (1986) y Puls (1994), los niveles normales de vitamina A se encuentran entre los 25 y los 80 $\mu\text{g}/\text{dl}$, mientras que los de β -caroteno entre 300 y 1200 $\mu\text{g}/\text{dl}$; de tal forma que, niveles por debajo de 7 $\mu\text{g}/\text{dl}$ de vitamina A o de 100 $\mu\text{g}/\text{dl}$ de β -caroteno, supondrían una deficiencia severa y los niveles intermedios una deficiencia leve.

A continuación estudiaremos los efectos sobre la reproducción de la vitamina A y el β -caroteno de forma más detallada.

Efecto sobre las tasas de concepción

Lotthammer (1978) en una extensa revisión propuso que el β -caroteno tenía un efecto específico en la reproducción de la vaca, que no podía ser reemplazado por la adición de vitamina A en la dieta. Además, concluyó que la suplementación con β -caroteno incrementaba las tasas de concepción en novillas, hecho comprobado años más tarde por Ascarelli et al. (1985) y por Iwanska y Strusinska (1997). Por su parte Folman et al. (1983), observaron que la suplementación con β -caroteno en animales con deficiencia (niveles de 50 $\mu\text{g/dl}$ de β -caroteno en sangre) mejoraba la fertilidad, no observándose efecto aparente cuando sus niveles en sangre superaban los 150 $\mu\text{g/dl}$. En este sentido Folman et al. (1979), Bindas et al. (1984a), Akordor et al. (1986), Wang et al. (1988) no apreciaron el efecto beneficioso sobre la reproducción de la suplementación con β -caroteno.

En 1985, en Florida, Badinga et al. comprobaron que el estrés por calor reducía de forma considerable las tasas de concepción en vacas de aptitud láctea, reduciéndose de un 40-50% en la época fría, a tan sólo un 10% en la estación calurosa. El estrés por calor provoca un incremento de la mortalidad embrionaria (Putney et al., 1989; Ealy et al., 1993), una reducción de la intensidad de los síntomas de celo (Gangwar et al., 1965; Abilay et al., 1975), así como una disminución del porcentaje de vacas detectadas en celo (Thatcher y Collier, 1986).

Dado que existen evidencias de que el estrés por calor influye en la reproducción como consecuencia de la formación de radicales libres (Loven, 1988) y/o por una reducción de la actividad de los sistemas antioxidantes del organismo (Arechiga et al., 1995), una de las estrategias planteadas para evitar sus efectos adversos, ha sido la suplementación de los animales con antioxidantes (Ealy et al., 1992; Arechiga et al., 1994 y 1995).

El período de suplementación del β -caroteno puede influir en la respuesta al estrés por calor, Arechiga et al. (1998b) observaron que un periodo largo de suplementación evitaba los efectos negativos del estrés por calor. Sin embargo, cuando la suplementación se realizaba durante un período más corto (Ealy et al., 1994), no se apreciaron efectos positivos.

Efecto sobre el cuerpo lúteo

Numerosos autores postulan el efecto del β -caroteno en la función lútea, debido a que se han encontrado concentraciones superiores de esta provitamina en el cuerpo lúteo, entre 2 y 5 veces más, que las observadas en otros tejidos orgánicos (Ahlsvede y Lothammer, 1978; Chew et al., 1984; Pethes et al., 1985; Graves-Hoaglad et al., 1988, 1989; Aslan et al., 1998; Arikán y Rodway, 2001). Ganguly et al., (1980), Talavera y Chew (1988) y Weng et al., (2000), observaron que la adición de retinol, ácido retinoico y β -caroteno al medio, estimulaba la secreción de progesterona por parte de las células luteales porcinas.

Conocer los niveles de los compuestos antioxidantes durante el desarrollo del cuerpo lúteo es importante. Rapoport et al. (1998) observaron que los niveles plasmáticos de progesterona se incrementaban hasta el día 16 del ciclo, disminuyendo rápidamente durante la regresión del cuerpo lúteo. La actividad de enzimas antioxidantes, como la superóxido dismutasa y la catalasa, mostraban perfiles similares a la progesterona en plasma, incrementándose 6-8 veces entre los días 6 y 16 del ciclo estral y decreciendo durante la regresión del cuerpo lúteo. El β -caroteno, mostró una correlación con el nivel de progesterona en plasma. De tal forma que, la concentración de β -caroteno aumentaba aproximadamente 6 veces entre el día 6 y 16, descendiendo con

la involución del cuerpo lúteo. Los niveles β -tocoferol, por su parte, se triplicaban entre los días 6 y 9, produciéndose a partir de ese momento un rápido descenso. En el pico de la esteroidogénesis, a mitad de la fase luteal, el β -tocoferol disminuía y el β -caroteno aumentaba. De tal forma que, la correlación existente entre los niveles de algunos compuestos y las enzimas antioxidantes, con los niveles de progesterona, indicaban que el mecanismo antioxidante se activaba con la esteroidogénesis, debido a la formación de radicales libres en el cuerpo lúteo.

Haliloglu et al. (2002) observaron que los niveles de caroteno y vitamina A en el organismo variaba en función del momento del ciclo estral en que se encontraba el animal. La vitamina A aumentaba en el plasma durante las fases de proestro y estro, comprobándose la existencia de una correlación negativa entre el diámetro del cuerpo lúteo y los niveles de vitamina A. Los niveles de β -caroteno en plasma, fluido folicular y cuerpo lúteo se incrementaban durante el diestro y la gestación, lo que sugiere que el caroteno juega un papel importante en la regulación de la función luteal. Existe una correlación positiva y significativa entre los niveles de caroteno en el cuerpo lúteo, el diámetro del mismo y la concentración de progesterona (Pethes et al., 1985; Graves-Hoaglad et al., 1988; Talavera y Chew, 1988; Haliloglu et al., 2002). Además se debe anotar que el β -caroteno favorece la formación de gap-junctions (Bertram y Bortkiewicz, 1995; Stahl et al., 1997) que juegan un importante papel en la coordinación de la función de las células luteales (Bilska et al., 1996).

