# itea

información técnica económica agraria

REVISTA DE LA ASOCIACIÓN INTERPROFESIONAL PARA EL DESARROLLO AGRARIO



Volumen 111
Número 4
Diciembre 2015

AIDA

www.aida-itea.org

# itea

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

| | | |
|---|---|---|
| 2015 - AÑO XLX<br>Vol. 111 N.º 4<br>http://dx.doi.org/10.12706/itea | **DIRECCIÓN Y REDACCIÓN**<br>Avda. Montañana, 930<br>50059 ZARAGOZA (ESPAÑA)<br>Tel.: 34-976 716305<br>Fax.: 34-976 716335<br>E-mail: cmmarin@aragon.es | Depósito legal: Z-577-82<br>ISSN: 2386-3765<br>INO Reproducciones, S.A.<br>Pol. Malpica, calle E, 32-39<br>(INBISA II, nave 35)<br>50016 Zaragoza |


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

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

COMITÉ ASESOR: Ricardo Aké, Universidad Autónoma de Yucatán, México • Joaquim Balcells, Universidad de Lleida, España • Carlos Cantero, Universidad de Lleida, España Mª Elena Daorden, INTA, Argentina • Mª José Díez, Universidad Politécnica de Valencia, España • Miguel Gómez, Cornell University EEUU • Margarita López, Centro de Investigación Agraria "Finca La Orden-Valdesequera", España • Ana Meikle, Universidad de la República, Uruguay • Mª Teresa Muiño, Universidad de Zaragoza, España • Julio Olivera, Universidad de la República, Uruguay • César Revoredo-Giha, SAC, Reino Unido • Ricardo Revilla, DGA, España • José Antonio Rubio, ITACYL, España Pierre Sans, École Nationale Vétérinaire de Toulouse, Francia • Guillermo Studdert, Universidad del Mar del Plata, Argentina • Alfredo Teixeira, Escola Superior Agrária de Bragança, Portugal • Luis Varona, Universidad de Zaragoza, España

ITEA-Información Técnica Económica Agraria aparece indexada en SCI Expanded, Journal Citation Reports/Science Editions, ICYT, CABI, SCOPUS. Prohibida toda reproducción total o parcial sin autorización expresa de la Asociación Interprofesional para el Desarrollo Agrario, Editor titular del copyright. ITEA no se responsabiliza necesariamente de las opiniones vertidas en los artículos firmados que publica, cuya responsabilidad corresponde a sus autores.

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



Foto y texto: Cristina Mallor

La borraja (*Borago officinalis* L.) es una especie oriunda de la cuenca mediterránea, y ya es mencionada por Teofrasto en el siglo III a.d.C., así como por Dioscórides y Plinio el Viejo, por sus cualidades diuréticas, sudoríficas y expectorantes. Desde los años 80, el interés de la borraja se ha centrado en su contenido en ácido gamma-linolénico, un precursor de las prostaglandinas, de gran interés en farmacia y cosmética, siendo la semilla de borraja la fuente más rica conocida de dicho ácido. Es un cultivo hortícola característico del Valle del Ebro, donde se destina principalmente para el consumo de sus hojas y peciolos como verdura. En el Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA) se realizó un proceso de selección en los años 80 con el objetivo de retrasar la subida a flor de las plantas, que deprecia el producto, obteniendo la variedad Movera (de flor blanca), actualmente la más cultivada por los agricultores.

# Sumario


**Producción Vegetal**

Alternativas al penoxsulam para control de *Echinochloa* spp. y ciperáceas en cultivo de arroz en el nordeste de España.
*Alternatives to penoxsulam to control* Echinochloa *spp. and cyperaceous weeds in rice crop in NE Spain*.
G. Pardo, A. Marí, S. Fernández-Cavada, C. García-Floria, S. Hernández, C. Zaragoza y A. Cirujeda 295

Selección *in vitro* e identificación de aislados de *Trichoderma* spp. y *Bacillus* spp. nativos para el control de *Phymatotrichopsis omnivora*.
In vitro *selection and identification of isolated of* Trichoderma *spp. and* Bacillus *spp. native to control* Phymatotrichopsis omnivora.
B.E. López-Valenzuela, A.D. Armenta-Bojórquez, S. Hernández-Verdugo, M.A. Apodaca-Sánchez, J.A. Samaniego-Gaxiola, K.Y. Leyva-Madrigal y A. Valdez-Ortiz 310

**Producción Animal**

Comportamiento materno y bienestar de la coneja doméstica y silvestre y su camada.
*Maternal behaviour and welfare of the domestic and wild rabbit doe and its litter.*
P. González-Redondo, G. González-Mariscal, M. López, J. Fernández-Carmona, A. Finzi y A. Villagrá 326

La enseñanza de la Mejora Genética Animal. ¿Qué, cuándo y dónde?.
*Teaching of Animal Breeding. What, when, where?.*
J. Piedrafita 348

**Economía Agraria**

El modelo cooperativo de sistemas agroalimentarios de innovación: el caso ANECOOP y el sistema citrícola valenciano.
*The cooperative model of agri-food innovation systems: ANECOOP and the Valencian citrus industry system.*
J.R. Gallego-Bono y R. Chaves-Avila 366

Estudio sobre la maximización del beneficio de las empresas productoras de limones teniendo en cuenta la fecha de cosecha de los frutos.
*Study on maximising profits obtained by lemon-producers based on fruit harvesting time.*
J.M. Brotons, F.J. Manera, A. Conesa y I. Porras 384

# Alternativas al penoxsulam para control de *Echinochloa* spp. y ciperáceas en cultivo de arroz en el nordeste de España

G. Pardo[1,*], A. Marí[1], S. Fernández-Cavada[2], C. García-Floria[3], S. Hernández[4], C. Zaragoza[1] y A. Cirujeda[1]

[1] Departamento de Sanidad Vegetal. CITA, Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA). Avda. Montañana 930, 50059, Zaragoza, España
[2] Centro de Sanidad y Certificación Vegetal (CSCV). Dpto. de Agricultura, Ganadería y Medio Ambiente. Zaragoza, España
[3] Atria Arroceros de Huesca, S. Lorenzo de Flúmen. Huesca, España
[4] Atria Arrocera del Pirineo. Zaragoza, España

**Resumen**

Penoxsulam es un herbicida que se aplica de forma generalizada en los arrozales del nordeste peninsular al resultar eficaz frente a *Echinochloa* spp. y tener cierto control frente a ciperáceas, pero tiene el inconveniente de pertenecer a un grupo de herbicidas vulnerable a la aparición de resistencias. El objetivo del trabajo fue buscar programas de herbicidas alternativos al penoxsulam para preservar el máximo de tiempo posible las escasas materias activas disponibles. El trabajo constó de 6 ensayos, distribuidos en 3 localidades (Huesca y Zaragoza) durante tres años de cultivo (2011-2013). En cada ensayo se aplicaron 8 programas herbicidas repetidos dos veces y distribuidos al azar. Los resultados mostraron que, efectivamente, penoxsulam aplicado en estado de 1-3 hojas de arroz controla satisfactoriamente *Echinochloa* spp., con aplicación previa de oxadiazon en presiembra. Los dos mejores programas alternativos fueron: (1) Aplicación en presiembra de oxadiazon, en 1-3 hojas de arroz, profoxidim, y hasta ahijado del arroz, bentazona+MCPA, o halosulfuron-metil (2) aplicación en 1-3 hojas del arroz: propanil+bispiribac-Na, y hasta ahijado, bentazona+MCPA, controlando además ciperáceas, teniendo como inconveniente este último programa que bispiribac-Na es del mismo modo de acción que penoxsulam (aunque pertenece a otra familia química). Los resultados muestran, por tanto, que existen varias combinaciones eficaces sobre las malas hierbas objetivo para prevenir la aparición de resistencias a los herbicidas.

**Palabras clave:** Malas hierbas, pata de gallo, juncia de agua, castañuela, resistencia a herbicidas.

**Abstract**
**Alternatives to penoxsulam to control *Echinochloa* spp. and cyperaceous weeds in rice crop in NE Spain**

Penoxsulam is commonly-used in rice crop in North eastern Spain with excellent control against *Echinochloa* ssp. and with some effect on Cyperaceae, but it belongs to an herbicide group prone to develop resistant biotypes. The aim of this work was to test herbicide programmes alternative to penoxsulam to preserve the efficacy of the few available active ingredients. The work consisted of 6 trials. Located in three locations during three years (2011-2013). In each trial eight herbicide programmes were applied, in two replicates distributed randomly in the field. The results showed that, effectively, penoxsulam had

* Autor para correspondencia: gpardos@aragon.es
http://dx.doi.org/10.12706/itea.2015.019

a good control on *Echinochloa* spp. after applying oxadiazon presowing. The best two alternative programmes to control *Echinochloa* ssp. and cyperaceous weeds were: (1) oxadiazon presowing followed by an application of profoxydim at 1-3 leaves stages of the rice and a third treatment until rice tillering of bentazone + MCPA or halosulfuron-metil and (2) propanil + bispyribac-Na at 1-3 leaves stage of the rice, a second treatment until rice tillering of bentazone + MCPA controlling both *Echinochloa* spp. and cyperaceous weeds. The drawback of this second programme is that bispyribac-Na belongs to the same mode of action group as penoxsulam although to different chemical families. However, the results show that it is possible to control the target weeds with several herbicide combinations to prevent herbicide-resistance appearance.

**Key words:** Weeds, barnyardgrass, late watergrass early watergrass, smallflower umbrella, sedge, herbicide resistance.

## Introducción

### Importancia de las malas hierbas en el cultivo del arroz

El cultivo de arroz en España alcanzó en 2013 más de 112.000 ha con una producción media de 7,8 t/ha. Hasta el año 2011 en el nordeste de la península (Navarra y Aragón) se sembraron más de 15.000 ha, habiéndose producido un descenso desde entonces (MAGRAMA, 2014) debido a sequías y a transformaciones de regadío.

Las malas hierbas son responsables de las mermas de rendimiento en arroz en mayor medida que las plagas o enfermedades (Oerke, 2006). A nivel mundial, se estima en un 37% la reducción de rendimiento en el arroz como consecuencia de ellas, suponiendo una producción media mundial de 3,9 t/ha. No obstante, como el rendimiento en España es mayor, es de esperar que la competencia también lo sea: el propio Oerke demuestra que la competencia de las hierbas se incrementa paulatinamente al aumentar el rendimiento potencial. En esta línea, para Europa se estima que las malezas sin controlar podrían causar entre un 55-60% de pérdidas en arroz (Oerke, *et al*., 1994) o concretamente en Italia hasta el 92% (Ferrero *et al*., 1999).

El cultivo del arroz sembrado en Europa presenta el problema adicional de que en la gran mayoría de los casos se realiza en forma de monocultivo, es decir, sin rotaciones. La rotación de cultivos es un método agronómico muy eficaz y frecuente en el manejo de las hierbas en muchos cultivos (Anderson, 2007). Sin embargo, no es una opción disponible para la mayoría de arrozales españoles, debido a la salinidad del suelo, aunque en zonas con niveles algo inferiores se está rotando con cebada o festuca.

A nivel mundial, la mala hierba más nociva y de difícil manejo en arroz es el arroz rojo o salvaje (*Oryza sativa* var. *sylvatica*) aunque en el noreste de España apenas prolifera. Poco frecuentes, de momento, son otras gramíneas del género *Leptochloa* spp. Más habituales son ciperáceas como *Cyperus difformis* y *Scirpus mucronatus* (especie perenne que se reproduce por tubérculos). Pero en Europa, también en las distintas áreas españolas, las especies del género *Echinochloa* son las que requieren mayores medidas de control (Osuna *et al.*, 2012). Su manejo en arroz resulta muy complejo porque se trata de especies gramíneas muy similares al cultivo, con gran diversidad genética, germinación escalonada y gran capacidad de ahijamiento (Vidotto y Ferrero, 2013).

Por otra parte, la taxonomía de este género siempre ha sido fuente de controversia y contradicción entre los botánicos. Esto es así porque las especies de *Echinochloa* presentan un elevado polimorfismo y porque aún siendo plantas autógamas, es relativamente frecuen-

te su hibridación interespecífica, apareciendo individuos con características intermedias, por lo que resulta difícil identificarlas y clasificarlas. Así, se han propuesto hasta 7 clasificaciones, siendo la más útil para España la de Carretero (1981). Este autor establece que en España, en zonas arroceras, existen 5 especies: *E. crus-galli*, *E. colonum*, *E. hispidula*, *E. oryzoides* y *E. oryzicola* (*E. phyllopogon*), aunque *E. colonum* prefiere condiciones de no inundación y es poco frecuente o ausente en arrozales. Desde hace algún tiempo es frecuente complementar las caracterizaciones morfológicas de *Echinochloa*. spp. con las moleculares para identificar de manera rápida y correcta las diferentes especies y subespecies (Yasuda *et al.,* 2002; Ruiz-Santaella *et al*., 2006; Tabacchi *et al*., 2006; Mennan y Kaya-Altop, 2012).

## Control químico de *Echinochloa* spp. y ciperáceas en cultivo de arroz

En el arroz la aplicación de herbicidas es mucho más complicada que en cualquier otro cultivo por las condiciones de inundación. Los requerimientos técnicos varían mucho de unas materias activas a otras. Unas veces es necesario incrementar el nivel de agua en la parcela (molinato, aplicación muy temprana) y otras lo contrario; para que *Echinochloa* spp. absorba los herbicidas se requiere que la planta sobrepase la lámina de agua con lo que se debe vaciar la parcela antes de tratar (p.e cihalofop y profoxidim). Posteriormente, para incrementar el efecto del herbicida se debe elevar el nivel del agua. La temperatura también tiene mucha importancia, pues si éstas son bajas, la mayoría de herbicidas frente *Echinochloa* pierden eficacia. En arrozales del norte de la península éste es un gran inconveniente, que se manifiesta sobre todo en los tratamientos de pre y postemergencia temprana que, por otra parte, es casi obligatorio realizar. Estas bajas temperaturas, además, hacen que el arroz en estas zonas, a diferencia de las del resto de España, germine y se desarrolle lentamente y las malas hierbas, mejor adaptadas, ocupen antes el terreno. Esto hace necesario que haya tratamientos eficaces y selectivos en etapas iniciales del cultivo y además con herbicidas que sean activos en ambientes de bajas temperaturas, lo cual no es fácil de conseguir. Hay que tener en cuenta que los herbicidas pueden resultar fitotóxicos para el arroz y que éste es más sensible cuanto más joven es (Aguilar, 2010).

Por otra parte, es de esperar que las distintas especies de *Echinochloa* tengan distinta sensibilidad frente a un herbicida concreto, por lo que tener conocimiento de ello ayudaría a diseñar mejor los tratamientos (Senero *et al*., 2011). Algunos estudios previos muestran que propanil controla de manera eficaz *E. oryzicola* y *E. oryzoides* mientras que *E. hispidula* o *E. crus-galli* se controlan con eficacias algo peores. Ocurre justo al revés con profoxidim, cihalofop y molinato, es decir, se controlan con elevadas eficacias *E. hispidula* y *E. crus-galli* y con eficacias peores *E. oryzicola* y *E. oryzoides*. El azimsulfuron, en cambio, controla todas ellas con eficacias intermedias (Taberner, 2006).

También en Italia se han observado diferencias en la sensibilidad de las especies de *Echinochloa*. Concretamante, *E. crus-galli* resultaba más sensible frente a 5 materias activas (propanil, molinato, cihalofop-butil, bensulfuron-metil y azimsulfuron) que *E. erecta* o *E. phyllopogon* (*E. oryzicola*) mientras todas tenían una susceptibilidad parecida al quinclorac (Vidotto *et al*., 2007).

En cuanto a la eficacia, las materias activas con tratamientos correctamente aplicados pueden obtener muy buenos resultados aún cuando se desconozca las especies de *Echinochloa* tratadas. Así, en un ensayo realizado en las marismas sevillanas se obtuvo un excelente control sobre *Echinochloa* spp. con los herbicidas profoxidim, bispiribac-Na y penoxsulam a los 30 días después del tratamiento y sin apenas fitotoxicidad al cultivo (Montes y Delgado,

2005). En otro ensayo en Chile aplicaciones de 20 a 40 g i a/ha penoxsulam aplicado sobre el agua consiguieron un 100% de control sobre *Echinochloa* spp. (Kogan *et al*., 2011).

En cuanto a ciperáceas, en la península destacan la especie *Cyperus difformis* (anual que se reproduce por semillas) y las del género *Scirpus* (normalmente perennes que se reproducen vegetativamente). Esto hace que *C. difformis* se disperse más rápidamente y que *Scirpus* spp. presente, en principio, mayor dificultad para ser controlada por herbicidas. Los herbicidas autorizados que más efecto tienen sobre este grupo de malezas son en su mayoría inhibidores de la enzima Acetolactato Sintasa (ALS) (Taberner, 2006). Por ejemplo en Chile (Kogan *et al*., 2011) encontraron una eficacia del 60% sobre *S. mucronatus* y del 90% frente a *C. difformis* con penoxsulam. Aunque también se logra un buen control con bentazona (interrupción del flujo de electrones en el fotosistema II), en *C. difformis*, mientras que MCPA obtiene peores resultados (Pardo *et al*., 2013b).

### Las resistencias de malas hierbas del arroz frente a los herbicidas

El cultivo de arroz es una situación particularmente vulnerable a la aparición de resistencias según los criterios del CPRH (2000) porque (1) suele ser un monocultivo; (2) en una misma campaña se pueden dar hasta tres aplicaciones herbicidas (muchas veces con mezclas) para abarcar todo el espectro de flora que suele aparecer; (3) de los 18 herbicidas autorizados en España, 14 de ellos pertenecen a los grupos A o B, por lo que no existen muchas posibilidades a la hora de rotar su uso (Tabla 1); (4) la mayor parte de estas materias activas son inhibidoras ALS (Tabla 1.1), el modo de acción más propenso a generar resistencias (Heap, 2014).

De hecho, ya se han descrito numerosos casos de resistencias a herbicidas en malas hierbas de arroz. Por ejemplo, hay 3 casos de resistencia en *S. mucronatus*, 8 casos de resistencia en *C. difformis*, todos ellos frente a herbicidas ALS (Heap, 2014), a los que hay que añadir otro descrito para Extremadura recientemente frente a penoxsulam (Pardo *et al*., 2013a). Pero el caso más preocupante es el de *Echinochloa*, pues hay 61 casos de resistencia a herbicidas en 6 especies (Heap, 2014) y está descrita como una de las situaciones en que más frecuentemente aparecen resistencias (Rao *et al*., 2007).

En los arrozales del norte de la península el control de *Echinochloa* se basa en gran medida en la aplicación de penoxsulam, que es una materia activa relativamente nueva y muy eficaz, por lo que los agricultores cada vez la usan más (Hernández y García, comunicación personal). De lo descrito anteriormente se deduce que si no se proponen alternativas a esta situación, la aparición de biotipos de *Echinochloa* resistentes a penoxsulam será un hecho en un futuro cercano. Por tanto, existe la necesidad de buscar alternativas al uso del penoxsulam en el control de *Echinochloa* para preservar esta herramienta durante el máximo de tiempo posible. Por otro lado, el control de ciperáceas es también complicado, por lo que en el presente trabajo se plantean tres objetivos: 1) Control de *Echinochloa* spp. con herbicidas alternativos al penoxsulam para la prevención de aparición de resistencias. 2) Evaluación de la eficacia de diferentes programas de herbicidas sobre cada especie concreta de *Echinochloa*. 3) Control de ciperáceas con diferentes programas herbicidas.

## Material y métodos

Se realizaron en total seis ensayos, tres en la provincia de Huesca: San Lorenzo de Flúmen de 2011 a 2013 (41° 53'N, 0° 11'W en 2011 y 2013; 41° 52'N, 0° 12'W en 2012) y otros tres en la provincia de Zaragoza: Santa Anastasia en

Tabla 1. Materias activas autorizadas en cultivo de arroz (2014) y modo de acción
*Table 1. Active matters authorized in rice crop (2014) and mode of action*

| Materia activa | Registrada | Registrada | Registrada | Modo de acción |
|---|---|---|---|---|
| | *Echinochloa* spp. | *Cyperus* spp. | *Scirpus* spp. | |
| azimsulfuron | X | X | X | Inhibidor ALS |
| bensulfuron-metil | – | X | – | Inhibidor ALS |
| bentazona | – | X | – | Inhibidor PSII |
| bispiribac-sodio | X | X | – | Inhibidor ALS |
| cletodim[1] | – | – | – | Inhibidor ACCasa |
| cicloxidim[1] | X | – | – | Inhibidor ACCasa |
| cihalofop-butil | X | – | – | Inhibidor ACCasa |
| clomazona | X | – | – | Inhibidor HPPD |
| halosulfuron-metil | – | X | – | Inhibidor ALS |
| Imazamox[2,3] | X | X[4] | X | Inhibidor ALS |
| imazosulfuron | – | X | – | Inhibidor ALS |
| MCPA | – | – | – | Auxina sintética |
| molinato | X | – | – | Inhibidor síntesis lípidos |
| ortosulfamuron | – | X | – | Inhibidor ALS |
| oxadiazon[1] | X[5] | – | – | Inhibidor PPO |
| penoxsulam | X | X | – | Inhibidor ALS |
| profoxidim | X | – | – | Inhibidor ACCasa |
| propaquizafop[1] | X | – | – | Inhibidor ACCasa |

Tabla elaborada a partir del Registro de Productos Fitosanitarios del MARM.

[1] En presiembra; [2] Solo en variedades "Clearfield"; [3] Solo controla bien *E. crus-galli*;
[4] Medianamante sensible [5] Cierta acción complementaria.

2011 y 2012 (42º 9'N, 1º 14'W) y Ejea de los Caballeros en 2013 (42º 8'N, 1º 3'W). La siembra se realizó en todos las casos de forma manual, a voleo con la variedad "Guadiamar" (tipo japónica), en las fechas indicadas en la Tabla 2.

Todos los años se aplicaron un total de 8 programas herbicidas en las fechas indicadas en la Tabla 2, que fueron elegidos de acuerdo a criterios de técnicos de la zona para controlar *Echinochloa* pero también ciperáceas. Para cumplir con el objetivo del trabajo, algunas combinaciones tuvieron penoxsulam y otras sus posibles alternativas: profoxidim, bispiriba-Na…). No se incluyó cihalofop porque se le ha observado poca eficacia en la zona, con bajas temperaturas, sobre todo en aplicaciones tempranas que es cuando debe aplicarse. Algunos de estos programas fueron sustituidos o ligeramente modificados de un año a otro,

Tabla 2. Fecha de siembra y de los distintos tratamientos herbicidas realizados en los ensayos
*Table 2. Sowing date and herbicide treatments schedule of trials*

| Año | Localidad | Siembra | Presiembra | Postemergencia temprana[1] | Postemergencia tardía[2] |
|---|---|---|---|---|---|
| 2011 | SLF (Hu) | 19/05 | 13/05 | 16-18/06 | 26-28/06 |
| | SA (Z) | 16/05 | 10/05 | 14-16/06 | 01-03/07 |
| 2012 | SLF (Hu) | 02/06 | 28/05 | 25/06-03/07 | 05-10/07 |
| | SA (Z) | 05/06 | 30/05 | 02/07 | 06-27/07 |
| 2013 | SLF (Hu) | 01/06 | 27/05 | 03-09/07 | 22/07 |
| | EDC (Z) | 27/05 | 14/05 | 05/07 | 29/7 |

[1] Estado fenológico del arroz menor de tres hojas, salvo los tratamientos con molinato que se aplicaron 1-2 días tras la siembra.

[2] Estado fenológico del arroz antes de ahijado. SLZ (Hu): San Lorenzo de Flúmen (Huesca). SA (Z): Santa Anastasia (Zaragoza). EDC (Z): Ejea de los Caballeros (Zaragoza).

en función de los resultados obtenidos (Tabla 3). Cada parcela estuvo separada de la adyacente con caballones permitiendo tener entrada y salida de agua independiente para evitar problemas de contaminaciones entre tratamientos y poder controlar el nivel del agua según las necesidades del producto a aplicar.

Cada parcela elemental tratada dispuso de una parcela testigo adyacente de las mismas dimensiones. Las parcelas se distribuyeron en dos bloques al azar, siendo la parcela elemental de 100 $m^2$ (25x4) incluidos los testigos. Los tratamientos se realizaron con mochila de palanca marca "Maruyama" con barra de 2 m y boquillas Teejet® XR 110. Se realizaron dos pasadas en cada parcela. El volumen de caldo aplicado fue de 250 l/ha. Se añadieron los mojantes recomendados en cada caso.

La eficacia de los programas ensayados se valoró todos los años entre septiembre y octubre cuando el arroz estaba ya espigado y su grano en estado de lechoso a duro. Para ello se contaron las inflorescencias de *Echinochloa* spp., y de ciperáceas presentes. El conteo se realizó lanzando un cuadro de 0,25 $m^2$, 4 veces al azar en la zona central de cada parcela. Posteriormente se determinó la eficacia mediante la fórmula de Abbot: E = 100-(H/T*100) siendo H la densidad en las parcelas tratadas y T la densidad en la parcela testigo adyacente (Ciba-Geigy, 1992). Además, en los dos últimos años en cada ensayo, se recogieron, siempre que fue posible (cuando la eficacia no fue total) diez panículas al azar en cada una de las parcelas tratadas y en los testigos, para identificar posteriormente en laboratorio la especie concreta de *Echinochloa* de que se trataba, empleando la clave de Carretero (2004).

En ensayos de malas hierbas suele ser frecuente que haya dificultad para normalizar los datos y conseguir varianzas homogéneas, aunque se realicen transformaciones, imposibilitando en estos casos realizar ANOVAs. Por ello, en la actualidad se tiende cada vez más a realizar estadística descriptiva (Onofri *et al*., 2009). En este estudio, se optó por representar los resultados en el llamado gráfico de cajas y bigotes o boxplot, ya que las transformaciones arcoseno y raíz (x) no lograron normalizar los datos. Este gráfico representa la mediana, los cuartiles, el límite superior e inferior, y los datos atípicos. Estos gráficos se realizaron con ayuda del software R (R Core Team, 2014) y siguiendo el protocolo descrito en Ritz y Streibig (2009).

Tabla 3. Programas de herbicidas aplicados cada año
*Table 3. Programmes of applied herbicides each year*

| Programa | Año | | | Presiembra | | Postemergencia temprana | | Postemergencia tardía | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2011 | 2012 | 2013 | Materia activa | Dosis g i.a./ha | Materias activas | Dosis g i.a./ha | Materias activas | Dosis g i.a./ha |
| **1** | **x** | **x** | **x** | oxadiazon | 500 | penoxsulam+bensulfuron-metil | 40 + 60 | – | – |
| **2** | **x** | **x** | **x** | oxadiazon | 500 | penoxsulam+halosulfuron-metil | 40 + 3,75 | – | – |
| **3** | **x** | **x** | **x** | oxadiazon | 500 | profoxidim | 100 | bentazona+MCPA | 1600 + 240 |
| **4** | **x** | **x** | **x** | oxadiazon | 500 | profoxidim | 100 | halosulfuron-metil | 3,75 |
| **5** | **x** | | | oxadiazon | 500 | clomazona | 360 | bentazona+ MCPA | 1600 + 240 |
| **6** | **x** | | | oxadiazon | 500 | clomazona+bensulfuron-metil | 360 + 60 | – | – |
| **7** | **x** | **x** | | – | – | penoxsulam | 40 | bentazona+ MCPA | 1600 + 240 |
| **8** | **x** | **x** | | – | – | molinato[1] | 4320 | halosulfuron-metil | 3,75 |
| **5.1** | | **x** | **x** | – | – | penoxsulam+propanil | 40 + 528 | propanil | 528 |
| **6.1** | | **x** | **x** | oxadiazon | 500 | propanil+MCPA | 528 + 300 | propanil | 528 |
| **7.1** | | | **x** | – | – | propanil+bispiribac-Na | 528 + 12,2 | bentazona+ MCPA | 960 + 300 |
| **8.1** | | | **x** | – | – | molinato* | 4320 | bentazona+MCPA | 1000 |

[1] Aplicación en imbibición de la semilla de arroz (1-2 días tras la siembra).

## Resultados y discusión

Control sobre *Echinochloa* spp.

Los programas 1 y 2 (penoxsulam+bensulfuron y penoxsulam+halosulfuron) fueron, como era de esperar, los más eficaces para controlar las especies de *Echinochloa*. En cualquier situación su eficacia no bajó del 90%. Hay que tener en cuenta que, además, esta eficacia se consigue solo con la adición previa de oxadiazon, y sin tener que aplicar otros herbicidas en postemergencia tardía (Figura 1). Ello explica por qué los agricultores usan en gran medida penoxsulam frente a *Echinochloa*. El resto de herbicidas de la mezcla, en principio, tendrían poca eficacia sobre esta gramínea, ya que solo están registrados para ciperáceas (Tabla 1). Los resultados coinciden con los de Kogan *et al*. (2011) que consiguieron un 100% de eficacia utilizando penoxsulam sobre *Echinochloa* en arrozales chilenos.

El programa 3 (oxadiazon/profoxidim/bentazona+MCPA) se presenta como una buena alternativa a los dos anteriores con un control muy bueno si exceptuamos el ensayo de Santa Anastasia en 2011. Esto indica que profoxidim es también una buena herramienta para controlar *Echinochloa*. El programa 4 (oxadiazon/profoxidim/halosulfuron) también obtuvo controles satisfactorios en la mayoría de las situaciones, lo cual refuerza el potencial del profoxidim como alternativa al penoxsulam.

Con el resto de programas ensayados se consiguieron resultados algo menos satisfactorios y variables. Los programas 5 y 6 a base de clomazona, con bentazona en postemergencia temprana y mezclado con bensulfuron, respectivamente, consiguieron eficacias que oscilaron entre el 50 y el 80% en 2011. Se debe tener presente que los programas 5 y 6 fueron diseñados para el control de ciperáceas. Los resultados de eficacia obtenidos sobre *Echinochloa* son inferiores a los publicados por otros autores. Sin embargo, aunque en este trabajo la clomazona solo se incluye en 2 localidades y solo 1 año, estos resultados de eficacias intermedias pueden ser interesantes porque se trata de un modo de acción diferente del resto de herbicidas disponibles en este cultivo. Probablemente, si se pone a punto la forma de aplicación de esta sustancia, se podría considerar como alternativa. En otros estudios realizados en el valle del Ebro (Zaragoza), clomazona sí se muestra muy eficaz para controlar *Echinochloa* spp. (Cavero *et al*., 2011) aunque se trataba de situaciones distintas: el cultivo de arroz en aspersión, la aplicación del herbicida en presiembra y la especie *E. crus-galli* que en principio, dentro de este grupo de especies, es la mejor controlada por este producto.

Con el programa 7, a base de penoxsulam/bentazona+MCPA se obtuvieron resultados algo peores que con 1 y 2 (50-90% eficacia). Estos resultados confirman la utilidad de las aplicaciones de oxadiazon en presiembra. En 2013 se decidió sustituir el penoxsulam por la mezcla propanil+bispiribac-Na (tratamiento 7.1), obteniendo un resultado excelente. Por ello, bispiribac-Na podría ser una buena alternativa al penoxsulam ya que, aunque su modo de acción es el mismo, pertenece a distinta familia química. Respecto al propanil, programas 5.1 y 6.1, hay que decir que se han obtenido resultados variables. Aunque algunos autores han obtenido resultados muy buenos sobre *Echinochloa* con este producto (Pacanosk y Glatkova, 2009), lo han hecho en base a una dosis de aplicación mucho mayor que en este trabajo (4900 *vs* 528 g i.a./ha). Se tienen dudas sobre la eficacia de este producto a la dosis actualmente autorizada en España, casi 7 veces menos que la anterior. Además, es posible incluso que interfiera en la acción del penoxsulam si se aplican juntos, pues el tratamiento 5.1 obtuvo, en general, eficacias muy bajas.

Con el programa 8, a base de molinato/halosulfuron, o su sustituto en 2013, el 8.1, moli-

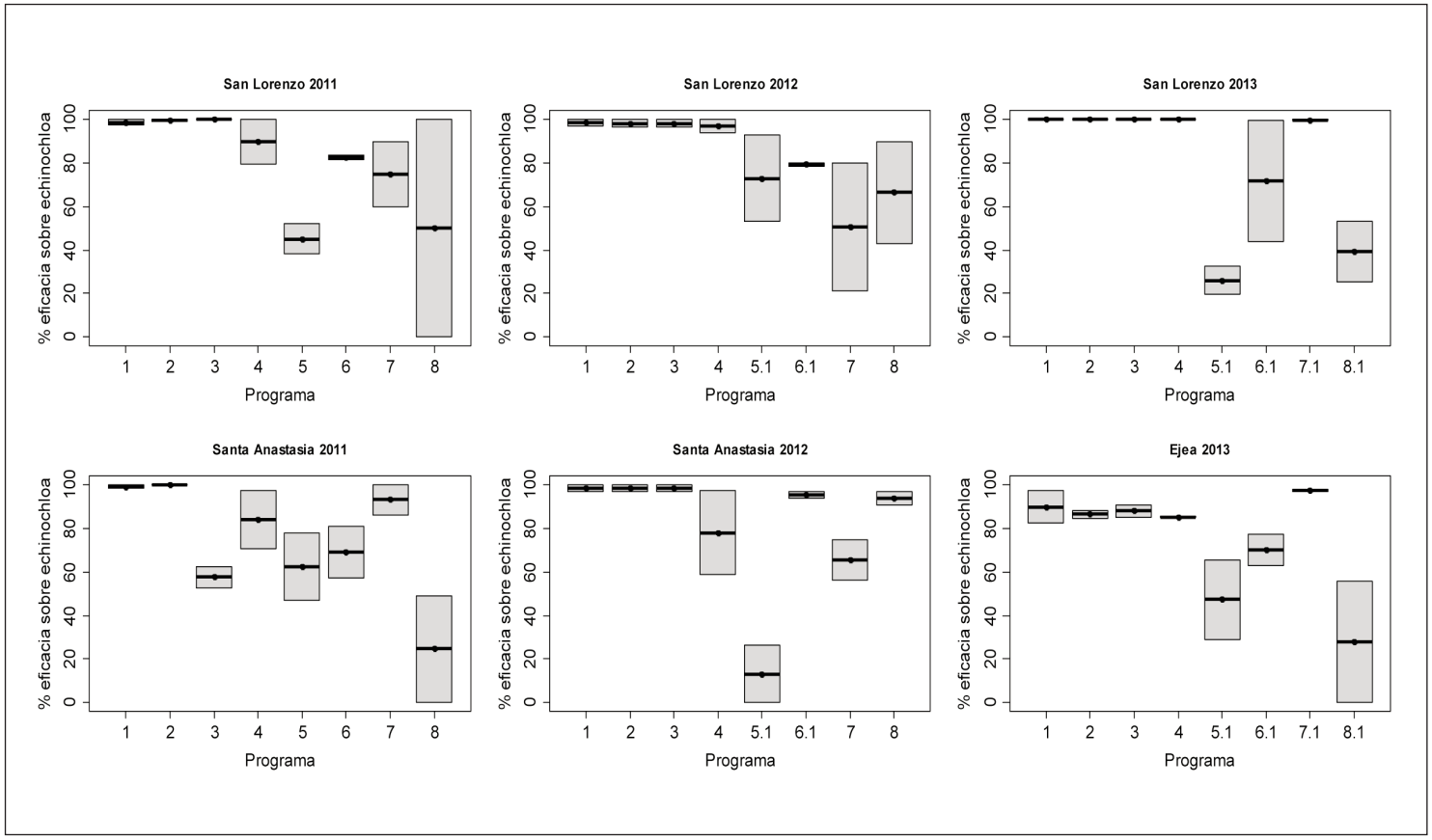



Figura 1. Eficacia de los diferentes programas sobre *Echinochloa* spp. a los 120 días tras la siembra.
*Figure 1. Efficacy of different programmes for* Echinochloa *spp. control at 120 days after sowing.*