Efecto en el desarrollo folicular y la síntesis de 17 β -estradiol

Schweigert y Zucker (1988) observaron la existencia de una correlación entre la con-

centración de vitamina A, existente en el fluido folicular, y los niveles de 17 β -estradiol, comprobando que los niveles de esta vitamina en los folículos dominantes eran notablemente mayores que los encontrados en folículos con atresia. También describieron que los folículos dominantes tenían aumentada la ruta de transformación del β -caroteno en vitamina A (Schweigert et al., 2003).

Otro indicio de que el b-caroteno puede influir en la funcionalidad del folículo lo aporta el estudio de Kawashima et al. (2008) en el que se demuestra que las vacas con retraso en el reinicio de la actividad ovárica postparto presentan niveles de b-caroteno inferiores en el preparto respecto a las que reinician la actividad ovárica postparto más rápido.

En definitiva, la vitamina A (procedente del β -caroteno), presente en el fluido folicular, influye en la producción de 17- β -estradiol, mejorando, probablemente, la calidad del folículo, aumentando los síntomas de celo, reduciendo el riesgo de alteraciones en la ovulación (ovulación retrasada, anovulación) y afectando a la calidad del ovocito.

Efecto en la mortalidad embrionaria

Uno de los factores que se postula como causa de mortalidad embrionaria en la vaca, es la baja concentración de progesterona en las primeras etapas del desarrollo embrionario. Como consecuencia, el crecimiento del embrión es más lento de lo normal, de tal forma que en el momento del reconocimiento materno de la gestación no es capaz, todavía, de producir suficientes cantidades de interferón- β y, por lo tanto, no se bloquea la lisis del cuerpo lúteo y el animal sale en celo muriéndose el embrión (Wathes et al., 2003).

La suplementación con β -caroteno y/o vitamina A mejora la supervivencia embrionaria

en especies multiovulatorias: raton (Chew y Archer, 1983; Elmarimi et al., 1990), rata (Takahashi et al., 1975), conejo (Besenfelder et al., 1993) y cerdo (Brief y Chew, 1985; Coffey y Britt, 1993).

Además de la estimulación de la producción de progesterona, mencionada anteriormente, se ha observado que el β -caroteno aumenta la secreción intrauterina de factores importantes para el desarrollo inicial del embrión (Clawitter et al., 1990; Harney et al., 1990). Es bien sabido que, el ambiente uterino influye en el desarrollo inicial del embrión, de forma que, alteraciones en el mismo pueden causar su muerte y el retorno al celo de la vaca (Wathes et al., 2003).

Por último, el estrés oxidativo es una posible causa de mortalidad embrionaria. El metabolismo embrionario produce radicales libres que pueden retardar o bloquear el desarrollo del embrión, por lo que estas sustancias pueden tener un efecto beneficioso (Guérin et al., 2001).

Efecto en vacas superovuladas

Sales et al. (2007), observaron en vacas superovuladas que el estrés oxidativo que provocaba la estereidogénesis era muy elevado, por lo que se incrementarían las necesidades de estas sustancias antioxidantes. La afirmación se basaba en los hallazgos de Shaw et al. (1995) que encontraron un mayor número de embriones de alta calidad cuando se administraba vitamina A al comienzo del tratamiento superovulatorio. Este efecto favorable sobre la calidad de los embriones también fue descrita por Eberhardt et al. (1999) en ganado ovino.

Sin embargo, este beneficioso efecto no fue descrito en novillas, lo que podría ser debido a que al aumentar la edad disminuye la actividad antioxidante y se incrementa el daño

celular, por lo que tendría un efecto más positivo emplear estos productos en los animales de más edad (Rani y Pannerselvam, 2001).

Ikeda et al. (2005) llegaron a la conclusión de que la acción se produce a nivel de la maduración del citoplasma del ovocito, ya que no se incrementan ni el número de ovulaciones, ni de embriones recogidos, pero sí mejora la calidad de estos.

Por último, destacar que existen algunos estudios en los que no se ha podido demostrar una influencia de los niveles de β -caroteno en sangre sobre el número de embriones transferibles obtenidos tras la superovulación (Chorfi et al., 2007).

Efecto en fecundación in vitro

Las células de los mamíferos, incluyendo el ovocito y el embrión temprano, poseen mecanismos para protegerse del daño producido por los radicales libres, manteniendo un equilibrio en las reacciones de oxidación/reducción. Cuando se realiza la fecundación *in vitro* los ovocitos y embriones son extraídos de ese medio protector y, por lo tanto, son más susceptibles al estrés oxidativo (Guérin et al., 2001). Prueba de esto es que la adición de antioxidantes al medio de cultivo de ovocitos o de embriones, beneficia la supervivencia *in vitro* en una gran variedad de especies (Duque et al., 2002; Lawrence et al., 2004; Livingston et al., 2004).

Otros efectos

Retención de placenta

El potencial efecto de la vitamina A y del β -caroteno sobre la retención de placenta ha sido objeto de varios estudios con resulta-

dos contradictorios. Así Ishak *et al.* (1983), no encontraron diferencias en los niveles de vitamina A y β -caroteno entre vacas con y sin retención de placenta. Por contra, Muller y Owens (1974), Inaba *et al.*, 1986; y más recientemente Akar y Gazioglu (2006) observaron que las vacas con retención de placenta presentaban niveles más bajos de vitamina A y de β -caroteno.

En 1994 Michal *et al.* realizaron una experiencia consistente en suplementar las vacas con β -caroteno antes del parto, comprobando que se producía una disminución en la incidencia de retenciones de placenta y endometritis. Estos autores apuntaron el efecto beneficioso del β -caroteno sobre los mecanismos de defensa, potenciando la proliferación de linfocitos y la función fagocítica, lo que favorecería la expulsión de la placenta.