**1:** oxadiazon 500 / penoxsulam + bensulfuron-metil 40+60 / -. **2:** oxadiazon 500 / penoxsulam+ halosulfuron-metil 40+3,75 / -. **3:** oxadiazon 500 / profoxidim 100 / bentazona+MCPA 1600+240. **4:** oxadiazon 500 / profoxidim 100 / halosulfuron-metil 3,75. **7:** - / penoxsulam 40 / bentazona+MCPA 1600+240. **8:** - / molinato 4320 / halosulfuron-metil 3,75. **5.1**: - / penoxsulam+propanil 40+528 / propanil 528. **6.1:** oxadiazon 500 / propanil+MCPA 528+300 propanil 528. **7.1:** - / propanil+bispiribac-Na 528+12,2 / bentazona+MCPA 960+300. **8.1:** - / molinato 4320 / bentazona+MCPA 1000. Secuencia empleada en los programas: presiembra / postemergencia temprana / postemergencia tardía. Las cifras tras las materias activas indican los g i.a/ha.

nato/bentazona+MCPA se obtuvieron, en la mayoría de las situaciones, los peores resultados del estudio (excepción Santa Anastasia, 2012). Ello puede ser lo esperado ya que, molinato, aunque está registrada para *Echinochloa*, es una materia que lleva muchos años aplicándose, y es normal que la flora se vaya adaptando poco a poco y pierda eficacia con el paso de los años o incluso haya biotipos resistentes, pues en California (EEUU) ya se ha demostrado este hecho en *E. crus-galli*, *E. oryzoides* y *E. oryzicola* (Heap, 2014).

En definitiva, los herbicidas que tienen eficacias similares al penoxsulam y que podrían sustituirlo y formar parte de programas herbicidas para controlar *Echinochloa* spp, serían el profoxidim y el bispiribac-Na.

### Distribución de las distintas especies de *Echinochloa* spp.

Los resultados muestran que la especie dominante cuando no se trata con herbicidas (testigo) es *E. crus-galli*, con la excepción de San Lorenzo en 2012, en la que abundaban más *E. oryzoides* y *E. oryzicola* (Figura 2). Los resultados son los esperables, ya que se trata de zonas arroceras relativamente recientes y *E. crus-galli* se puede considerar autóctona de la zona, mientras que las otras especies son más típicas de zonas arroceras más tradicionales, mejor adaptadas a la inundación y, aunque hay excepciones con algunas materias activas, menos susceptibles a la mayoría de los herbicidas que se aplican en arroz (Vidotto *et al*., 2007).

La distribución de especies tras los tratamientos varía, aunque como norma general, *E. crus-galli* disminuye su proporción tras los tratamientos. Ello confirmaría lo dicho en el apartado anterior relativo a la mayor susceptibilidad general de esta especie frente a la mayoría de herbicidas aplicados, hecho también observado por Damalas *et al*. (2008). También se sabe que *E. oryzoides* y *E. oryzicola* emergen más tarde y como muchos antigramíneas de los distintos programas se aplican muy temprano, simplemente escapan al tratamiento, pues cuando aparecen, el herbicida ya no es absorbido y es la causa de un control diferencial (Chun *et al*., 1996).

Los tratamientos más efectivos, sobre todo los que tienen como base a penoxsulam, para controlar gramíneas, siguiendo a oxadiazon (programas 1 y 2) parecen controlar a todas las especies muy eficazmente. La excepción sería Ejea en 2013 donde la eficacia fue algo peor, aunque controlando totalmente *E. crus-galli* pero quedando individuos aislados de *E. oryzoides* y *E. oryzicola*.

A propanil se le achaca mejor control sobre *E. oryzoides* o *E. oryzicola* en Cataluña (Taberner, 2006), pero de los resultados de nuestro estudio (programas 5.1, 6.1 y 7.1) sólo puede constatar esta afirmación débilmente en San Lorenzo 2013. Molinato (programas 8 y 8.1) sí hace descender la proporción de *E. crus-galli* en tres de las cuatro situaciones estudiadas (no varía respecto al testigo en Ejea, 2013). Por último, profoxidim (programas 3 y 4) cumple lo esperado y todos los años hace disminuir la proporción de *E. crus-galli* respecto a las demás especies, de manera ligera en Santa Anastasia en 2012 y más clara en el resto de situaciones.

En resumen, los resultados del estudio están en la línea de lo consultado en la bibliografía, excepto en el caso del propanil, aunque hay que tener en cuenta su baja dosis, y que no se ha probado una materia activa sola, sino en mezclas, y tanto el oxadiazon como las materias más encaminadas a controlar ciperáceas enmascaran posiblemente los resultados.

### Control sobre ciperáceas

La menor densidad y mayor heterogeneidad en campo de *Cyperus* spp. y *Scirpus* spp. fueron las causas que explican que los datos sean variables de un ensayo a otro. No se mues-

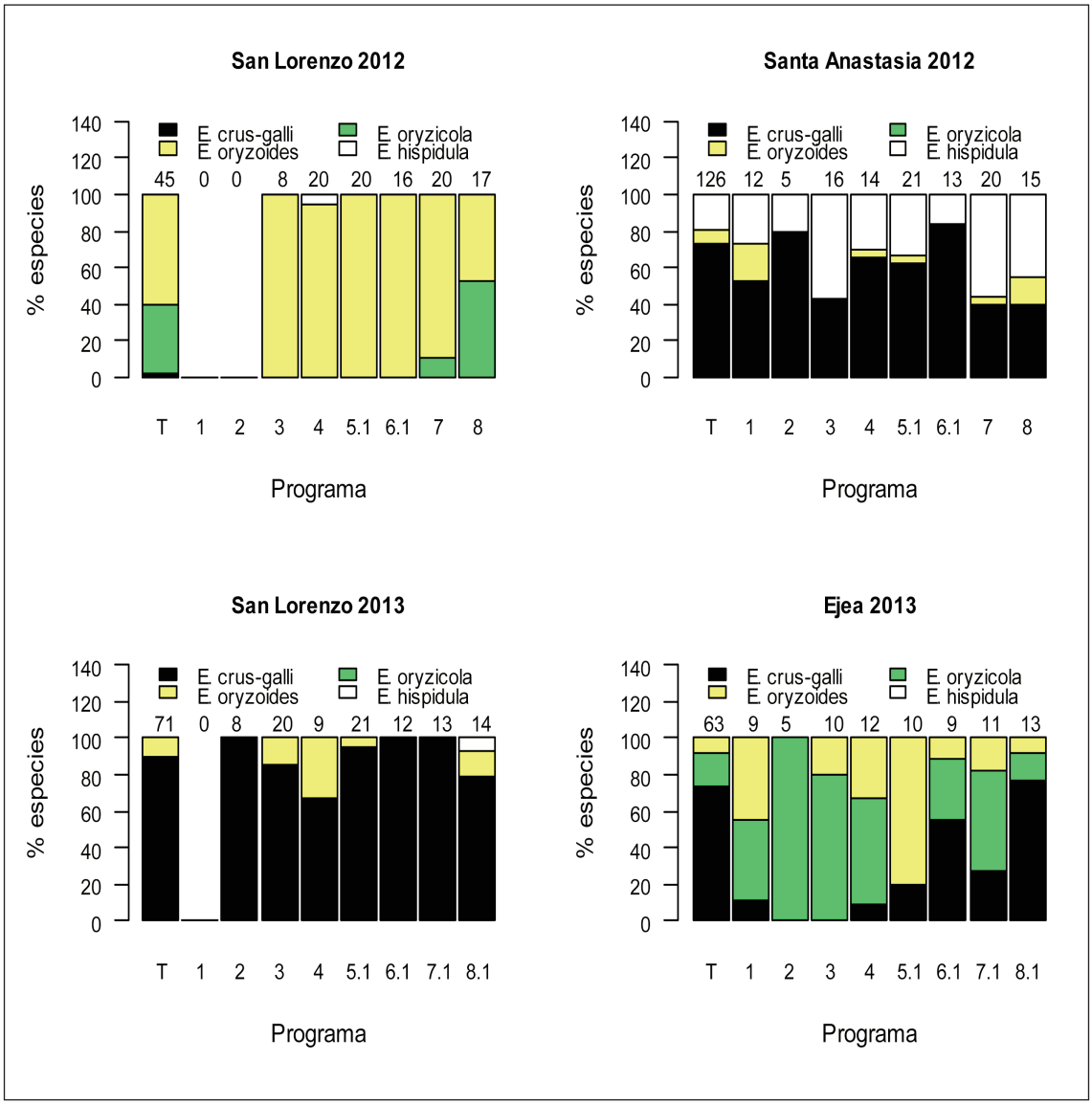



Figura 2. Porcentaje de cada especie de *Echinochloa* spp. en cada ensayo y en cada programa aplicado.
*Figure 2. Percentage of each specie of* Echinochloa *spp. by trial and in each programme applied.*

**T:** Testigo. **1:** oxadiazon 500 / penoxsulam + bensulfuron-metil 40+60 / -. **2:** oxadiazon 500 / penoxsulam + halosulfuron-metil 40+3,75 / -. **3:** oxadiazon 500 / profoxidim 100 / bentazona+MCPA 1600+240. **4:** oxadiazon 500 / profoxidim 100 / halosulfuron-metil 3,75. **7:** - / penoxsulam 40 / bentazona+MCPA 1600+240. **8:** - / molinato 4320 / halosulfuron-metil 3,75. **5.1**: - / penoxsulam+propanil 40+528 / propanil 528. **6.1:** oxadiazon 500 / propanil+MCPA 528+300 propanil 528. **7.1:** - / propanil+bispiribac-Na 528+12,2 / bentazona+MCPA 960+300. **8.1:** - / molinato 4320 / bentazona+MCPA 1000. Secuencia empleada en los programas: presiembra / postemergencia temprana / postemergencia tardía. Las cifras tras las materias activas indican los g i.a/ha. El nº sobre las barras indica el nº de panículas analizadas para cada programa.

tran los datos de control en Santa Anastasia 2012 debido a la baja densidad de ciperáceas en los testigos, lo que impidió obtener resultados fiables.

Del conjunto de los ensayos se desprende que bentazona fue la materia activa que consiguió mejores resultados. Los programas que incluyeron esta materia activa (3, 5, 7 y 7.1) obtuvieron alrededor de un 70-95% de control (Figura 3) con la excepción del programa 8.1 en la localidad de San Lorenzo en 2013. Más concretamente, esta materia activa consigue los mejores resultados en el programa 3 (oxadiazon/profoxidim/bentazona+MCPA) a pesar de que se presupone poco efecto, tanto a oxadiazon como a profoxidim, que ni siquiera están registrados para ciperáceas (Tabla 1). MCPA tampoco lo está pero se sabe que sí puede mostrar efecto en la práctica (Pardo *et al*., 2013b). Aparte de estar registrada para este grupo de especies, en otros ensayos bentazona ha ejercido un control excelente en *Cyperus difformis* resistente a penoxsulam (Pardo *et al*., 2013a), así que estos resultados fueron los esperados.

Con el programa 7.1 propanil+ bispiribac-Na/bentazona+MCPA también se obtuvieron resultados muy buenos. A priori, bispiribac-Na controla bien ciperáceas, con lo que su efecto se añade al de la bentazona. Además, se sabe que el MCPA incrementa el efecto de la bentazona utilizada por si sola (González-Blanco *et al*., 2013). Se encontraron eficacias inferiores si en lugar de añadir bispiribac-Na, se emplea clomazona aunque se haya aplicado además oxadiazon en presiembra (programa 5) molinato (programa 8.1) o penoxsulam (programa 7). Este último programa, en teoría debería ser eficaz, porque a parte de bentazona, penoxsulam está registrado para ciperáceas y ha mostrado buen control en otros estudios (Kogan *et al*., 2011), aunque también hay trabajos realizados en España donde se muestra la baja eficiencia de penoxsulam sobre ciperáceas (González-Blanco *et al*., 2013) o que pueden generar resistencias (Pardo *et al*., 2013a).

Propanil aplicado dos veces en el programa 6.1 oxadiazon/propanil+MCPA/propanil, también dio un control casi total en 3 de las 4 veces que se ensayó, no obstante como ya no consta en la lista de productos autorizados en España (2014) para arroz no es necesario insistir en los resultados obtenidos.

Con halosulfuron-metil y sus mezclas se obtuvieron resultados inferiores a los conseguidos por bentazona, pero buenos en el caso de aplicaciones tempranas y mezclado con penoxsulam, y tras aplicar oxadiazon en presiembra (programa 2). Ello es lo esperable ya que tanto halosulfuron-metil como penoxsulam están registrados en España para ciperáceas (Tabla 1). El programa 4 (oxadiazon/profoxidim/halosulfuron) obtiene resultados más irregulares en función de los años y puede ser debido a que profoxidim no controla ciperáceas. Y mucho peor control ejerce el programa 8 (molinato/halosulfuron), ya que el molinato no está registrado para ciperáceas.

Para finalizar conviene señalar que con el programa 1 (oxadiazon/penoxulam+bensulfuron) se obtuvieron resultados discretos sobre ciperáceas, aunque a priori todas las materias activas deberían tener algún efecto sobre esta familia, aunque desde hace tiempo ya se detectaron en Badajoz biotipos resistentes de *C. difformis* a bensulfuron (Ruíz-Santaella *et al*., 2004). Por último, el programa 6 (oxadiazon/clomazona+bensulfuron) fue el que peores resultados obtuvo, es de suponer que por el insuficiente control ejercido por la clomazona sobre estas especies.

En resumen, parece claro que bentazona es un herbicida interesante para formar parte de programas para controlar ciperáceas; además tiene la ventaja de que pertenece a un grupo de acción distinto al de los inhibidores ALS, al que pertenecen prácticamente el resto de herbicidas que tienen efecto sobre este grupo de especies.