Producción láctea

Numerosos autores han observado que la suplementación con β -caroteno, independientemente del tiempo y de la época del año, aumentaba la producción láctea (Bindas *et al.*, 1984b; Ascarelli *et al.*, 1985; Bonomi *et al.*, 1994; Arechiga *et al.*, 1998a; Chawla y Kaur, 2004). Sin embargo, hemos encontrado en la bibliografía estudios en los que no se pudo comprobar este efecto (Bindas *et al.*, 1984b; Rakes *et al.*, 1985; Akordor *et al.*, 1986), e incluso artículos que describen un efecto adverso del β -caroteno sobre la producción láctea (Folman *et al.*, 1987). Estas discrepancias pueden ser debidas a variaciones en el número de animales, tipo y duración de la suplementación, contenido de β -caroteno y otros antioxidantes en la dieta de los animales, ambiente, y manejo.

El efecto beneficioso podría ser debido al incremento del estatus antioxidante de la glándula mamaria que favorecería el mantenimiento de la función de las células del epitelio alveolar (Arechiga *et al.*, 1998a).

Sistema inmune

Uno de los primeros indicios de un posible efecto de la vitamina A o el β -caroteno sobre el sistema inmune fue descrito por Clausen en 1931 quien, examinando niños con infecciones respiratorias, comprobó que la suplementación de la dieta con carotenoides reducía el número y la severidad de las infecciones.

A partir de ese momento se comenzó a investigar la posibilidad de que el β -caroteno y la vitamina A tuvieran alguna influencia sobre el funcionamiento del sistema inmune. Chew y Johnston en 1985 vieron que la suplementación con β -caroteno reducía el número de células somáticas durante la lactación, mientras que Dahlquist y Chew (1985) describieron una menor incidencia de nuevas infecciones intramamarias al principio del periodo seco. Más tarde, diferentes estudios *in vitro* (Daniel *et al.*, 1991a y b) e *in vivo* (Alexander *et al.*, 1985; Benedich y Shapiro, 1986; Prabhala *et al.*, 1989) corroboraron que el tratamiento con β -caroteno mejoraba las defensas, aumentando la actividad y el número de células del sistema inmune. En este sentido, Michal *et al.* (1994) comprobaron que la suplementación con β -caroteno o vitamina A en el periodo preparto incrementaba la proliferación de linfocitos y reducía la incidencia de retenciones de placenta y metritis. En un estudio reciente de Kawashima *et al.* (2008) comprobaron que los animales con niveles bajos de β -caroteno en preparto mostraban una reducción en la funcionalidad de su sistema inmune. También, en un estudio reciente Chawla y Kaur (2004), suplementando a los animales con vitamina E, sola o con β -caroteno, encontraron una menor incidencia de mastitis, tanto clínicas como subclínicas.

La suplementación con β -caroteno y/o vitamina A ó E, por lo tanto, puede incrementar la producción láctea en determinadas circunstancias y reducir la incidencia de algu-

nas patologías tales como mamitis, retenciones de placenta y metritis.

Conclusiones

La suplementación con β -caroteno y/o vitamina A en animales que presentan deficiencias ($< 300 \mu\text{g/dl}$ de β -caroteno y $< 25 \mu\text{g/dl}$ de vitamina A), tiene, probablemente, un efecto beneficioso sobre la reproducción en el ganado vacuno. Este efecto es debido, en gran medida, a su poder antioxidante, lo que incrementa la eficiencia reproductiva como consecuencia de: 1) una mejor detección del celo, debido a una mayor producción de 17β -estradiol, 2) una disminución de las alteraciones de la ovulación, mejorando la calidad de los folículos, 3) una reducción de la mortalidad embrionaria, al producirse un incremento de la producción de progesterona, una mejora del ambiente uterino y un efecto beneficioso sobre el desarrollo embrionario, 4) una reducción de los efectos negativos del estrés por calor, ya que éste está mediado por la formación de radicales libres, 5) una reducción de la incidencia de patologías postparto como son, la retención de placenta, la metritis y la mamitis, debido al efecto estimulante del sistema inmune y 6) un incremento de la producción láctea, mediante un efecto protector de las células del epitelio alveolar.

Bibliografía

- Abilay TA, Johnson HD, Madan M, 1975. Influence of environmental heat on peripheral plasma progesterone and cortisol during the bovine estrous cycle. *J. Dairy Sci.* 58: 1836-1840.
- Agarwall A, Allamaneni SSR, 2004. Oxidants and antioxidants in human fertility. *Middle East Fertil. Soc.* 9: 187-197.
- Ahlsvede L, Lotthammer KH, 1978. Untersuchungen über eine spezifische, Vitamin A-unabhängige Wirkung des β -carotins auf die Fertilität des Rindes. 5. Mitt. Organuntersuchungen-Gewichts und Gehaltsbestimmungen. *Dtsch. Tierärztl. Wochenschr.* 85: 7-12.
- Akar Y, Gazioglu A, 2006. Relationship between vitamin A and β -carotene levels during the postpartum period and fertility parameters in cows with and without retained placenta. *Bull. Vet. Inst. Pullawy.* 50: 93-96.
- Akordor FY, Stone JB, Walton JS, Leslie KE, Buchanan-Smith J.G, 1986. Reproductive performance of lactating Holstein cows fed supplemental β -carotene. *J. Dairy Sci.* 69: 2173-2178.
- Aksakal M, Karakilcik AZ, Kalkan C, 1990. The effects of breed, age, season, pregnancy and lactation on plasma β -carotene and vitamin E values of cows and heifers. *Turk. J. Vet. Anim. Sci.* 14: 320-333.
- Aksakal M, Karakilcik AZ, Kalkan C, Cay M, Naziroglu M, 1995. Levels of β -carotene and vitamin E at various stages of reproductivity in cows. *Turk. J. Vet. Anim. Sci.* 19: 59-64.
- Alexander M, Newmark H, Miller RG, 1985. Oral beta-carotene can increase the number of OKT4+ cells in human blood. *Immunol. Lett.* 9: 221-224.
- Arechiga CF, Ealy AD, Hansen PJ, 1994. Efficacy of vitamin E and glutathione for thermotolerance of murine morulae. *Theriogenology.* 41: 1545-1553.
- Arechiga CF, Ealy AD, Hansen PJ, 1995. Evidence that glutathione is involved in thermotolerance of preimplantation murine embryos. *Biol. Reprod.* 52: 1296-1301.
- Arechiga CF, Staples CR, McDowell LR, Hansen PJ, 1998a. Effects of timed insemination and supplemental β -carotene on reproduction and milk yield of dairy cows under heat stress. *J. Dairy Sci.* 81: 390-402.
- Arechiga CF, Vazquez-Flores S, Ortiz O, Hernandez-Ceron J, Porras A, McDowell LR, Hansen PJ, 1998b. Effect of injection of beta-carotene or vitamin E and selenium on fertility of lactating dairy cows. *Theriogenology.* 50: 65-76.