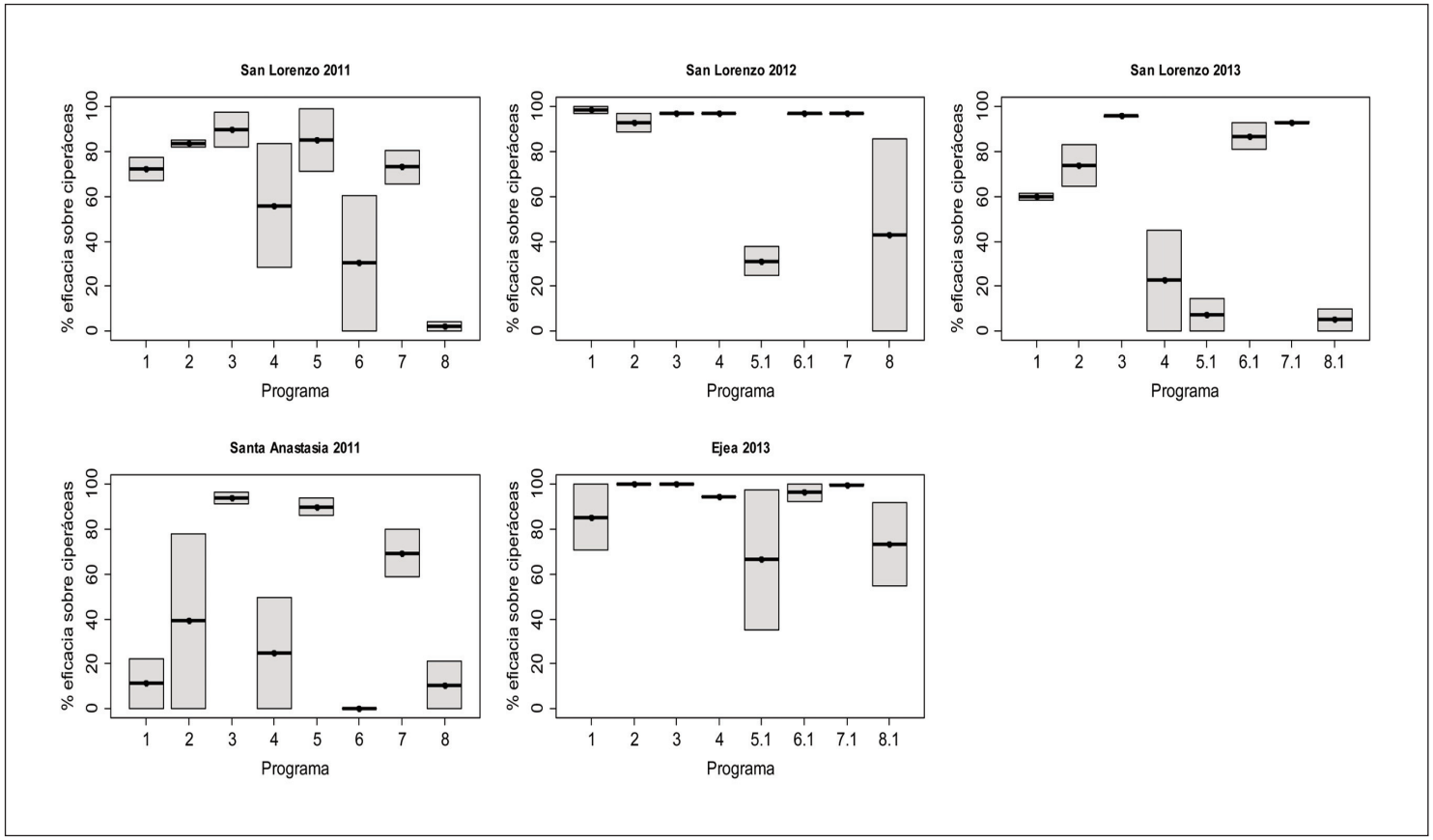



Figura 3. Eficacia los diferentes programas sobre ciperáceas a los 120 días tras la siembra.
*Figure 3. Efficacy of different programmes for cyperaceous weds control at 120 days after sowing.*

**1:** oxadiazon 500 / penoxsulam + bensulfuron-metil 40+60 / -. **2:** oxadiazon 500 / penoxsulam+ halosulfuron-metil 40+3,75 / -. **3:** oxadiazon 500 / profoxidim 100 / bentazona+MCPA 1600+240. **4:** oxadiazon 500 / profoxidim 100 / halosulfuron-metil 3,75. **7:** - / penoxsulam 40 / bentazona+MCPA 1600+240. **8:** - / molinato 4320 / halosulfuron-metil 3,75. **5.1**: - / penoxsulam+propanil 40+528 / propanil 528. **6.1:** oxadiazon 500 / propanil+MCPA 528+300 propanil 528. **7.1:** - / propanil+bispiribac-Na 528+12,2 / bentazona+MCPA 960+300. **8.1:** - / molinato 4320 / bentazona+MCPA 1000. Secuencia empleada en los programas: presiembra / postemergencia temprana / postemergencia tardía. Las cifras tras las materias activas indican los g.i.a/ha.

## Conclusiones

Dos materias activas, profoxidim y bispiribac-Na, han mostrado alta eficacia en el control de *Echinochloa* spp., por lo que pueden ser alternativas a penoxsulam. En cuanto a ciperáceas, bentazona se muestra como la mejor materia para controlar ciperáceas mejorando su efecto si se añade MCPA.

Aunque los resultados muestran que existen, de momento, herbicidas alternativos al penoxulam, se recomienda hacer uso de otros métodos no químicos de control complementarios, como los culturales, mecánicos en presiembra, y si es posible, rotar el cultivo para prevenir la aparición de resistencias.

## Agradecimientos

El trabajo fue financiado por la Encomienda de Gestión del centro de Sanidad y Certificación vegetal del Gobierno de Aragón al CITA (decreto 173/2009 de 6 de octubre). Se agradece a Francisco Pinos, Francisco Alayeto y Pedro Marcellán el haber cedido los campos donde se llevaron a cabo los ensayos y a José García Vera la realización de los tratamientos.

## Bibliografía

Aguilar M (2010). Producción integrada del arroz en el sur de España. Junta de Andalucía, Consejería de Agricultura y Pesca, 316 pp.

Anderson RL (2007). Managing weeds with a dualistic approach of prevention and control. A review. Agronomy for Sustainable Development, 27: 13-18

Carretero JL (1981). El género *Echinochloa* Beauv. en el suroeste de Europa. Anales Jardín Botánico de Madrid, 38: 91-108.

Carretero JL (2004). Flora arvense española. Las malas hierbas de los cultivos españoles. Phytoma, Valencia, 754 pp.

Cavero J, Zaragoza C, Cirujeda A, Anzalone A, Faci JM, Blanco O (2011). Selectivity and weed control efficacy of some herbicides applied to sprinkler irrigated rice (*Oryza sativa* L.). Spanish Journal of Agricultural Research, 9: 597-605.

Ciba-Geigy (1992). Manual for Field Trials in Plant Protection. 3rd edn. Plant Protection Division, Ciba-Geigy Limited, Suiza.

Chun JC Kim SE, Park NI (1996). Difference in early growth of *Echinochloa* species and the differential susceptibility to herbicides. Korean Journal of Weed Science. 16: 194-199.

CPRH (2000). La resistencia de las malezas a los herbicidas. Comité de Prevención de Resistencias a Herbicidas. Tríptico. SPV. Lérida. España.

González-Blanco J, Senero E, Romano Y, Osuna MD, Palmerín JA (2013) Control químico de *Cyperus difformis* en diferentes estadios de desarrollo. Phytoma España 250: 95-99.

Damalas CA, Dhima KV, Eleftherohorinos IG (2008). Morphological and Physiological Variation among Species of the Genus *Echinochloa* in Northern Greece. Weed Science, 56: 416-423.

Ferrero A, Vidotto F, Balsari P, Airoldi G (1999). Mechanical and chemical control of red rice (*Oryza sativa* L. var. *sylvatica*) in rice (*Oryza sativa*) preplanting. Crop Protection, 18: 245-251.

Heap I (2014). The international survey of herbicide-resistant weeds. Disponible online en: www.weedscience.org.

Kogan M, Gómez P, Fischer A, Alister C (2011). Using penoxsulam ALS inhibitor as a broad-spectrum herbicide in Chilean rice. Ciencia e Investigación Agraria, 38(1): 83-93.

MAGRAMA (2014). Superficies y producciones anuales de cultivo de acuerdo con el Reglamento (CE) 543/2009. Disponible en: http://www.magrama.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticas-agrarias/agricultura/superficies-producciones-anuales-cultivos/.

Mennan H, Kaya-Altop E (2012). Molecular techniques for discrimination of late watergrass (*Echinochloa oryzicola*) and early watergrass (*Echinochloa oryzoides*) species in Turkish rice production. Weed Science 60(4): 525-530.

Montes F, Delgado F (2005). Control químico de *Echinochloa* spp. en el cultivo del arroz en las Marismas del Guadalquivir. Actas del X Congreso de la Sociedad Española de Malherbología, 5-7 octubre 2005, Huelva, España, pp. 533-537.

Oerke EC, Dehne, HW, Schönbeck F, Weber A (1994). Crop production and crop protection: estimated crop losses in major food and cash crops. Elsevier Science. Holanda. 808 pp.

Oerke EC (2006). Crop losses to pests. Journal of agricultural Science, 144: 31-43.

Onofri A, Carbonell EA, Piepho HP, Mortimer AM, Cousens RD (2009) Current statistical issues in Weed Research. Weed Research, 50: 5-24.

Osuna MD, Romano Y, Quiles JM (2012). Principales malas hierbas y métodos de control en el cultivo de arroz en España. Vida Rural, 339: 74-77.

Pacanosk Z, Glatkova G (2009). The use of herbicides for weed Control in direct wet-seeded rice (*Oryza sativa* L.) in rice production regions in the republic of Macedonia. Plant Protection Science, 45(3): 113-118.

Pardo G, Hens R, Espejo R, Paniagua L, Urbano JM (2013a). *Cyperus difformis* resistente a penoxsulam. Dosis respuesta. Actas del XIV Congreso de la Sociedad Española de Malherbología, 5-7 noviembre 2013, Valencia, España, pp.149-152.

Pardo G, Hens R, Espejo R, Paniagua L, Urbano JM (2013b). Opciones para el control de *Cyperus difformis* resistente a penoxsulam. Actas del XIV Congreso de la Sociedad Española de Malherbología, 5-7 noviembre 2013, Valencia, España, pp.145-148.

R Core Team (2014). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL http://www.R-project.org/.

Rao AN, Johnson DE, Sivaprasad B, Ladha JK, Mortimer AM (2007). Weed management in direct-seeded rice. Advances in Agronomy, 93: 153- 255.

Ritz C, Streibig JC (2009). Workshop on the free Statistical Software R. Agricultural Institute of Slovenia, 1000 Ljubljana.

Ruiz-Santaella JP, Bastida F, Franco AR, De Prado R (2006). Morphological and molecular characterization of different *Echinochloa* spp. and *Oryza sativa* populations. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 54 (4): 1166-1172.

Ruíz-Santaella JP, Bakkaliu Y, Osuna MD, De Prado R, (2004). Evaluation of resistance in *Cyperus difformis* populations to ALS inhibiting herbicides. Communications in agricultural and applied biology sciences, 69(3): 91-6.

Senero ME, Romano Y, González-Blanco J, Gordillo J, Osuna MD (2011). Control de *Echinochloa* spp. en arrozales en Extremadura. Congreso de la Sociedad Española de Malherbología, 24-24 noviembre, La Laguna, España, pp.169-172.

Tabacchi M, Mantegazza R, Spada A, Ferrero A (2006). Morphological traits and molecular markers for classification of *Echinochloa* species from Italian rice fields. Weed Science, 54: 1086-1093.

Taberner A (2006). Control de malas hierbas en arroz. Dossier Tecnic 12: 19-24. http://www.magrama.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/revistas/pdf_DT%5CDT_200612_19_24.pdf.

Vidotto F, Tesio F, Tabacchi M, Ferrero A (2007). Herbicide sensitivity of *Echinochloa* spp. accessions in Italian rice fields. Crop Protection, 26: 285-293.

Vidotto F, Ferrero A (2013). Weed management in Italian Rice. Actas del XIV Congreso de la Sociedad Española de Malherbología, 5-7 noviembre 2013, Valencia, España, pp 139-144.

Yasuda K, Yano A, Nakayama Y, Yamaguchi H (2002). Molecular identification of *Echinochloa oryzicola* and *E. crus-galli* using a polymerase chain reaction-restriction fragment length polymorphism technique. Weed Biology Management, 2(1): 11-17.

(Aceptado para publicación el 20 de enero de 2015)

# Selección *in vitro* e identificación de aislados de *Trichoderma* spp. y *Bacillus* spp. nativos para el control de *Phymatotrichopsis omnivora*

B.E. López-Valenzuela[1,*], A.D. Armenta-Bojórquez[2], S. Hernández-Verdugo[3], M.A. Apodaca-Sánchez[1], J.A. Samaniego-Gaxiola[4], K.Y. Leyva-Madrigal[2] y A. Valdez-Ortiz[5]

[1] Universidad Autónoma de Sinaloa. Facultad de Agricultura del Valle del Fuerte. Av. Japaraqui y Calle 16 s/n, C.P. 81110. Juan José Ríos, Ahome, Sinaloa, México
[2] Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Sinaloa; Blvd. Juan de Dios Bátiz Paredes No. 250, C.P. 81101, Guasave, Sinaloa, México
[3] Universidad Autónoma de Sinaloa, Facultad de Agronomía. Carretera Culiacán - El Dorado, Km 17.5, Apdo. Postal 25, Culiacán Rosales, Sinaloa, México
[4] Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental La Laguna. Carretera Torreón-Matamoros Km 17.5, C.P. 27440. Matamoros, Coahuila, México
[5] Facultad de Ciencias Químico Biológicas de la Universidad Autónoma de Sinaloa. Av. de las Américas y Josefa Ortiz S/N, Culiacán, Sin., México

**Resumen**

Se realizaron aislamientos de *Trichoderma* spp. y *Bacillus* spp. con potencial antagonista para el control de *Phytomatotrichopsis omnivora*, patógeno del suelo que causa pudrición de raíz en varias especies vegetales conocida como "pudrición texana". Los objetivos de este trabajo fueron seleccionar e identificar a nivel de especie, cepas de *Trichoderma* spp. y *Bacillus* spp. recolectadas en el noroeste de México, que permitan tener un eficiente control de *Phymatotrichopsis omnivora*. Se seleccionaron tres aislados de *Trichoderma* por su capacidad antagónica y comportamiento *in vitro* contra *P. omnivora*. La identificación molecular de los aislados obtenidos (TB = aislado de bugambilia, TM = aislado de mango y TF = aislado de ficus) y de la cepa control (TN = aislado de nogal), arrojaron los siguientes resultados: las cepas TB y TM correspondieron a la especie *asperellum* y las cepas TF y TN a la especie *virens.* Las tres cepas evaluadas mostraron un alto potencial antagónico al compararse con la cepa control (TN) y serán consideradas en posteriores evaluaciones en invernadero. Todas las cepas mostraron las Clases 1 y 2 de antagonismo contra el patógeno (valores de 1,0 a 1,5), según la escala Baker & Cook. Adicionalmente, se obtuvieron 32 aislados de *Bacillus* spp., de los cuales cuatro fueron seleccionados por su mayor halo de inhibición contra *Phymatotrichopsis omnivora* (B6 = aislado de jatropha; B14 = aislado de mango; B18 = aislado de maíz; B21 = aislado de maíz). Los resultados de la identificación molecular a los aislados nos indicaron que las cepas B6, B14 y B18 pertenecen a la especie *cereus sensu lato*, mientras que la cepa B21 a la especie *subtillis*. Estos resultados contribuyen al control biológico de *Phymatotrichopsis omnivora* que afecta gran diversidad de plantas cultivadas.

**Palabras clave:** Aislados nativos, hongos fitopatógenos en suelo, hongos y bacterias antagonistas.

* Autor para correspondencia: blancalopez@esavf.edu.mx
http://dx.doi.org/10.12706/itea.2015.020

**Abstract**

***In vitro* selection and identification of isolated of *Trichoderma* spp. and *Bacillus* spp. native to control *Phymatotrichopsis omnivora***

Isolations of *Trichoderma* spp. and *Bacillus* spp. with high antagonistic potential to control *Phymatotrichopsis omnivora*, a soil pathogen responsible of root rot in several species well know as texas root rot, were realized. The aim of this study was to select and identify to a specie level, native strains collected in northern Mexico that allow them to control efficiently *Phymatotrichopsis omnivora*. Three *Trichoderma* isolates were selected for their antagonistic capacity and behavior *in vitro* against *P. omnivora*. Molecular identification of the isolates showed (TB = isolated bugambilia; TM = isolated mango; TF = isolated ficus) and the control strain (TN = isolated nogal) the following results: TB and TM strains corresponded to *asperellum* species and strains TF and TN to *virens* species. The three strains tested showed high antagonistic potential when compared to the control strain (TN) and will be considered in subsequent evaluations in greenhouses. All strains showed Classes 1 and 2 of antagonism against the pathogen (values from 1,0 to 1,5), according to the scale of Baker & Cook. At the same time, 32 isolates of *Bacillus* spp. were obtained and four were selected because of their greater zone of inhibition against *Phymatotrichopsis omnivora* (B6 = isolated jatropha; B14 = isolated mango; B18 = isolated corn; B21 = isolated corn). The results of the molecular identification of the isolates were directed to B6, B14 and B18 strains belong to the species *cereus sensu lato*, while the B21 strain to the species *subtillis*. These results contribute to biological control against *Phymatotrichopsis omnivora* that affects a great number of plants.

**Key words:** Isolated native plant pathogenic fungi in soil, fungi and antagonistic bacteria.

## Introducción

Entre los patógenos radiculares que afectan a las plantas se encuentra *Phymatotrichopsis omnivora* (Duggar) Hennebert, agente causal de la pudrición de raíz conocida como pudrición texana, que afecta a más de 2300 especies de plantas dicotiledóneas (Watson *et al*., 2000).

*Phymatotrichopsis omnivora* se distribuye ampliamente en las principales regiones agrícolas de México, particularmente en los estados de Sonora, Chihuahua, Coahuila, Durango y Sinaloa (Samaniego-Gaxiola y Herrera-Pérez, 2003; Ramírez-Villapudúa *et al.,* 2006). En estos estados de la República Mexicana este patógeno es un factor limitante en la producción en cultivos de algodón (*Gossypium herbaceum*), alfalfa (*Medicago sativa*), nogal pecanero (*Carya illinoinensis* Koch), frutales y ornamentales (Olsen y Jeffrey, 1999; Ramírez-Villapudúa *et al*., 2006). *Phymatotrichopsis omnivora* es capaz de sobrevivir en el suelo por un largo tiempo mediante estructuras de resistencia llamadas esclerocios. Se ha demostrado que el esclerocio y los cordones miceliales son el inicio de la infección de las raíces vegetales (Watson *et al*., 2000).

Este patógeno es difícil de controlar debido a que es resistente contra los principales fungicidas y fumigantes utilizados en el mercado, al largo tiempo que puede permanecer en estado latente y a la profundidad del suelo en la que se forman y permanecen sus esclerocios.

El control químico es una práctica insuficiente en la mayoría de los cultivos, además de contaminar el suelo y agua y producir resistencia en el patógeno, aumenta los costos de producción, haciendo este método inútil e incosteable para controlar la pudrición texana (Uppalapati, 2010). Por lo tanto es necesario buscar alternativas que permitan controlar o disminuir los efectos negativos que genera esta enfermedad. El control biológico es una alternativa útil, que ha sido utilizada con éxito

contra patógenos del suelo que afectan la agricultura actual (Korsten *et al*., 1997).

Es importante utilizar cepas de microorganismos antagonistas que sean nativas y que permitan tener mayores posibilidades de éxito por su probada adaptación al medio ambiente donde fueron obtenidas. Cervantes-Martínez *et al*. (2010) evaluaron *in vitro* la acción antagónica de 13 aislamientos de *Trichoderma* nativos de la Comarca Lagunera, México, frente a una cepa de *P. omnivora* e identificaron con análisis morfológico las especies de estos aislamientos, donde encontraron que las tres especies identificadas *T. harzianum*, *T. koningii* y *T. pseudokoningii* presentaron un efecto antagónico marcado sobre el fitopatógeno, y concluyen que el género *Trichoderma* es una alternativa en los métodos de control para dar un manejo integrado a la pudrición texana y de ésta manera reducir el uso de productos químicos contaminantes de suelo y medio ambiente. Así mismo, De los Santos *et al*. (2003), aislaron cepas de *Trichoderma* nativas de la Provincia de Huelva, España, las evaluaron como biocontroladores de patógenos en el cultivo de fresa (*Fragaria xananassa* Duchesne) por un periodo de tres años, en lotes de la región donde las cepas fueron obtenidas, encontrando un control significativo comparado con el control químico, logrando bajar las poblaciones de los patógenos que afectan al cultivo. La principal estrategia para el biocontrol ha sido la identificación de microorganismos del suelo que sean antagonistas efectivos y que su uso biológico sea seguro. Alabouvette y Steinberg (2006) reportaron 32 cepas de actinomicetos simbiontes de hormigas con efecto inhibidor contra diversos fitopatógenos. Martínez *et al*. (2008) probaron el efecto antagónico de 59 aislamientos de *Trichoderma* spp. sobre el aislamiento (304-11) de *Rhizoctonia* sp. evaluando a nivel *in vitro* la competencia por el sustrato, la interacción hifal y la antibiosis, reportando que un 85,31% de sus aislados mostraron una alta capacidad antagónica contra el patógeno, según la escala de Bell *et al* (1982). Microorganismos del suelo como *Trichoderma* spp. y *Bacillus* spp. han sido ampliamente estudiados y se han propuesto como agentes de control biológico, especialmente contra fitopatógenos del suelo (Verma *et al*., 2007).

*Trichoderma* spp. utiliza diferentes mecanismos de acción antagónica como: micoparasitismo, lisis, antibiosis, competencia por nutrientes y espacio y/o inducción de resistencia en el hospedero (De la Garza, 1996). *Bacillus* spp. posee características como la formación de endosporas que le confieren mayor resistencia a condiciones adversas como la desecación, radiación y a los desinfectantes químicos (Butt *et al.,* 1999). Estas características hacen que *Bacillus* sea considerada una bacteria promotora de crecimiento vegetal, además de tener un efecto protector contra patógenos del suelo (Butt *et al.,* 1999). Se han demostrado las potencialidades de las especies del género *Bacillus* para la producción de antibióticos, enzimas, la solubilización de fosfatos (Chen *et al.,* 2006) y la fijación biológica del nitrógeno (Ooi *et al.,* 2008). En este sentido, se han realizado estudios de promoción del crecimiento vegetal (Figueiredo y Martinez, 2008) y control biológico de patógenos (Yoon *et al.,* 2005).

Hasta la fecha, se ha demostrado que muchas cepas del género *Trichoderma* son utilizadas como biocontroladores de patógenos de suelo en varias especies cultivadas (Guigón *et al.,* 2010; Samuels, 1996). Guigón *et al. (*2010) obtuvieron una inhibición *in vitro* de 28 a 37% en *Phymatotrichopsis omnivora* con *Trichoderma asperellum*. Sin embargo, *Trichoderma harzianum* y *Trichoderma virens* (Miller, Giddens & Foster) son las especies más reportadas en control biológico de fitopatógenos del suelo y son efectivas contra *Rhizoctonia solani*, *Colletotrichum* spp., *Sclerotinia sclerotiorum*, *Sclerotium rolfsii* Sacc., *Fusarium oxysporum*,

*Phytophthora parasítica* Dastur, *Phytium ultimum*, *Verticillium* spp. y *Thielaviopsis* spp., entre otros (Samuels, 1996).

También *Bacillus cereus* inhibe el crecimiento de *Fusarium oxysporum* y *Pythium ultimum* (Chan *et al*., 2003). Osorio-Hernández *et al*. (2009) reportaron a *Bacillus* spp. como biocontrolador *in vitro* de *Fusarium*, determinando la efectividad de la bacteria al provocar el deterioro morfológico del micelio, disminuyendo significativamente el desarrollo y afectando las estructuras reproductivas del hongo fitopatógeno.

Los factores clave que contribuyen al efecto antagónico de estos organismos son su rápido crecimiento, producción de metabolitos antimicrobianos y sus características fisiológicas. Sin embargo, para una adecuada comprensión de las propiedades bioquímicas, genéticas y fisiológicas se requiere de la acertada ubicación taxonómica de estos organismos (Kullnig *et al*., 2001). La variabilidad de las características morfológicas en las especies de *Trichoderma* y *Bacillus* hace que su clasificación sea difícil. Sin embargo, las técnicas moleculares han ayudado a una clasificación mejor entre las diferentes especies que conforman estos géneros. (Kullnig *et al*., 2001; Druzhinina *et al*., 2006).

Una herramienta útil y confiable para conocer el potencial como agente de biocontrol de cepas de *Trichoderma* y *Bacillus* son los ensayos *in vitro* para determinar su antagonismo (Larralde *et al*., 2008) los cuales se utilizan principalmente como herramienta predictiva para determinar la capacidad de inhibición del crecimiento, antes de efectuar estudios que requieren más tiempo y costo económico (Lo *et al*., 1998). Guigón y González (2004) encontraron un alto control micoparasítico contra *Phytophthora capsici* en 6 cepas aisladas de *Trichoderma* nativas de Chihuahua, México, probadas como antagonistas *in vitro*. Sin embargo, la identificación de sus cepas la realizaron sólo a nivel de género.

Por lo anterior, los objetivos de este trabajo fueron recolectar, seleccionar *in vitro* e identificar morfológica y molecularmente a nivel de especie, aislados de *Trichoderma* spp. y *Bacillus* spp. nativos, obtenidos de distintos tipos de suelo y provenientes de la rizosfera de diversas especies de cultivos establecidos en el Norte de Sinaloa, México, con la finalidad de ser aprovechados en el control biológico de *Phymatotrichopsis omnivora*, patógeno que afecta diversos cultivos de importancia agrícola.

## Material y métodos

### Recolecta de microorganismos para el control biológico

Se recolectaron 30 muestras de suelo de la rizosfera para realizar el aislamiento de *Trichoderma* spp. y 42 muestras para el aislamiento de *Bacillus* spp. de plantas de cultivos establecidos en jardines, huertos y campos agrícolas del norte de Sinaloa. Los datos geográficos de los sitios de colecta se obtuvieron mediante GPS (Tabla 1). Las muestras embolsadas se colocaron sobre hielo para trasladarse a laboratorio y se mantuvieron en refrigeración (4 °C) para su posterior procesamiento.

### Aislamiento e identificación de *Trichoderma*

Para el aislamiento de *Trichoderma* se utilizó el medio de cultivo reportado por Papavisas y Davey (1959). Se mezcló dextrosa, peptona, extracto de levadura, $NH_4NO_3$, $K_2HPO_4$, $MgSO_4$ $7H_2O$, extracto de bilis de buey, propionato de sodio, agar y agua destilada hasta completar 1 L. El medio fue esterilizado a 20 $N/m^2$ durante 15 minutos a 120 °C, y posteriormente se añadió amoxicilina como antibiótico. Cuando el medio estuvo a una temperatura de 40 a 45 °C se transfirió a placas Petri. Antes de que se solidificara, se sem-

Tabla 1. Datos geográficos de ubicación de las cepas de *Trichoderma* y *Bacillus* seleccionadas
*Table 1. Geographic location data of selected* Trichoderma *and* Bacillus *strains*

| Aislado | Latitud | Longitud | Altitud (m.s.n.m) |
|---|---|---|---|
| *Trichoderma* | | | |
| TB, aislado de bugambilia | 25°49'15,6" N | 109°02'06,9" O | 8 |
| TF, aislado de ficus | 25°34'25,0" N | 108°27'54,2" O | 16 |
| TM, aislado de mango | 25°35'14,0" N | 108°31'49,8" O | 4 |
| *Bacillus* | | | |
| B14, aislado de mango | 25°55'28,8" N | 109°17'13,0" O | 10 |
| B06, aislado de jatropha | 25°32'48,2" N | 108°29'04,3" O | 16 |
| B18, aislado de maíz | 25°56'57,6" N | 109°08'37,7" O | 15 |
| B21, aislado de maíz | 25°49'33,7" N | 109°01'23,4" O | 14 |

braron 50 mg de suelo en cada placa y se incubaron hasta crecer el micelio característico del género *Trichoderma*.

Los aislados del género *Trichoderma* fueron sembrados en placas Petri en medio de cultivo PDA (patata dextrosa agar), y se identificaron morfológicamente mediante el reconocimiento de sus estructuras macroscópicas (color de micelio, forma de micelio y crecimiento). Posteriormente, se prepararon muestras frescas de micelio sobre portaobjetos y se añadió un marcador WGA (no. Cat. W11261, Life Technologies, Eugene, OR, EE. UU.) para observar sus estructuras microscópicas (hifas, esporas, clamidosporas) en un microscopio epifluorescente (LEICA TCS SP5X, BIO-OPTIC, Argentina). Las características macro y microscópicas fueron comparadas con las claves taxonómicas de Barnett y Hunter (1972); Bisset (1991) y Von Arx (1981). Los aislados (monoconidiales) puros se crioconservaron a -20 °C en tubos con PDA más $CaCO_3$ y glicerol al 15% para su posterior análisis de identificación molecular a nivel género y especie.

Aislamiento e identificación de *Bacillus*

El aislamiento de cepas bacterianas se realizó mediante el método utilizado por Ohba y Aizawa (1986) con algunas modificaciones. Se pesó 1 g de cada muestra de suelo obtenida del rizoplano de raíces de cada planta y se le adicionó solución salina estéril (NaCl 0,85%). Se agitó en vortex durante 1 minuto y se pasteurizó a 80 °C en baño maría durante 20 minutos; posteriormente se sembró 1 ml de inóculo en 9 ml de infusión de patata (IP) estéril. Se incubó a 37 °C durante 24 horas; después se pasteurizó de nuevo a 80 °C durante 20 minutos y se sembró de inmediato en placas de Petri conteniendo agar nutritivo (AN); las placas se incubaron a 37 °C durante 24 horas.

Para identificar morfológicamente a *Bacillus*, se sembraron los aislados en placas con medio de cultivo AN. Se incubaron a 37 °C durante 24 horas. De las placas con crecimiento se tomaron muestras seleccionando las colonias con características del género *Bacillus* de acuerdo al Manual de Clasificación de Bergey (Claus y Berkeley, 1986). Posteriormente se

pasaron a placas por agotamiento para su purificación. Los aislados se sometieron a una prueba de tinción de Gram y se observaron con un microscopio biológico para comprobar la pureza y determinar las características micromorfológicas y tintoriales de los mismos, así como la presencia de esporas. Además se realizó una prueba hemolítica bacteriana. Los aislados puros se crioconservaron a -20 °C en tubos con LB (Luria Bertani) y glicerol al 15%.

### Tinción de Gram y prueba de hemólisis bacteriana

La prueba de tinción se hizo mediante la técnica de Hans Christian Gram (1884) al total de los aislados (López-Jácome *et al.,* 2014). La prueba de hemólisis se hizo con la técnica utilizada por Cowan y Steel (1993).

### Selección de *Trichoderma* spp. para el control de *P. omnivora in vitro*

Se evaluaron cuatro tratamientos (tres aislados y una cepa identificada de *Trichoderma* como control), con cuatro repeticiones, en un diseño experimental completamente al azar. Cada repetición consistió en una placa Petri. La cepa de *Trichoderma* utilizada como control, ha sido utilizada con éxito en el control biológico de *P. omnivora* en el cultivo de nogal pecanero (*Carya illinoensis* Koch) en Coahuila, México (datos sin publicar). Se realizó una prueba de antagonismo mediante confrontaciones duales de ambos microorganismos en placas Petri con medio de cultivo PDA. Se tomaron discos de 5 mm de diámetro con micelio del antagonista (*Trichoderma)* y del patógeno (*P. omnivora*) y se colocaron en los extremos de la placa Petri aproximadamente 6 cm de separación uno de otro. Los discos con el micelio se incubaron a 23±4 °C. Para evaluar el efecto antagónico de las cepas contra el patógeno, se midió el crecimiento de cada organismo durante 7 días con un calibrador Vernier. Los datos obtenidos se transformaron en una escala de capacidad antagónica (Bell *et al.,* 1982) (Tabla 2) de *Trichoderma* spp. *in vitro*.

Tabla 2. Escala de capacidad antagónica *in vitro* para *Trichoderma* spp. de Baker y Cook, utilizada por Bell *et al.* (1982)
*Table 2. Scale capacity* in vitro *antagonistic* Trichoderma *spp. Baker and Cook, used by Bell* et al. *(1982)*

| Grados de la Escala | Características de cada grado de la escala |
|---|---|
| Grado 1 | *Trichoderma* spp. crece completamente sobre la colonia del patógeno y cubre la superficie del medio de cultivo. |
| Grado 2 | *Trichoderma* spp. crece al menos sobre las dos terceras partes de la superficie del medio de cultivo |
| Grado 3 | *Trichoderma* spp. y el patógeno cubren aproximadamente la mitad de la superficie del medio de cultivo |
| Grado 4 | El patógeno crece al menos en las dos terceras partes del medio de cultivo limitando el crecimiento de *Trichoderma* spp. |
| Grado 5 | El patógeno crece sobre la colonia de *Trichoderma* spp. ocupando toda la superficie del medio de cultivo. |

### Selección de *Bacillus* spp. contra *P. omnivora in vitro*

Se efectuaron dos ensayos para seleccionar los aislados bacterianos con capacidad antagónica. En el primer bioensayo se probaron los 32 aislados bacterianos en placas Petri en los medios de cultivo patata dextrosa agar (PDA) y agar nutritivo (AN). Se colocaron cuatro aislados distintos tomados al azar en una placa Petri y se incubaron a 37 °C. Se hicieron cuatro réplicas de cada combinación de aislados.

En el segundo ensayo se utilizaron los 20 aislados que presentaron halo de inhibición contra el patógeno. Los medios de crecimiento fueron los mismos utilizados en el primer ensayo. La siembra de los aislados bacterianos se hizo en confrontación dual con el patógeno. Se utilizaron 5 repeticiones en un diseño experimental completamente al azar.

### Análisis estadístico

Los resultados para la selección de cepas nativas de *Trichoderma* se sometieron a un análisis de varianza no paramétrico mediante la prueba Wilcoxon/Kruskal-Wallis (Rank sums) empleando el Sistema de Análisis Estadístico (Programa JMP and SAS software versión 6.1, 2004) y para la comparación de medias se utilizó la prueba de Duncan ($P < 0,05$) del mismo programa. En la selección de *Bacillus* se realizó un análisis de varianza de dos vías empleando el Sistema de Análisis Estadístico (SAS versión 9.1, 2003) y para la comparación de medias se realizó una prueba de Duncan ($P < 0,05$).

### Identificación molecular

#### *Extracción de ADN*

Los aislados bacterianos y fúngicos se cultivaron en 5 ml de LB y PD Broth, respectivamente, y se incubaron a 28 °C en agitación (200 rpm) durante 24 h. Se centrifugó 1 ml de cada cultivo y la biomasa obtenida se utilizó para realizar la extracción de ADN con el kit DNeasy Blood and Tissue (QIAGEN, Hilden, Alemania), siguiendo las instrucciones del fabricante. La calidad del ADN se determinó por electroforesis en un gel de agarosa al 1% y a través de la relación de absorbancia A260/A280 en un espectrofotómetro Nanodrop 2000c (Thermo Scientific, Wilmington, DE).

#### *Reacción en cadena de la polimerasa (PCR)*

Para la identificación molecular de los aislados bacterianos se amplificó el gen 16S empleando los oligonucleótidos F2C y C. En el caso de los aislados fúngicos, se amplificaron las regiones ITS con el juego de oligonucleótidos ITS1 e ITS4 (White *et al*., 1990). Las reacciones de PCR se realizaron en un volumen final de 25 µl conteniendo 1 µl de ADN molde (aproximadamente 10 ng), 1,5 mM $MgCl_2$, 0,5 mM de cada dNTP, 0,4 µM de cada uno de los oligonucleótidos y 1,25 U de Taq polimerasa (Invitrogen, Brasil, Cat. No. 11615-050). El programa utilizado para la amplificación del gen 16S consistió en una desnaturalización inicial a 95 °C durante 4 minutos, seguido de 35 ciclos de desnaturalización a 95 °C durante 1 minuto, alineamiento a 55 °C durante 1 minuto, extensión de 1 minuto a 72 °C y una extensión final a 72 °C durante 5 minutos. El programa utilizado para la amplificación de las regiones ITS consistió en una desnaturalización inicial a 94 °C durante 5 minutos, seguido de 35 ciclos de desnaturalización a 94 °C durante 30 segundos, alineamiento a 56 °C durante 30 segundos, extensión de 30 segundos a 72 °C y una extensión final a 72 °C durante 5 minutos. Los productos de PCR fueron visualizados en un gel de agarosa al 1% teñido con bromuro de etidio. Posteriormente los productos de PCR se purificaron con el kit QIAquick PCR purification (QIAGEN, Cat. No. 28106), siguiendo las instrucciones del fabricante y finalmente se cuantificaron utilizando un espectrofotómetro Nanodrop 2000c (Thermo Scientific, Wilmington, DE).