- Arikan S, Rodway RG, 2001. Seasonal variation in bovine luteal concentrations of β -carotene. *Turk. J. Vet. Anim. Sci.* 25: 165-168.
- Ascarelli I, Edelman Z, Rosenberg M, Folman Y, 1985. Effect of dietary caroten on fertility of high-yielding dairy cows. *Anim. Prod.* 40: 195-207.
- Aslan S, Handler J, Arbeiter K, 1998. Frühgravidität und embryonale bzw. Frühfetale mortalität bei der kuh-gelbkörperdynamik, progesteron-, vitamin E-, vitamin B12-, β -carotin- und folsäurekonzentrationen im peripheren blut. *Wien. Tierärztl Mschr.* 85: 141-147.
- Badinga LR, Collier RJ, Thatcher WW, Wilcox CJ, 1985. Effect of climatic and management factors on conception rate of dairy cattle in subtropical environments. *J. Dairy Sci.* 68: 78-85.
- Bendich A, Olson JA, 1989. Biological actions of carotenoids. *FASEB J.* 3: 1927-1932.
- Bendich A, Shapiro SS, 1986. Effect of β -carotene and canthaxanthin of the immune response of the rat. *J. Nutr.* 116: 2254-2262.
- Bertram JS, Bortkiewicz H, 1995. Dietary carotenoids inhibit neoplastic transformation and modulate gene expression in mouse and human cells. *Am. J. Clin. Nutr.* 62: 1327-1336.
- Besenfelder U, Solti L, Seregi J, Brem G, 1993. Influence of beta-carotene on fertility in rabbits when using embryo transfer programs. *Theriogenology.* 39: 1093-1109.
- Bilska ATG, Reynolds LP, Kirsch JD, Redmer DA, 1996. Gap junctional intercellular communication of bovine luteal cells from several stages of the estrous cycle: effects of cyclic adenosine 3,5-monophosphate. *Biol. Reprod.* 54: 538-545.
- Bindas EM, Gwazdauskas FC, Aiello RJ, Herbein JH, McGilliard ML, Polan CE, 1984a. Reproductive and metabolic characteristics of dairy cattle supplemented with beta-carotene. *J. Dairy Sci.* 67: 1249-1255.
- Bindas EM, Gwazdauskas FC, McGilliard ML, Polan CE, 1984b. Progesterone responses to human chorionic gonadotropin in dairy cattle supplemented with β -carotene. *J. Dairy Sci.* 67: 2978-2985.
- Bonomi A, Quarantelli A, Sabbioni A, Superchi P, 1994. L'integrazione delle razioni per le bovine da latte con β -carotene in forma rumino-protetta. Effetti sull'efficienza produttiva e riproduttiva: contributo sperimentale. *Riv. Soc. Ital. Sci. Aliment.* 23: 233-249.
- Brief S, Chew BP, 1985. Effects of vitamin A and beta-carotene on reproductive performance in gilts. *J. Anim. Sci.* 60: 998-1004.
- Can R, Yilmaz K, Gul Y, 1986. Une recherche sur les quantites de beta-carotene et de vitamine A plasmatiques chez les vaches infertiles. *Turk. J. Vet. Anim. Sci.* 10: 18-23.
- Chawla R, Kaur H, 2004. Plasma antioxidant vitamin status of periparturient cows supplemented with α -tocopherol and β -carotene. *Anim Feed Sci Technol.* 114: 279-285.
- Chew BP, 1987. Immune function: relationship of nutrition and disease control. Vitamin A and beta-carotene on host defense. *J. Dairy Sci.* 70: 2732-2743.
- Chew BP, Archer RG, 1983. Comparative role of vitamin A and β -carotene on reproduction and neonate survival in rats. *Theriogenology.* 20: 459-472.
- Chew BP, Holpuch DM, O'Fallon JV, 1984. Vitamin A and β -carotene in bovine and porcine plasma, liver corpora lutea, and follicular fluid. *J. Dairy Sci.* 67: 1316-1322.
- Chew BP, Johnston LA, 1985. Effects of supplemental vitamin A and β -carotene on mastitis in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 68 (Suppl. 1): 191 (Abstr).
- Chorfi Y, Lanevski A, Dupras R, Girard V, Tremblay A, 2007. Serum biochemical parameters and embryo production during superovulatory treatment in dairy cattle. *Res. Vet. Sci.* 83: 318-321.
- Clausen SW, 1931. Carotenemia and resistance to infection. *Transactions of American Pediatric Society.* 43: 27-30.
- Clawitter J, Trout WE, Burke MG, Araghi S, Roberts RM, 1990. A novel family of progesterone-induced, retinol-binding proteins from uterine secretions of the pig. *J. Biol. Chem.* 265: 3248-3255.

- Coffey MT, Britt JH, 1993. Enhancement of sow reproductive performance by beta-carotene or vitamin A. *J. Anim. Sci.* 71: 1198-1202.
- Dahlquist SP, Chew BP, 1985. Effects of vitamin A and β -carotene on mastitis in dairy cows during the early dry period. *J. Dairy Sci.* 69 (Suppl. 1): 119. Abstr.
- Daniel L, Chew BP, Tanaka TS, Tjoelker LW, 1991. β -Carotene and vitamin A effects on bovine phagocyte function *in vitro* during the peripartum period. *J. Dairy Sci.* 74: 124-128.
- Daniel L, Chew BP, Tanaka TS, Tjoelker LW, 1991. *In vitro* effects of β -carotene and vitamin A on peripartum bovine peripheral blood mononuclear cell proliferation. *J. Dairy Sci.* 74: 911-915.
- Duque P, Díez C, Royo L, Lorenzo PL, Carneiro G, Hidalgo CO, Facal N, Gómez E, 2002. Enhancement of developmental capacity of meiotically inhibited bovine oocytes by retinoic acid. *Hum. Reprod.* 17: 2706-2714.
- Ealy AD, Arechiga CF, Bray DR, Risco CA, Hansen PJ, 1994. Effectiveness of short-term cooling and vitamin E for alleviation of infertility induced by heat stress in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 77: 3601-3607.
- Ealy AD, Drost M, Barros CM, Hansen PJ, 1992. Thermoprotection of preimplantation bovine embryos from heat shock by glutathione and taurine. *Cell Biol. Int. Rep.* 16: 125-131.
- Ealy AD, Drost M, Hansen PJ, 1993. Developmental changes in embryonic resistance to adverse effects of maternal heat stress in cows. *J. Dairy Sci.* 76: 2899-2905.
- Eberhardt DM, Will WA, Godkin JD, 1999. Retinol administration to superovulated ewes improves *in vitro* embryonic viability. *Biol. Reprod.* 60: 1483-1487.
- Elmarimi AA, Ildas JS, Ven E, Imrik P, 1990. Effect of vitamin A supplementation on mice embryo production and viability. *Reprod. Dom. Anim.* 25: 247-248.
- Ergun Y, Erdogan Z, 2002. The effect of feeding on fertility in dairy cows. II: vitamin, mineral and fertility relationship. *Bultendif.* 18: 13-17.
- Folman Y, Ascarelli I, Herz Z, Rosenberg M, Davidson M, Halevi A, 1979. Fertility of dairy heifers given a commercial diet free of beta-carotene. *Br. J. Nutr.* 41: 353-359.
- Folman Y, Ascarelli I, Kraus D, Barash H, 1987. Adverse effect of beta-carotene in diet on fertility of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 70: 357-366.
- Folman Y, Rosenberg M, Ascarelli I, Kaim M, Herz Z, 1983. The effect of dietary and climatic factors on fertility, and on plasma progesterone and oestradiol-17 beta levels in dairy cows. *J. Steroid Biochem.* 19: 863-868.
- Ganguly J, Rao MRS, Murthy SK, Sarada K, 1980. Systemic mode of action of vitamin A. *Vitam. Horm.* 38: 1-54.
- Gangwar PC, Branton C, Evans DL, 1965. Reproductive and physiological responses of Holstein heifers to controlled and natural climatic conditions. *J. Dairy Sci.* 48: 222-227.
- Graves-Hoagland RL, Hoagland TA, Woody CO, 1988. Effect of beta-carotene and vitamin A on progesterone production by bovine luteal cells. *J. Dairy Sci.* 71: 1058-1062.
- Graves-Hoagland RL, Hoagland TA, Woody CO, 1989. Relationship of plasma β -carotene and vitamin A to postpartum cattle. *J. Dairy Sci.* 72: 1854-1858.
- Guerin P, Mouatassim S, Menezo Y, 2001. Oxidative stress and protection against reactive oxygen species in the pre-implantation embryo and its surroundings. *Hum. Reprod. Update.* 7: 175-189.
- Haliloglu S, Baspinar N, Sepek B, Erdem H, Bulut Z, 2002. Vitamin A and betacarotene levels in plasma, corpus luteum and follicular fluid of cyclic and pregnant cattle. *Reprod. Domestic. Anim.* 37: 96-99.
- Harney JP, Mirando MA, Smith LC, Bazer FW, 1990. Retinol-binding protein: a major secretory product of the pig conceptus. *Biol. Reprod.* 42: 523-532.
- Hemken RW, Bremel DH, 1982. Possible role of beta-carotene in improving fertility in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 65: 1069-1073.