*Secuenciación y análisis filogenéticos*

Los productos de PCR amplificados se secuenciaron bidireccionalmente en un secuenciador ABI 3730xl (Applied Biosystems, EE. UU.). El gen 16S se secuenció con los oligonucleótidos U1 y C, mientras que las regiones ITS se secuenciaron con los oligonucleótidos ITS1 e ITS4. Las secuencias fueron editadas en el software CHROMAS Pro 1.6 (Technelysium Pty Ltd, South Brisbane, Queensland, Australia) y comparadas en la base de datos del NCBI (National Center for Biotechnology Information) utilizando el software BLAST-N y el algoritmo Megablast.

Para realizar el análisis filogenético se utilizó el software MEGA 6,0 (Tamura *et al.,* 2013). Las secuencias fueron alineadas utilizando el alineador MUSCLE (Edgar, 2004) implementado en MEGA 6,0. El alineamiento resultante fue sometido a una prueba de ajuste de modelos de sustitución nucleotídica en MEGA 6,0, con el fin de seleccionar el modelo con mejor ajuste a los datos. Los árboles filogenéticos se construyeron usando el modelo de sustitución nucleotídica de Kimura 2 parámetros y el método de Neighbour-joining. La tasa de variación entre sitios fue modelada por una distribución gamma (cuatro categorías). La robustez de la topología de los árboles se evaluó con 1, 000 réplicas bootstrap. Las secuencias de *Geobacillus kaustophilus* y *Gibberella zeae* se utilizaron para enraizar los árboles.

## Resultados y discusión

Aislamiento, selección e identificación de *Trichoderma* spp.

De las 30 muestras de suelo colectadas para el aislamiento de *Trichoderma* spp. se aislaron tres cepas (TB = *Trichoderma* aislado de bugambilia, TF = *Trichoderma* aislado de ficus, TM = *Trichoderma* aislado de mango). No hubo diferencias entre las tres cepas en su capacidad antagónica contra *Phymatotrichopsis omnivora* ($X^2$ = 4,2304; $P$ = 0,2376). Al final de la evaluación (7 días) el 100% de las cepas aisladas se ubicaron en los grados 1 y 2 de la escala de Bell *et al*. (1982) (Tabla 2), mostrando valores de efectividad de 1,0 a 1,5 (Tabla 3). Lo anterior coincide con lo encontrado por Martínez *et al*. (2008), quienes evaluaron *in vitro* 59 cepas de *Trichoderma* spp. contra *Rhizoctonia* sp. y obtuvieron que el 81,35% de las cepas en estudio se ubicaron en los grados 1 y 2 de la misma escala de referencia, al igual que Bell *et al*. (1982) al obtener *in vitro* resultados similares con más del 65% de diferentes cepas

Tabla 3. Capacidad antagónica de *Trichoderma* contra *P. omnivora in vitro*
*Table 3. Antagonistic capacity of* Trichoderma *against* P. omnivora in vitro

| Aislado, escala Baker y Cook (Grado 1-5)[1] | Capacidad antagónica |
|---|---|
| TB, aislado de bugambilia | 1,0 a |
| TF, aislado de ficus | 1,5 a |
| TM, aislado de mango | 1,0 a |
| TN, aislado de nogal (control) | 1,25 a |

[1] Según Bell *et al.* (1982).

Letras iguales no son diferentes (Duncan $P \leq 0,05$).

de *Trichoderma* spp. nativas ubicadas en el grado 1 frente a *R. solani*. Los resultados obtenidos en este estudio, coinciden con lo encontrado por De los Santos *et al*. (2003), quienes encontraron un potencial antagónico en cepas de *Trichoderma* nativas de la Provincia de Huelva, España, para controlar poblaciones de patógenos que afectan el cultivo de fresa (*Fragaria xananassa* Duchense).

Las tres cepas de *Trichoderma* spp. evaluadas en este estudio mostraron un alto potencial antagónico al compararse con la cepa control (TN), lo que indica que los aislados nativos del noroeste de México son potencialmente una fuente importante para el control biológico de *P. omnivora* (Figura 1).

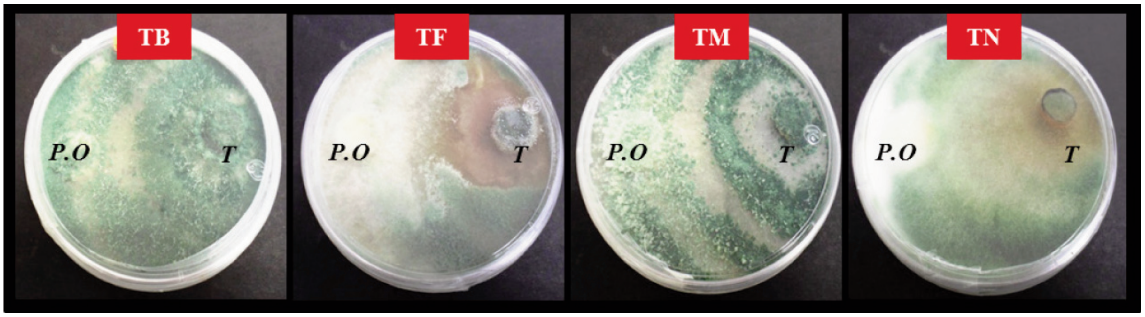



Figura 1. Las 3 cepas de *Trichoderma* (TB = aislado de bugambilia, TF = aislado de ficus, TM = aislado de mango*)* (disco = T) seleccionadas *in vitro* contra *P. omnivora* (disco = P.O) + (TN = aislado de nogal = cepa-control).
*Figure 1. The 3 strains of* Trichoderma *(TB = isolated from bugambilia, TF = isolated from ficus, TM = isolated from mango) (disc = T) selected* in vitro *against* P. omnivora *(disk = PO) + (TN = isolated from walnut = strain-control).*

Identificación morfológica y molecular de *Trichoderma* spp.

El análisis morfológico efectuado con el microscopio biológico mostró que los cuatro aislados utilizados en nuestro experimento pertenecen al género *Trichoderma*. Los cuatro aislados presentaron micelio septado, conidióforo hialino muy ramificado, fialides individuales o en grupos, conidios ovoides o subglobosos en racimos de color verde fuerte a verde olivo y clamidosporas intercalares o solitarias verdes (Figura 2), estructuras típicas del género *Trichoderma*. Sin embargo durante su desarrollo, la colonia del aislado TM pigmentó el medio de cultivo PDA de color amarillo-café. Esto sugiere que el aislado TM puede pertenecer a la especie *asperellum*.

Las secuencias obtenidas de los aislados fúngicos se compararon en la base de datos GenBank. Los resultados indicaron que los aislados TB y TM registraron porcentajes de identidad entre 99 y 100% con *Trichoderma asperellum* y *Trichoderma viride*, respectivamente. Mientras que los aislados TN y TF registraron porcentajes de identidad de 99 y 100% con *Trichoderma virens*, respectivamente. El árbol de distancia generado con éstas secuencias confirmó la identidad de los aislados TB y TM como *Trichoderma asperellum*, mientras que los aislados TF y TN fueron confirmados como *Trichoderma virens* (Figura 3). Estos resultados indican que el género *Trichoderma* presenta variación interespecífica en la región del noroeste de México. Otros estudios que han colectado aislados de *Trichoderma* para eva-

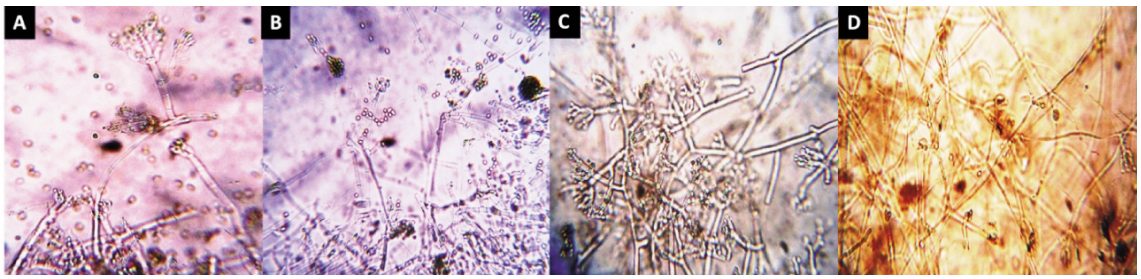



Figura 2. Estructuras morfológicas de los aislados: A) TB = *Trichoderma* aislado de bugambilia, B) TF = *Trichoderma* aislado de ficus, C) TM = *Trichoderma* aislado de mango y D) TN = *Trichoderma* aislado de nogal. Imágenes tomadas en Microscopio biológico con objetivo 10X.
*Figure 2. Morphological structures of isolates: A) TB = Trichoderma isolated of bougainvillea, B) TF =* Trichoderma *isolated of ficus, C) TM =* Trichoderma *isolated of mango and D) TN =* Trichoderma *isolated of walnut. Pictures taken in biological microscope with 10X objective.*

luarlos como control biológico de patógenos del suelo no han detallado la identificación a nivel de especie (Guigón y González, 2004).

## Aislamiento, selección e identificación de *Bacillus* spp.

Se obtuvieron un total de 32 aislados bacterianos. En las pruebas de inhibición 12 aislados no presentaron efectividad antagónica contra el patógeno *P. omnivora*. Por lo tanto, se seleccionaron los 20 aislados que mostraron efecto antagónico y con ellos se efectuaron las pruebas de antagonismo en los medios de cultivo PDA y AN.

En el análisis de varianza de dos vías mostró diferencias entre los 20 aislados ($X^2$ = 1,98, $P$ = 0,014). No hubo diferencias entre los dos medios de cultivo ni en la interacción ($X^2$ = 1,96, $P$ = 0,163) lo que indica que los aislados se comportaron de manera similar en los dos medios.

Las medias del halo de inhibición, considerando los dos medios de cultivo, varió entre los aislados desde 2,43 (B14) hasta 1,67 cm (B32) (Tabla 4). El tratamiento B14 presentó un halo de inhibición mayor que las cepas B17, B22, B12, B33, B20 y B32 ($P$ < 0,05; Tabla 4). Con la intención de probar el efecto de control biológico se seleccionaron los primeros cuatro aislados de *Bacillus* (B14 = *Bacillus* aislado de mango, B21 = *Bacillus* aislado de maíz, B6 = *Bacillus* aislado de jatropha y B18 = *Bacillus* aislado de maíz) para posteriores trabajos de investigación.

## Tinción de Gram y prueba de hemólisis bacteriana

Para corroborar la posible pertinencia al género *Bacillus*, se efectuó una prueba de tinción. En esta prueba, los 20 aislados bacterianos seleccionados mostraron resultados de tinción violeta indicando que son Gram positivas (+), relacionadas con distintos grupos bacterianos incluyendo los del género *Bacillus*. En la prueba de hemólisis, todas mostraron lisis hemolítica tipo gamma (γ), lo que nos indica, que no son patogénicas para el humano y no se corre riesgo alguno de causar daño al ser liberadas al medio ambiente y utilizarlas como inóculo para el control de enfermedades en plantas.

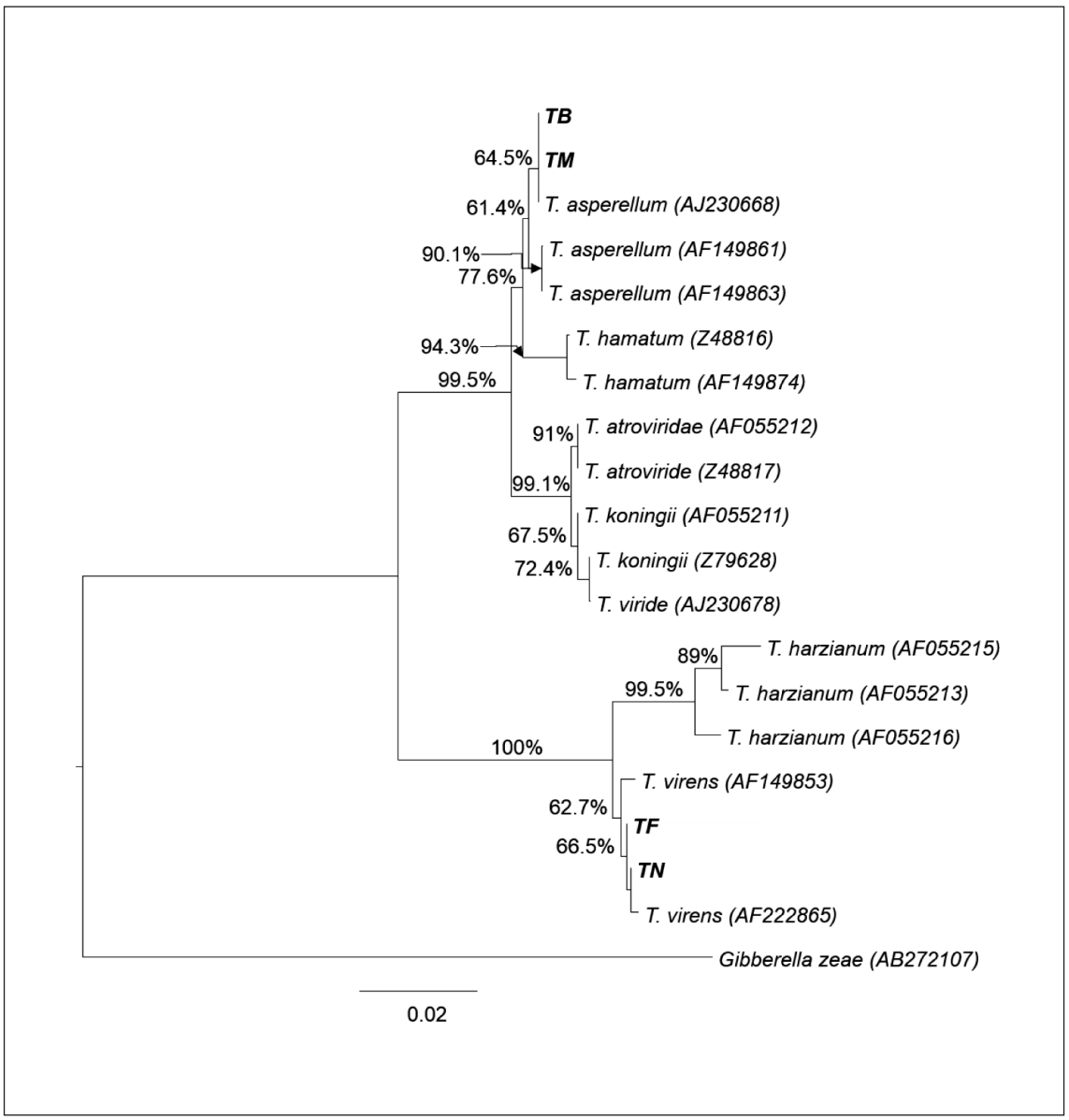



Figura 3. Árbol de distancia (Neighbour-Joining) derivado de las secuencias del ADN ribosomal (ITS1, 5.8S e ITS2) de cuatro aislados de *Trichoderma* y 16 secuencias de referencia. TB: aislado de bugambilia; TF: aislado de ficus; TM: aislado de mango; TN: aislado de nogal (cepa-control).

*Figure 3. Distance tree (Neighbour-Joining) derived from ribosomal DNA sequences (ITS1, 5.8S, and ITS2) four* Trichoderma *isolates and reference 16 sequences. (TB = isolated from bugambilia; TM = isolated from mango; TF = isolated from ficus and the TN = isolated from walnut = strain-control).*

Tabla 4. Medias del halo de inhibición de los aislados de *Bacillus* vs. *P. omnivora* en los dos medios de cultivo utilizados
*Table 4. Means test zone of inhibition of the isolates of* Bacillus *vs.* P. omnivora *in the two culture media and different isolates of* Bacillus

| Aislado | Halo de inhibición (mm) |
|---|---|
| 14 | 2,43 a |
| 21 | 2,42 ab |
| 6 | 2,40 ab |
| 18 | 2,27 abc |
| 15 | 2,23 abc |
| 42 | 2,20 abc |
| 13 | 2,10 abc |
| 23 | 2,03 abc |
| 27 | 2,00 abc |
| 40 | 1,97 abc |
| 1 | 1,95 abc |
| 8 | 1,87 abc |
| 7 | 1,87 abc |
| 31 | 1,85 abc |
| 17 | 1,82 bc |
| 22 | 1,76 c |
| 12 | 1,75 c |
| 33 | 1,75 c |
| 20 | 1,68 c |
| 32 | 1,67 c |
| *F* | 1,98 |
| *P* | 0,014 |

Letras iguales no son diferentes (Duncan, P $\alpha \leq 0.05$).