- Hurley WL, Doane RM, 1989. Recent developments in the roles of vitamins and minerals in reproduction. *J. Dairy Sci.* 72: 784-804.
- Ikeda S, Kitagawa M, Imai H, Yamada M, 2005. The roles of Vitamin A for cytoplasmic maturation of bovine oocytes. *J. Reprod. Dev.* 51: 23-35.
- Inaba T, Inoue A, Shimizu R, Nakano Y, Mori J, 1986. Plasma concentrations of progesterone, estrogens, vitamin A and β -carotene in cows retaining fetal membranes. *Jap. J. Vet. Sci.* 48: 505-508.
- Ishak MA, Larson LL, Owen FG, Lowry SR, Erickson ED, 1983. Effects of selenium, vitamins, and ration fiber on placental retention and performance of dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 66: 1832-1840.
- Iwanska S, Strusinska D, 1997. The effect of beta-carotene and vitamins A, D3 and E on some reproductive parameters in cows. *Acta Vet. Hung.* 45: 95-107.
- Jozwik M, Wolczynski S, Szamatowicz M, 1999. Oxidative stress markers in preovulatory follicular fluid in humans. *Mol. Hum. Reprod.* 5: 409-413.
- Kamiloglu NN, Beytute, Gürbulak K, Ogun M, 2005. Effects of vitamin A and β -carotene injection on levels of vitamin E and on glutathione peroxidase activity in pregnant tuj sheep. *Turk. J. Vet. Anim. Sci.* 29: 1033-1038.
- Kawashima C, Kida K, Schweigert FJ, Miyamoto A, 2008. Relationship between plasma β -carotene concentrations during the peripartum period and ovulation in the first follicular wave postpartum in dairy cows. *Anim. Reprod. Sci.* doi: 10.1016/j.anireprosci.2008.02.008.
- Lawrence JL, Payton RR, Godkin JD, Saxton AM, Schrick FN, Edwards JL, 2004. Retinol improves development of bovine oocytes compromised by heat stress during maturation. *J. Dairy Sci.* 87: 2449-2454.
- Liu KH, Baumbach GA, Gillevet PM, Godkin JD, 1990. Purification and characterization of bovine placental retinol-binding protein. *Endocrinology.* 127: 2696-2704.
- Liu KH, Dore JJ Jr, Roberts MP, Krishnan R, Hopkins FF, Godkin JD, 1993. Expression and cellular localization of retinol-binding protein messenger ribonucleic acid in bovine blastocysts and extraembryonic membranes. *Biol. Reprod.* 49: 393-400.
- Livingston T, Eberhardt D, Edwards JL, Godkin J, 2004. Retinol improves bovine embryonic development *in vitro*. *Reproductive Biology and Endocrinology* 2: 83
- Lothammer KH, 1978. Importance and role of beta-carotene for bovine fertility. In: HOFFMAN F, ed.). Importance of beta-carotene for bovine fertility Roche Symposium, Roche, London, UK, pp. 5-44.
- Loven DP, 1988. A role for reduce oxygen species in heat- induce cell killing and the induction thermotolerance. *Med. Hypotheses.* 26: 39-50.
- Mackenzie SH, Roberts MP, Liu KH, Dore JJ, Godkin JD, 1997. Bovine endometrial retinol-binding protein secretion, messenger ribonucleic acid expression, and cellular localization during the estrous cycle and early pregnancy. *Biol. Reprod.* 57: 1445-1450.
- Michal JJ, Heirman LR, Wong TS, Chew BP, Frigg M, Volker L, 1994. Modulatory effects of dietary beta-carotene on blood and mammary leukocyte function in periparturient dairy cows. *J. Dairy Sci.* 77: 1408-1421.
- Muller LD, Owens MJ, 1974. Factors associated with the incidence of retained placentas. *J. Dairy Sci.* 57: 725-728.
- Pethes G, Horvath E, Kulcsar M, Huszenicza G, Somorjai G, Varga B, Haraszti J, 1985. *In vitro* progesterone production of corpus luteum cells of cows fed low and high levels of beta-carotene. *Zbl. Vet. Med.* 32: 289-296.
- Prabhala RH, Maxey V, Hicks MJ, Watson RR, 1989. Enhancement of the expression of activation markers on human peripheral blood mononuclear cells by *in vitro* culture with retinoids and carotenoids. *J. Leukocyte Biol.* 45: 249-254.
- Puls R, 1994. Serum vitamin levels. In: Vitamin levels in animal health. Edited by PULS R.,

- Canada, Sherpa International Publishing House. Pp. 11-33.
- Putney DJ, Mullins S, Thatcher WW, Drost M, Gross TS, 1989. Embryonic development in superovulated dairy cattle exposed to elevated ambient temperatures between the onset of estrus and insemination. *Anim. Reprod. Sci.* 19: 37-51.
- Rakes AH, Owens MP, Britt JH, Whitlow LW, 1985. Effects of adding beta-carotene to rations of lactating cows consuming different forages. *J. Dairy Sci.* 68: 1732-1737.
- Rani PJA, Panneerselvam C, 2001. Carnitine as a free radical scavenger in aging. *Exp. Geront.* 36: 1713-1726.
- Rapoport R, Sklan D, Wolfensen D, Shaham-Albalancy A, Hanukoglu I, 1998. Antioxidant capacity is correlated with steroidogenic status of the corpus luteum during the bovine estrous cycle. *Biochim. Biophys. Acta.* 1380: 133-140.
- Sales JNS, Dias LMK, Viveiros ATM, Pereira M.N., Souza JC, 2007. Embryo production and quality of holstein heifers and cows supplemented with β -carotene and tocopherol. *Anim. Reprod. Sci.* doi:10.1016/j.anireprosci.2007.04.001.
- Schweigert FJ, Steinhagen B, Raila J, Siemann A, Peet D, Buscher U, 2003. Concentrations of carotenoids, retinol and α -tocopherol in plasma and follicular fluid of women undergoing IVF. *Human Reproduction.* 18: 1259-1264.
- Schweigert FJ, Wierich M, Rambeck WA, Zucker H, 1988. Carotene cleavage activity in bovine ovarian follicles. *Theriogenology.* 30: 923-930.
- Schweigert FJ, Zucker H, 1988. Concentrations of vitamin A, beta-carotene and vitamin E in individual bovine follicles of different quality. *J. Reprod. Fertil.* 82: 575-579.
- Shaw DW, Farin PW, Washburn SP, Britt JH, 1995. Effect of retinol palmitate on ovulation rate and embryo quality in superovulated cattle. *Theriogenology.* 44: 51-58.
- Stahl W, Nicolai S, Briviba K, Hanusch M, Broszeit G, Peters M, Martin HD, Sies H, 1997. Biological activities of natural and synthetic carotenoids: induction of gap junctional communication and singlet oxygen quenching. *Carcinogenesis.* 18: 89-92.
- Takahashi YI, Smith JE, Winick M, Goodmans DS, 1975. Vitamin A deficiency and fetal growth and development in the rat. *J. Nutr.* 105: 1299-1310.
- Talavera F, Chew BP, 1988. Comparative role of retinol, retinoic acid and β -carotene on progesterone secretion by pig corpus luteum *in vitro*. *J. Reprod. Fertil.* 82: 611-615.
- Thatcher WW, Collier RJ, 1986. Effects of climate in reproduction. Pages 301-309. in *Current Therapy in Theriogenology 2.* MORROW D.A., ed. SAUNDERS W.B. Co. Philadelphia. PA.
- Wang JY, Owen FG, Larson LL, 1988. Effect of beta-carotene supplementation on reproductive performance of lactating Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 71: 181-186.
- Wathes DC, Taylor VJ, Cheng Z, Mann GE, 2003. Follicle growth, corpus luteum function and their effects on embryo development in postpartum dairy cows. *Society for Reproduction and Fertility. Reproduction Suppl.* 61, 219-237.
- Weiss WP, 1998. Requirements of fat-soluble vitamins for dairy cow: a review. *J. Dairy Sci.* 81: 2493-2501.
- Weng BC, Chew BP, Wong TS, Park JS, Kim HW, Lepine AJ, 2000. β -carotene uptake and changes in ovarian steroids and uterine proteins during the estrous cycle in the canine. *J. Anim. Sci.* 78: 1284-1290.
- Young FM, Luderer WB, Rodgers RJ, 1995. The antioxidant β -carotene prevents covalent cross-linking between cholesterol side-chain cleavage cytochrome P450 and its electron donor adrenodoxin in bovine luteal cells. *Mol. Cel. Endocrinol.* 109: 113-118.

(Aceptado para publicación el 18 de junio de 2008)

**PREMIOS DE PRENSA AGRARIA 2008
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 y un accésit, pudiendo quedar desierto.

Los premios se regirán de acuerdo a las siguientes

BASES

1. Podrán concursar todos los artículos que versen sobre cualquier tema técnico-económico-agrario.
2. Los artículos que podrán acceder a los premios serán todos aquellos que se publiquen en ITEA en el año 2008. 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 (Diputación General de Aragón).
 - d) Director del Instituto Agronómico Mediterráneo de Zaragoza.
 - e) Director de la Estación Experimental de Aula Dei.
4. Los premios serán anuales y con 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.



CENTRO INTERNACIONAL DE ALTOS ESTUDIOS AGRONÓMICOS MEDITERRÁNEOS
INSTITUTO AGRONÓMICO MEDITERRÁNEO DE ZARAGOZA

CIHEAM/IAMZ - Cursos 2007-08-09

CIHEAM

	CURSOS	FECHAS	LUGAR	ORGANIZACIÓN
PRODUCCIÓN VEGETAL	*OLIVICULTURA Y ELAIOTECNIA	24 Sep. 07/29 Mayo 08	Córdoba	UCO/JA/CSIC/COI/INIA/IAMZ
	MÉTODOS ESTADÍSTICOS EN GENÓMICA DE PLANTAS	18-29 Feb. 08	Zaragoza	IAMZ/Generation Challenge Program
	TENDENCIAS ACTUALES EN AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN EN CONDICIONES MEDITERRÁNEAS	31 Mar./4 Abr. 08	Zaragoza	IAMZ/ICARDA/FERT
	CULTIVOS ENERGÉTICOS SOSTENIBLES EN EL MEDITERRÁNEO	5-9 Mayo 08	Zaragoza	IAMZ
	*MEJORA GENÉTICA VEGETAL	29 Sep. 08/5 Jun. 09	Zaragoza	IAMZ/UdL
	GESTIÓN DE RIESGOS EN LA AGRICULTURA MEDITERRÁNEA: SEGUROS AGRARIOS	24-28 Nov. 08	Zaragoza	IAMZ/MAPA-ENESA/MAPFRE
PRODUCCIÓN ANIMAL	*NUTRICIÓN ANIMAL	1 Oct. 07/6 Jun. 08	Zaragoza	IAMZ/UZ/FEDNA
	*MEJORA GENÉTICA ANIMAL Y BIOTECNOLOGÍA DE LA REPRODUCCIÓN	1 Oct. 07/6 Jun. 08	Valencia/Barcelona	UPV/UAB/IAMZ/IVIA/INIA/IRTA
	MÉTODOS ESTADÍSTICOS EN GENÓMICA ANIMAL	15-19 Sep. 08	Zaragoza	IAMZ
	ANÁLISIS Y EVALUACIÓN PROSPECTIVA DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE RUMIANTES	23-27 Feb. 09	Zaragoza	IAMZ
	CONTROL Y ERRADICACIÓN DE ENFERMEDADES ANIMALES REPRESENTATIVAS EN EL MEDITERRÁNEO	30 Mar./3 Abr. 09	Zaragoza	IAMZ/OIE
	PRODUCCIÓN ANIMAL Y GESTIÓN DEL MEDIO AMBIENTE	25-29 Mayo 09	Zaragoza	IAMZ

(* **Cursos de Especialización de Postgrado** del correspondiente Programa Master of Science (*marcados con asterisco en el listado). Se desarrollan cada dos años:

- MEJORA GENÉTICA VEGETAL: 08-09; 10-11; 12-13
- OLIVICULTURA Y ELAIOTECNIA: 07-08; 09-10; 11-12
- NUTRICIÓN ANIMAL: 07-08; 09-10; 11-12
- MEJORA GENÉTICA ANIMAL Y BIOTECNOLOGÍA DE LA REPRODUCCIÓN: 07-08; 09-10; 11-12
- PLANIFICACIÓN INTEGRADA PARA EL DESARROLLO RURAL Y LA GESTIÓN DEL MEDIO AMBIENTE: 08-09; 10-11; 12-13
- MARKETING AGROALIMENTARIO: 07-08; 09-10; 11-12
- ACUICULTURA: 08-09; 10-11; 12-13
- ECONOMÍA Y GESTIÓN DE LA ACTIVIDAD PESQUERA: 08-09; 10-11; 12-13

Se destinan primordialmente a titulados superiores en vías de especialización de posgrado. No obstante se estructuran en unidades independientes para facilitar la asistencia de profesionales interesados en aspectos parciales del programa. Los participantes que cumplan los requisitos académicos pueden optar a la realización del 2º año para la obtención del Título Master of Science. El plazo de inscripción para los cursos de Mejora genética vegetal, Planificación integrada para el desarrollo rural y la gestión del medio ambiente, Acuicultura y Economía y gestión de la actividad pesquera finaliza el 2 de Mayo 2008. El plazo de inscripción para el curso de Olivicultura y elaiotecnica finaliza el 15 de Abril 2009. El plazo de inscripción para los cursos de Nutrición animal, Mejora genética animal y biotecnología de la reproducción y Marketing agroalimentario finaliza el 2 de Mayo 2009.

Los cursos de corta duración están orientados preferentemente a investigadores y profesionales relacionados en el desarrollo de sus funciones con la temática de los distintos cursos. El plazo de inscripción para los cursos de corta duración finaliza 90 días antes de la fecha de inicio del curso.