## Identificación morfológica y molecular de los aislados bacterianos

Los 20 aislados bacterianos se identificaron morfológicamente, y de acuerdo al Manual de Clasificación de Bergey (Claus y Berkeley, 1986), mostraron las características típicas del género *Bacillus*, como son: colonias blanquecinas, opacas, aplanadas de bordes irregulares y características microscópicas típicas: formas bacilares y formadoras de endosporas.

Los cuatro aislados seleccionados (B6, B14, B18 y B21) se analizaron con técnicas moleculares. Las secuencias obtenidas de los aislados bacterianos se compararon en la base de datos GenBank. Tres de los aislados bacterianos (B6, B14 y B18) presentaron altos porcentajes de similitud (99-100%) con varias especies del género *Bacillus*, especialmente aquellas que son más cercanas filogenéticamente (*B. cereus, B. mycoides, B. thuringiensis* y *B. anthracis*). Esta separación no muy clara entre estas cuatro especies coincide con la propuesta de que todas estas especies puedan agruparse en una sola denominada *B*. cereus, sin embargo, la discusión en la comunidad investigadora de *B. cereus* sugieren que es poco probable que la clasificación de organismos del grupo *B. cereus sensu lato* sean agrupados dentro de una sola especie en el futuro previsible (Maughan y Van der Auwera, 2011).

El aislado B21 registró 99% de similitud con *Bacillus subtillis* y *Bacillus tequilensis.* Con el análisis filogenético se logró confirmar la identidad del aislado B21 como *Bacillus subtillis*, mientras que los aislados B6, B14 y B18 no pudieron identificarse hasta nivel de especie, sin embargo se les pudo asociar al grupo *Bacillus cereus sensu lato* (Figura 4). Estos resultados indican la presencia de variación interespecífica del género *Bacillus* en el noroeste de México.

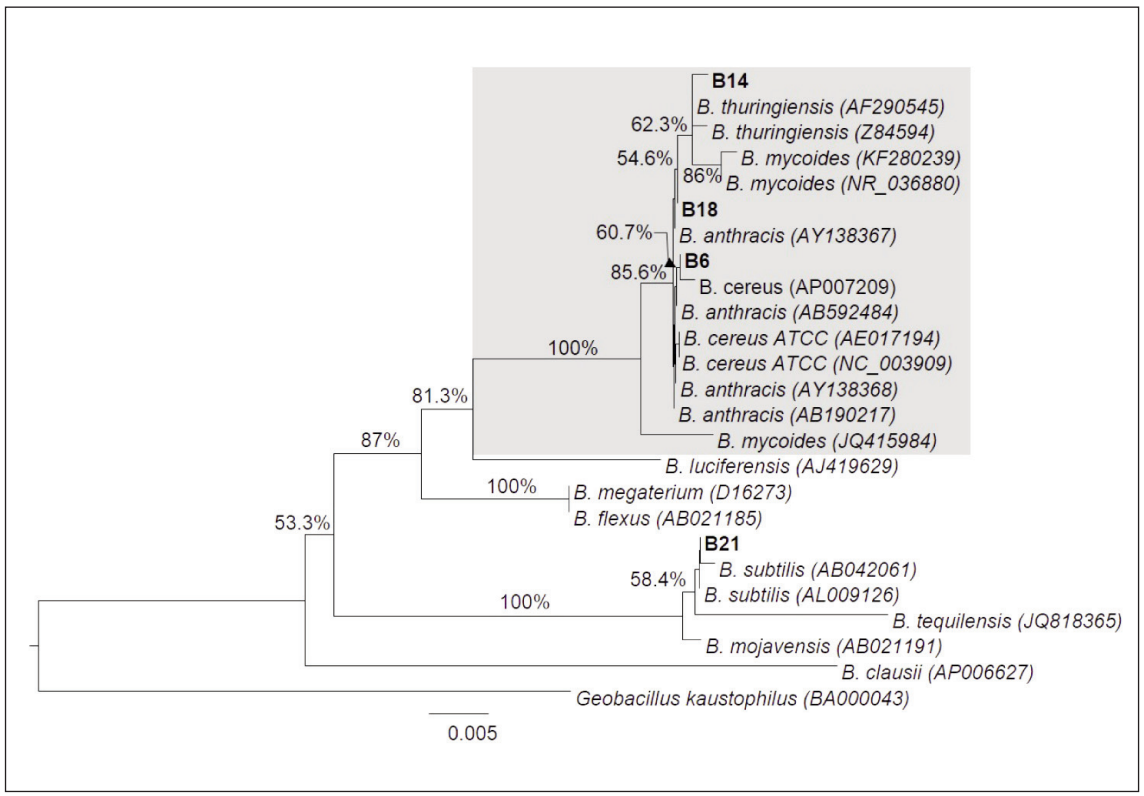



Figura 4. Árbol de distancia (Neighbour-Joining) derivado de secuencias parciales del gen 16S de cuatro aislados de *Bacillus* y 21 secuencias de referencia. (B14: aislado de mango; B06: aislado de jatropha; B18: aislado de maíz; B21: aislado de maíz).
*Figure 4. Distance tree (Neighbour-Joining) derived from partial sequences of the 16S gene of four isolates of* Bacillus *and reference 21 sequences. (B6 = isolated jatropha; B14 = isolated mango; B18 = isolated corn; B21 = isolated corn).*

## Conclusiones

Las dos especies identificadas en los tres aislados de *Trichoderma* mostraron altos y similares niveles de antagonismo contra *Phymatotrichopsis omnivora*. La especie *Trichoderma asperellum* predominó en el control de crecimiento de *P. omnivora*, aunque no es de las especies más reportadas en el control biológico contra fitopatógenos. La eficiencia de las cuatro cepas de *Bacillus* probadas en el control biológico de *P. omnivora* fue similar en los dos medios de cultivo (PDA y AN) estudiados. Las cepas de *Trichoderma* y *Bacillus* nativas del noroeste de México, mostraron efectividad antagónica en el control de pudrición texana (*P. omnivora*) a nivel *in vitro*, por lo tanto, prometen ser potenciales microorganismos de control biológico contra este patógeno en evaluaciones posteriores a nivel invernadero o campo ya que al ser nativas de la región donde serán evaluadas, pueden tener mayores posibilidades de éxito por su probada adaptación al medio ambiente en el que fueron obtenidas.

## Bibliografía


Alabouvette C, Steinberg C (2006). The soil as a reservoir for antagonists to plant diseases. pp. 123-144. In: Eilenberg, J. and Hokkanen, H.M.T., (eds). An Ecological and Societal Approach to Biological Control, Springer, Netherlands. pp 123-144.

Barnett HL, Hunter BB (1972). Illustrated genera of imperfect fungi. 3th. Ed. Minneapolis: Burgess Publishing Company. Minneapolis. 241 p.

Bell D, Well H, Markham C (1982). "*In vitro*" antagonism of *Trichoderma* species against six fungal plant pathogens. Phytopathology 72: 379-382.

Bisset J (1991). A revision of the genus *Trichoderma* II. Section Pachybasium. Canadian Journal of Botany 69: 2373-2417.

Butt TM, Harris J, Powell K (1999). The European scene opportunities for biopesticides. In: Biopesticides: use and delivery, vol. 5. Humana Press, Totowa, N. J. pp. 23-44.

Cervantes-Martínez R, Hernández-Hernández V, González-Cervantes G, Favela-Chávez E, Álvarez-Reyna VP (2010). Antagonismo de Cepas Nativas de *Trichoderma* spp. aisladas en la Comarca Lagunera contra *Phymatotrichum omnivorum* (Shear) Duggar. Revista Agraria-Nueva Época-Año VII. 7(1,2,3): 34-40.

Chan WT, Chen CS, Wang SL (2003). An antifungal chitinase produced by *Bacillus cereus* with shrimp and crab shell powder as a carbon source. Current Microbiology. 47: 102-108.

Chen YP, Rekha PD, Arun AB, Shen FT, Lai W, Young CC (2006). Phosphate solubilizing bacteria from subtropical soil and their tricalcium phosphate solubilizing abilities. Applied Soil Ecology. 34: 33-41.

Claus D, Berkeley RC (1986). «Genus *Bacillus* Cohn 1872», Bergey's Manual of Systematic Bacteriology, Williams y Wilkins Edit., Baltimore, EE.UU. pp. 1105-1139.

Cowan ST, Steel KJ (1993). Manual of the Identification of Medical Bacteria. 3th. Ed. Cambridge University Press. 168 p.

De la Garza JL (1996). Fitopatología General. Universidad Autónoma Nuevo León. Facultad de Agronomía., Marín Nuevo León. 515 p.

De los Santos B, Barrau C, Blanco C, Arroyo F, Porras M, Medina JJ, Romero F (2003). Relatioship between *Trichoderma* soil populations and strawberry fruit production in previously fumigated soils. Plant Pathology. HortScience, 38: 400-1402.

Druzhinina IS, Kopchinskiy AG, Kubicek CP (2006). The first 100 *Trichoderma* species characterized by molecular data. Mycoscience 47: 55-64.

Edgar RC (2004). MUSCLE: multiple sequence alignment with high accuracy and high throughput. Nucleic Acids Research 32: 1792-1797.

Figueiredo MVB, Martinez CR (2008). Plant growth-promoting rhizobacteria for improving nodulation and nitrogen fixation in the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Microbiology Biotechnology. 24 :1187-93.

Guigón C, Guerrero V, Vargas F, Carvaja E, Ávila GD, Bravo L, Ruocco M, Lanzuise S, Woo S, Lorito M (2010). Identificación molecular de cepas nativas de *Trichoderma* spp. su tasa de crecimiento *in vitro* y antagonismo contra hongos fitopatogenos. Revista Mexicana de Fitopatología. Sociedad Mexicana de Fitopatología, A.C. México. 28(2): 87-96.

Guigón C, Gonzalez PA (2004). Selección de cepas nativas de *Trichoderma* spp. con actividad antagónica sobre *Phytophtora capsici* Leonian y Promotoras de Crecimiento en el Cultivo de Chile. Revista Mexicana de Fitopatología, Sociedad Mexicana de Fitopatología, A.C. México. 22(1): 117-124.

Korsten L, De Villiers EE, Wehner FC1, Kotzé JM. (1997). Field sprays of *Bacillus subtillis* and fungicides for control of preharvest fruit diseases of avocado in South Africa. Plant Disease 81 (5): 455-459.

Kullnig CM, Krupica T, Woo SL, Mach RL, Rey M, Benitez T, Lorito M, Kubicek CP (2001). Confusion abounds over identities of *Trichoderma* biocontrol isolates. Mycological Research 105: 769-772.

Larralde CC, Santiago MR, Sifuentes RA, Rodríguez LI, Rodríguez PM, Shirai K, Narváez ZJ (2008). Biocontrol potential and polyphasic characterization of novel native *Trichoderma* strains against *Macrophomina phaseolina* isolated from sorghum and common bean. Applied Microbiology and Biotechnology 80: 167-177.

Lo CT, Nelson EB, Hayes CK, Harman GE (1998). Ecological studies of transformed *Trichoderma harzianum* strain 1295-22 in the rhizosphere and on the phylloplane of creeping bentgrass. Phytopathology 88: 129-136.

López-Jácome LE, Hernández-Durán M, Colín-Castro CA, Ortega-Peña S, Cerón-González G, Rafael Franco-Cendejas R (2014). Las tinciones básicas en el laboratorio de microbiología. Artículo de Revisión. Investigación en Discapacidad 3(1): 10-18.

Martínez B, Reyes Y, Infante D, González E, Baños HA, Cruz A (2008). Selección de aislamientos de *Trichoderma* spp. candidatos a biofungicidas para el control de *Rhizoctonia* sp. en arroz. Protección Vegetal 23(2): 118-125.

Maughan H, Van der Auwera G (2011). *Bacillus* taxonomy in the genomic era finds phenotypes to be essential though often misleading. Infection, Genetics and Evolution 11: 789-797.

Ohba M, Aizawa K (1986). Insect Toxicity of *Bacillus thuringiensis* isolated from soil in Japan. Journal Invertebrate Pathology 47(1): 12-20.

Olsen M, Jeffrey C (1999). Disease and Production Problems of Cotton in Arizona. Plant Disease Publications. Cooperative Extension, College of Agriculture & Life Sciences, The University of Arizona. Az Press. 1124 p.

Ooi TC, Ariff AB, Halimi MS, Shamsuddin ZH (2008). Gorwth kinetics of diazotrophics Bacillus sphaericus UPMB cultured using different types and concentrations of carbon and nitrogen sources. Malaysian Journal of Microbiology 4(2): 15-25.

Osorio-Hernández E, Rodríguez-Herrera R, Hernández-Castillo FD (2009). *Trichoderma* spp. una alternativa para el control de hongos fitopatógenos. Ciencia Cierta 17: 18-20.

Papavisas GC, Davey ChB (1959). Evaluation of various media and antimicrobial agents for isolation of soil fungi. Soil Science 88: 112-117.

Ramírez-Villapudua J, Sáinz-Rodríguez RA, Quiñónez-Felix JA (2006). Cultivo, Enfermedades y Plagas del Mango, bajo el Sistema Convencional y Orgánico. Gobierno del Estado de Sinaloa. Culiacán, Sinaloa, México. 3th Foro Estatal de Ciencia y Tecnología. Investigación para el desarrollo. 8 y 9 de Diciembre 2006. Culiacán, Sinaloa. pp. 1-2.

Samaniego-Gaxiola JA, Herrera-Pérez T (2003). Producción de nuez en nogales (*Carya illinoensis* (Wangenh) K. Koch) atacados por *Phymatotrichopsis omnivora* (Duggar) Hennébert. Revista Mexicana de Fitopatología 21: 323-330.

Samuels GJ (1996). *Trichoderma*: a review of biology and systematic of the genus. Mycological Research 100: 923-925.

SAS Institute (2003). Statistical Analysis System version 9.1. SAS Institute Inc., Cary, North Caroline.

SAS Institute (2004). Statistical and Graphical Guide. SAS Institute Inc. Cary, North Caroline.

Tamura K, Peterson D, Peterson N, Stecher G, Neiy M, Kumar S (2013). MEGA6: Molecular Evolutionary Genetics Analysis Version 6.0. Molecular Biology and Evolution 30: 2725-2729.

Uppalapati SR, Young CA, Marek SM, Mysore KS (2010). *Phymatotrichum* (cotton) root rot caused by *Phymatotrichopsis omnivora* retrospects and prospects. Molecular Plant Phatology 11(3): 325-334.

Verma M, Brar SK, Tyag RD, Surampalli RY, Valero JR (2007). Review: Antagonistic fungi, *Trichoderma* spp.: Panoply of biological control. Biochemical Engineering Journal 37: 1-20.

Von Arx JA (1981). The genera of fungi sporulating in pure culture. J. Cramer, Vaduz, Suiza, Alemania. 424 p.

Watson WT, Kenerley CM, Appel DN (2000). Visual and infrared assessment of root colonization of apple tress by *Phymatotrichum omnivorum*. Plant Disease 84: 539-543.

White TJ, Burns T, Lee S, Taylor JW (1990). Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics. En: Innis MA, Gelfald DH, Sninsky JJ, White TJ (eds), PCR Protocol: a guide to methods and application. Academic Press. Nueva York. pp. 315-320.

Yoon TM, Han JS, Yoo ID, Rajkarnikar A, Kim WG, Yang YY (2005). Biological control agent of common scab disease by antagonistic strain *Bacillus* sp. sunhua. Journal of Applied Microbiology 99(1): 213-21.

(Aceptado para publicación el 12 de febrero de 2015)

# Comportamiento materno y bienestar de la coneja doméstica y silvestre y su camada

P. González-Redondo[1,*], G. González-Mariscal[2], M. López[3], J. Fernández-Carmona[4], A. Finzi[5] y A. Villagrá[6]

[1] Departamento de Ciencias Agroforestales. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica. Universidad de Sevilla. Sevilla, España
[2] Centro de Investigación en Reproducción Animal. CINVESTAV-Universidad Autónoma de Tlaxcala. Tlaxcala, México
[3] Departamento de Producción Animal y Ciencia de los Alimentos. Facultad de Veterinaria. Universidad de Zaragoza. Zaragoza, España
[4] Departamento de Ciencia Animal. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España
[5] Centro Experimental de Cunicultura Alternativa. Viterbo, Italia
[6] Centro de Tecnología Animal CITA-IVIA. Segorbe (Castellón), España

**Resumen**

El conejo europeo (*Oryctolagus cuniculus*), además de tener importancia faunística en el Mediterráneo occidental, es una especie ganadera relevante que es la base de un subsector pecuario industrializado orientado a la producción de carne en varios países, sobre todo europeos, mientras que en algunos países en vías de desarrollo se explota bajo sistemas alternativos orientados a la integración de renta y a la seguridad alimentaria. A la orientación cárnica se suman otras aptitudes productivas heterogéneas que configuran una gran diversidad de sistemas de producción cunícola. Este trabajo revisa el comportamiento materno de la coneja y de su camada, incluyendo su regulación endocrina, tanto en el animal silvestre como en la producción cunícola comercial y alternativa, y se relaciona con los factores de manejo, con la productividad en granja y con el bienestar de la especie. Se analizan también las implicaciones que las normativas sobre bienestar animal comportan respecto al alojamiento, manejo y satisfacción de las necesidades etológicas de las conejas reproductoras y de los gazapos durante la cría, caracterizadas, fundamentalmente, porque en algunos países tienden a proporcionar más espacio y enriquecimiento ambiental en las jaulas.

**Palabras clave:** *Oryctolagus cuniculus*, etología, cría, gazapo, endocrinología, alternativas.

**Abstract**
**Maternal behaviour and welfare of the domestic and wild rabbit doe and its litter**

The European rabbit (*Oryctolagus cuniculus*), in addition to its faunal interest in the western Mediterranean, is a relevant species which in several European countries is the basis of a meat-oriented, industrial livestock subsector, while in many developing countries rabbits are raised under alternative systems aimed at income integration and food security. In addition to meat production, other productive ori-

* Autor para correspondencia: pedro@us.es
http://dx.doi.org/10.12706/itea.2015.021

entations exist that generate a variety of rabbit production systems. This paper reviews the ethology of maternal behaviour of the breeding doe and her litter, including its endocrine regulation, both in wild animal and in industrial and alternative farming systems, and its relation to management factors, productivity and performance as well as the welfare of the species. It also discusses the implications of the regulations concerning animal welfare on housing, management and satisfaction of behavioural needs of breeding does and their litters, which in some countries tend to provide more space and environmental enrichment in cages.

**Key words:** *Oryctolagus cuniculus*, ethology, breeding, kit, endocrinology, alternative.

## Introducción

El conejo común (*Oryctolagus cuniculus*), originario de la Península Ibérica, se domesticó en la Edad Media (Lebas *et al*., 1996), muy recientemente en comparación con otras especies, por lo que conserva en cautividad parte de sus patrones de comportamiento silvestre (EFSA, 2005), característicos de una especie presa con organización social en colonias que viven en madrigueras. Su explotación ganadera se intensificó más tarde que otros sectores como el porcino y el avícola, experimentando sobre todo una evolución de las técnicas reproductivas (Vega *et al*., 2012), alcanzando su máxima expresión en países del Mediterráneo occidental (principalmente Italia, España y Francia) con producción y consumo relevantes (Lebas *et al*., 1996), y expandiéndose a otras áreas del Mundo. Además, gozan de gran difusión la cría de traspatio y para la integración de renta y mejora de la seguridad alimentaria en países en desarrollo (Finzi y Mariani, 2011). Sus diferentes aptitudes productivas (carne, piel, pelo, repoblación cinegética, mascota, razas de fantasía, experimentación) originan sistemas de producción dispares. En este contexto, el repertorio materno de la coneja silvestre y doméstica, controlado hormonalmente, comprende un conjunto de comportamientos de la hembra durante el periparto y la cría de la camada, condicionando el bienestar de ambos y la productividad en granja: excavación de una madriguera de parto en libertad; introducción en ella de material vegetal seco o, en granja, su acomodación en el nidal; arranque de pelo para forrar el nido; parto en la madriguera o el nidal; y amamantamiento, acompañado ello de una reducida incidencia de conductas que producen pérdidas de gazapos. El objetivo de este trabajo es revisar los resultados científicos sobre conducta materno-filial y sobre la regulación fisiológica del comportamiento maternal y el de su camada durante la cría en conejos silvestres y domésticos, así como analizar su grado de aplicación al manejo y bienestar en la cunicultura comercial y alternativa y su tratamiento en la escasa normativa específica promulgada sobre bienestar en el ámbito europeo. Esta revisión puede ser útil, además, para orientar con base científica la legislación en materia de bienestar de la coneja reproductora y su camada en concordancia con su etología.

## Comportamiento materno de la coneja silvestre en libertad

### Excavación de la madriguera de parto, construcción del nido y parto

En libertad las conejas dominantes de la colonia paren en el vivar comunal y las subordinadas, que son mayoría, elaboran el nido y amamantan a sus gazapos en una hura o pequeña madriguera ciega independiente excavada en el terreno lejos del vivar, de hasta

un metro de longitud, en cuyo fondo se sitúa una cámara nido de unos 25 cm de diámetro. La hembra la excava e introduce hierba seca dos o tres días antes del parto y no suele volver a entrar hasta pocas horas antes del parto, forrando entonces el nido con pelo de su pecho y abdomen. La coneja bloquea la entrada de la hura con un tapón de unos 10 cm de suelo que retira cuando entra y repone al salir (Lloyd y McCowan, 1968).

Las hembras silvestres paren por la noche ya que así evitan visitar la hura durante el día y reducen el riesgo de predación (Lloyd y McCowan, 1968). El parto dura unos 10 minutos. A su término, la hembra lame los gazapos, consume la placenta, los amamanta durante menos de un minuto y los abandona cerrando la entrada de la hura. Los gazapos nacen desnudos, con los ojos cerrados y los pabellones auriculares replegados; generan muy escaso calor endógeno y tienen poca coordinación motora (Hudson y Distel, 1982).

### Lactación y destete

El cuidado materno es altamente eficiente pese a que la coneja tiene un limitado contacto con los gazapos durante la lactancia, pues prácticamente no los cuida y los limpia poco. En las dos primeras semanas en que los gazapos están confinados en la hura, la mayoría de las hembras silvestres sólo la visitan una vez al día para amamantarlos (Hudson *et al*., 1996), principalmente entre 30 y 90 minutos antes de la salida del sol, permaneciendo en el interior unos 15 minutos. El breve amamantamiento una sola vez al día es un mecanismo evolutivamente estable que minimiza el riesgo de predación (Lloyd y McCowan, 1968). Los gazapos abren los ojos a los 10 días de edad (Hudson y Distel, 1982), progresando hacia la homeotermia conforme crecen, de modo que sobreviven en los primeros días gracias a que la temperatura en la hura es prácticamente constante debido a su situación enterrada y al recubrimiento de hierba seca y pelo (Gibb, 1993). Las madres tapan la boca de la hura al menos hasta que los gazapos tienen entre 20 y 22 días (Broekhuizen *et al*., 1986).

Los gazapos comienzan a salir sobre los 18 días de edad. Al principio muestran un estado de exploración esporádica que dura unas 24 horas durante las que permanecen en la entrada de la hura, pero dos días más tarde ya se desplazan a poca distancia y pastan intermitentemente (Lockley, 1961). El abandono definitivo del nido parece ocurrir a iniciativa de los gazapos (Myers, 1958) cuando tienen unos 23 días, aunque durante varios días después de la dispersión se agrupan en la hura o cerca para mamar (Broekhuizen *et al*., 1986). El destete es progresivo, de manera que muchos gazapos de más de cuatro semanas de edad pueden estar mamando todavía, sobre todo la última camada de la temporada, disfrutando de una lactancia más larga (Lloyd y McCowan, 1968).

### Plasticidad de la etología reproductiva en conejos silvestres

El comportamiento reproductor de los conejos silvestres es dúctil y difiere en función de factores como la disponibilidad de sustrato excavable o la presión de predación. Así, existen poblaciones que no viven estructuradas en colonias familiares en vivares, sino que viven permanentemente en superficie, excavando gazaperas solamente para la cría de las camadas (Kolb, 1991).

## Comportamiento materno de la coneja doméstica

### El nidal y el nido en la producción del conejo en cautividad; parto

Pese a la domesticación, la conducta innata de elaboración del nido en conejas domésticas es

similar a la de las silvestres (Deutsch, 1957). La hura en la que la coneja silvestre hace su nido se sustituye en cunicultura por un nidal cuyo diseño es importante para mantener la temperatura adecuada para los gazapos (Hudson y Distel, 1982; González-Mariscal *et al*., 1994). Las conejas domésticas aceptan el nidal como lugar para elaborar el nido con el material que el cunicultor introduce, que suele ser paja, viruta de madera o borra, recubriéndolo con pelo que se arrancan del abdomen y pecho. La naturaleza del sustrato introducido en el nidal influye en la calidad del estrato de pelo afectando a la intensidad de la depilación y a la mortalidad de los gazapos durante la lactancia (Verga *et al*., 1984).

La calidad del nido, medida como la abundancia de pelo y el grado en que cubre los gazapos, se correlaciona positivamente con el número de gazapos destetados. Las camadas que viven en nidos de peor calidad tienen mayor mortalidad y peor crecimiento, sobre todo en los primeros días de edad (Szendrö *et al*., 1988; Canali *et al*., 1991). La cantidad y calidad del pelo con el que las conejas domésticas elaboran el nido varía entre razas. Además, con temperaturas ambientales frías tienden a depositar más pelo en el nido (Szendrö *et al*., 1988). En general, la calidad del nido mejora con el orden de parto (Ross *et al*., 1956).

## Lactancia y destete

Las conejas domésticas amamantan por primera vez inmediatamente tras el parto, y a partir de entonces normalmente lo hacen regularmente una vez al día durante un tiempo de entre tres y cinco minutos (González-Mariscal *et al*., 2013a). El amamantamiento ocurre prevalentemente con periodicidad circadiana unas horas antes del inicio del período de luz. En efecto, bajo condiciones de luz:oscuridad controladas dentro de un bioterio de laboratorio (luces encendidas de 07:00 a 21:00 h), alojándose las madres en jaulas grandes con libre acceso a los gazapos, se encontró que la hora de amamantamiento preferida eran las 03:52 (González-Mariscal *et al*., 2013b). Sin embargo, también se ha descrito que una proporción de conejas sometidas a un fotoperiodo rutinario de 16L:8O amamanta a los gazapos durante las dos primeras horas del periodo de luz (Matics *et al*., 2012) o las dos primeras del período de oscuridad con 12L:12O (Hoy *et al*., 2000). La restricción del amamantamiento a una sola vez diaria parece depender de la hembra, pues si los gazapos tienen ocasión intentan mamar más frecuentemente (Zarrow *et al*., 1965) y, como se verá después, se ha observado que cierta proporción de conejas amamantan más de una vez al día (Hoy *et al*., 2000). Existe una sincronía circadiana entre la conducta de la hembra y la de los gazapos en el amamantamiento (Hudson *et al*., 1996). Así, las crías se anticipan a la llegada de la madre de modo que, cuando la coneja entra en el nidal, los gazapos ya se encuentran despiertos y listos para iniciar el amamantamiento. Esta conducta de los gazapos se debe a una sincronización provocada por el alimento, i.e., por la leche recibida en días anteriores (Caba y González-Mariscal, 2009; Morgado *et al*., 2011). Al colocarse la madre sobre los gazapos adoptando una postura arqueada (cifosis) permite que ellos localicen rápidamente los pezones (Hudson y Distel, 1982) al percibir por vía olfativa la llamada "feromona mamaria", identificada como el compuesto 2-metil-but-2-enal (Schaal *et al*., 2003). Después de amamantar, la hembra defeca unas pocas heces dentro del nido, pero nunca orina dentro de él. El amamantamiento cesa bruscamente cuando la coneja abandona el nidal y deja a los gazapos solos hasta el día siguiente (González-Mariscal *et al*., 1994 y 2013b).

El periodo de dependencia maternal se divide en tres etapas (Hudson *et al*., 1996): i) la primera semana durante la cual los gazapos

sólo toman leche; ii) las semanas segunda y tercera durante las que comienzan a mordisquear las heces y el material de cama depositado en el nido, hacia el día 11 o 12 de edad, comenzando así a establecerse la flora ceco-cólica en los gazapos, e iniciando el abandono del nidal a partir de los 13 días (Hudson y Distel, 1982), comenzando también a beber agua; y iii) la cuarta semana en la que los gazapos toman cantidades significativas de alimento sólido y agua ya hacia el día 22 ó 23 (Lincoln, 1974).

En cunicultura se practica el destete brusco, separándose comúnmente los gazapos de su madre entre los 28 y 35 días de edad. Se considera un destete próximo al natural porque en ese momento la coneja produce ya poca leche, sobre todo si está gestante simultáneamente (Lincoln, 1974; Hudson *et al*., 1996). Los destetes más precoces, no difundidos como práctica generalizada aunque se siguen ensayando sus posibilidades de aplicación (Gómez-Conde *et al*., 2004; Xiccato *et al*., 2004), pueden ser más estresantes para los gazapos y comportar más trastornos intestinales, mortalidad y retardo del crecimiento (De Blas *et al*., 1999).

## Mecanismos hormonales que regulan el comportamiento materno de la coneja

### Fluctuaciones hormonales durante la gestación y su relación con la construcción del nido

La concentración sanguínea de varias hormonas cambia a lo largo de la gestación (González-Mariscal *et al*., 1994), conforme se detalla en la Tabla 1. En general, los niveles de estradiol 17-β y de progesterona se incrementan gradualmente a lo largo de la gestación. Sin embargo, al aproximarse el parto la relación entre estas dos hormonas cambia

Tabla 1. Concentraciones hormonales (medias) durante la gestación y la lactancia en la coneja
*Table 1. Hormone concentrations (means) during pregnancy and lactation in the doe*

| Hormona | Días de gestación | | | | Días de lactancia | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 10 | 20 | 25 | 30 | 1 | 3 | 5 | 10 | 20 | 25 | 30 |
| Estradiol[1], pg/ml | 55 | 65 | 61 | 75 | 63 | 58 | 60 | 64 | 65 | 64 | 57 |
| Progesterona[1], ng/ml | 7 | 9 | 6 | 3 | — | — | — | — | — | — | — |
| Testosterona[1], pg/ml | 250 | 260 | 250 | 300 | 200 | 175 | 170 | 180 | 200 | 160 | 140 |
| Prolactina[2], ng/ml | 20 | 10 | 5 | 170 | nd | nd | 64 | 73 (día 9) | 55 | 11 | 10 |
| Oxitocina[3], pg/ml | nd | nd | nd | nd | 34 (día 2) | nd | 87 | 347 (día 11) | 105 | nd | 453 |

nd: no determinada. —: indetectable.

[1] Valores tomados de González-Mariscal *et al*. (1994).

[2] Tomados de McNeilly y Friessen (1978) (valores durante la gestación) o de Fuchs *et al*. (1984) (valores durante la lactancia, determinados a los 5 minutos después de iniciada la succión).

[3] Valores determinados a los 3 minutos después de iniciada la succión, según Fuchs *et al*. (1984).

drásticamente pues el estradiol 17-β se eleva bruscamente hacia el día 30 de gestación en tanto que la progesterona disminuye hasta ser prácticamente indetectable el día del parto. Este cambio en la relación estradiol 17-β/progesterona provoca, a su vez, la brusca secreción de prolactina. La testosterona también se secreta abundantemente durante la gestación, sin mostrar grandes variaciones en su concentración. Todas estas variaciones hormonales (mostradas en detalle en la Tabla 1) son esenciales para regular la construcción del nido maternal, donde tendrá lugar el episodio diario de amamantamiento. La construcción del nido consiste en el despliegue secuencial de tres actividades: 1) la excavación de una madriguera subterránea (en la naturaleza) o de un sustrato colocado dentro de la caja-nido (en el laboratorio o la granja); 2) el acarreo de vegetación comestible del entorno (conejos silvestres) o de paja colocada en la jaula del animal (conejos domésticos) y su introducción dentro de la madriguera o caja nido; 3) el arrancado del pelo ventral para recubrir con este material el "nido de paja" construido dentro de la madriguera o caja. El inicio y la terminación de cada una de estas tres actividades están estrechamente regulados por combinaciones hormonales específicas (González-Mariscal *et al*., 1994). Como se observa en la Figura 1.A, la excavación del sustrato se incrementa conforme se avanza en la gestación, es decir, con altas concentraciones de estradiol 17-β y de progesterona y declina hacia final de la misma, cuando disminuyen los niveles de progesterona. Estas variaciones se replican al inyectar a conejas ovariectomizadas benzoato de estradiol 17-β y progesterona (González-Mariscal *et al*., 1996). El acarreo de paja al interior del nido se observa solamente al declinar la concentración sanguínea de progesterona al final de la gestación o al dejar de administrar esta hormona a conejas ovariectomizadas tratadas con benzoato de estradiol 17-β (Figura 1.B). El arrancado del pelo se inicia poco antes del parto, coincidiendo con la abrupta secreción de prolactina, el cambio en la tasa estradiol 17-β/progesterona y la continua presencia de testosterona. Este comportamiento continúa por varios días post-parto y también se replica en las conejas ovariectomizadas tratadas con benzoato de estradiol 17-β + progesterona una vez que se ha removido la progesterona (González-Mariscal *et al*., 1994 y 1996). La implantación de benzoato de estradiol 17-β en el área preóptica del cerebro estimula la excavación y el acarreo de paja en conejas ovariectomizadas, cuando se acompaña de la inyección subcutánea de progesterona (y posterior remoción; González-Mariscal *et al*., 2005). La prolactina también participa en regular la construcción del nido maternal pues: a) la inyección subcutánea de bromocriptina (droga que antagoniza la liberación de prolactina) en los últimos días de la gestación previene el acarreo de paja y el arrancado del pelo (González-Mariscal *et al*., 2000), y b) la inyección de prolactina por vía intracerebroventricular revierte los efectos provocados por la bromocriptina (González-Mariscal *et al*., 2004).

## Relevancia de las hormonas de la lactancia para la expresión del comportamiento maternal

Las concentraciones sanguíneas de estradiol 17-β, progesterona, testosterona y prolactina observadas durante la gestación cambian drásticamente durante la lactancia (ver Tabla 1). Además, las dos hormonas clásicas de la lactancia, es decir, la prolactina y la oxitocina muestran una liberación fásica y breve. En cada episodio de succión, que dura entre 3 y 5 minutos (González-Mariscal *et al*., 1994), y ocurre sólo una vez cada 24 horas dentro del nido (Jilge, 1993 y 1995; González-Mariscal *et al*., 2013b), se observa la secreción máxima de oxitocina y prolactina (Tabla 1). Sin embargo, el brusco incremento en la con-