Becas. Los candidatos de países miembros del CIHEAM (Albania, Argelia, Egipto, España, Francia, Grecia, Italia, Líbano, Malta, Marruecos, Portugal, Túnez y Turquía) podrán solicitar becas que cubran los derechos de inscripción, así como becas que cubran los gastos de viaje y de estancia durante el curso. Los candidatos de otros países interesados en disponer de financiación deberán solicitarla directamente a otras instituciones nacionales o internacionales.

No obstante, en algunos cursos coorganizados con otras instituciones pueden existir becas destinadas a candidatos de algunos países no miembros del CIHEAM. Se recomienda consultar el correspondiente apartado de becas en el folleto informativo que se edita específicamente para cada uno de los cursos programados.

	CURSOS	FECHAS	LUGAR	ORGANIZACIÓN
MEDIO AMBIENTE	DISEÑO Y EJECUCIÓN DE PLANES DE GESTIÓN DE SEQUÍA: ORGANIZACIÓN, METODOLOGÍA Y ACTUACIONES	4-8 Feb. 08	Zaragoza	IAMZ/ICARDA/ FAO/ MEDROPLAN- MEDA Water
	INDICADORES AGROAMBIENTALES Y DE DESARROLLO COMO HERRAMIENTAS DE APOYO A LA GESTIÓN SOSTENIBLE DEL MEDIO RURAL	14-18 Abr. 08	Zaragoza	IAMZ
	RESTAURACIÓN ECOLÓGICA DE RÍOS MEDITERRÁNEOS	9-14 Jun. 08	Zaragoza	IAMZ
	*PLANIFICACIÓN INTEGRADA PARA EL DESARROLLO RURAL Y LA GESTIÓN DEL MEDIO AMBIENTE	29 Sep. 08/5 Jun. 09	Zaragoza	IAMZ/UdL
	ECONOMÍA AMBIENTAL Y DE LOS RECURSOS AMBIENTALES	2-13 Feb. 09	Zaragoza	IAMZ
COMERCIALIZACIÓN	*MARKETING AGROALIMENTARIO	1 Oct. 07/6 Jun. 08	Zaragoza	IAMZ
	MARKETING DE FRUTAS Y HORTALIZAS EN FRESCO	20-24 Oct. 08	Zaragoza	IAMZ
	DESARROLLO DE NUEVOS PRODUCTOS AGROALIMENTARIOS	4-8 Mayo 09	Zaragoza	IAMZ
PESCA Y AGRICULTURA	MARKETING DE PRODUCTOS DEL MAR: TENDENCIAS Y RETOS	12-16 Nov. 07	Zaragoza	IAMZ/FAO/ MAPA-FROM
	ORGANIZACIÓN DE SISTEMAS DE ESTADÍSTICAS PESQUERAS	14-18 Ene. 08	Zaragoza	IAMZ/AECI
	SISTEMAS DE RECIRCULACIÓN Y SU APLICACIÓN EN ACUICULTURA	10-14 Mar. 08	Tarragona	IAMZ/IRTA
	NUTRICIÓN DE PECES: SOSTENIBILIDAD Y CALIDAD DE LOS PRODUCTOS	19-23 Mayo 08	Zaragoza	IAMZ
	*ACUICULTURA	1 Oct. 08/30 Abr. 09	Las Palmas de Gran Canaria	ULPGC/ICCM/IAMZ
	*ECONOMÍA Y GESTIÓN DE LA ACTIVIDAD PESQUERA	6 Oct. 08/30 Abr. 09	Barcelona	UB/MAPA/IAMZ
	REPOBLACIÓN Y POTENCIACIÓN DE STOCKS DE PESCA	15-19 Dic. 08	Zaragoza	IAMZ
	GESTIÓN DE LA SEGURIDAD DEL PESCADO BASADA EN EL ANÁLISIS DE RIESGOS	12-16 Ene. 09	Zaragoza	IAMZ/FAO
	METODOLOGÍAS DE EVALUACIÓN DE STOCKS DE PESCA	16-20 Mar. 09	Zaragoza	IAMZ/CGPM
	USO DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA EN PESCA Y ACUICULTURA	8-19 Jun. 09	Zaragoza	IAMZ/AECI

Información e inscripción. Los folletos informativos de cada curso se editan 6-8 meses antes de la fecha de inicio. Dichos folletos, así como los correspondientes formularios de inscripción pueden solicitarse a la dirección del IAMZ u obtenerse directamente de la página web:

Instituto Agronómico Mediterráneo de Zaragoza

Avenida de Montañana 1005, 50059 Zaragoza (España)
Teléfono +34 976 716000 - Fax +34 976 716001 - e-mail iamz@iamz.ciheam.org
www.iamz.ciheam.org

INSCRIPCIÓN EN AIDA

* Si desea Ud. pertenecer a la Asociación, rellene la ficha de inscripción así como la carta para la domiciliación del pago de la cuota de asociado y envíelas a AIDA. Apto. 727. 50080 Zaragoza.

El abajo firmante solicita su inscripción como miembro de la Asociación Interprofesional para el Desarrollo Agrario.

Apellidos..... Nombre.....

Dirección postal

Teléfono

Profesión..... Empresa de trabajo.....

Área en que desarrolla su actividad profesional

CUOTA ANUAL: Firma.

ITEA 36 €

FORMA DE PAGO:

Cargo a cuenta corriente o libreta

Cargo a tarjeta

Cheque bancario

VISA

Tarjeta número:

MASTERCARD

□□ □□□□□□□□□□□□□□□□

Fecha de caducidad: /

SR. DIRECTOR DE.....

Muy Sr. mío:

Ruego a Vd. se sirva adeudar en la cuenta cte./libreta n.º..... que matengo en esa oficina, el recibo anual que será presentado por la "Asociación Interprofesional para el Desarrollo Agrario".

Atentamente,

Firmado:

BANCO O CAJA DE AHORROS:

SUCURSAL:

DIRECCIÓN CALLE/PLAZA: N.º

CÓDIGO POSTAL:

POBLACIÓN:

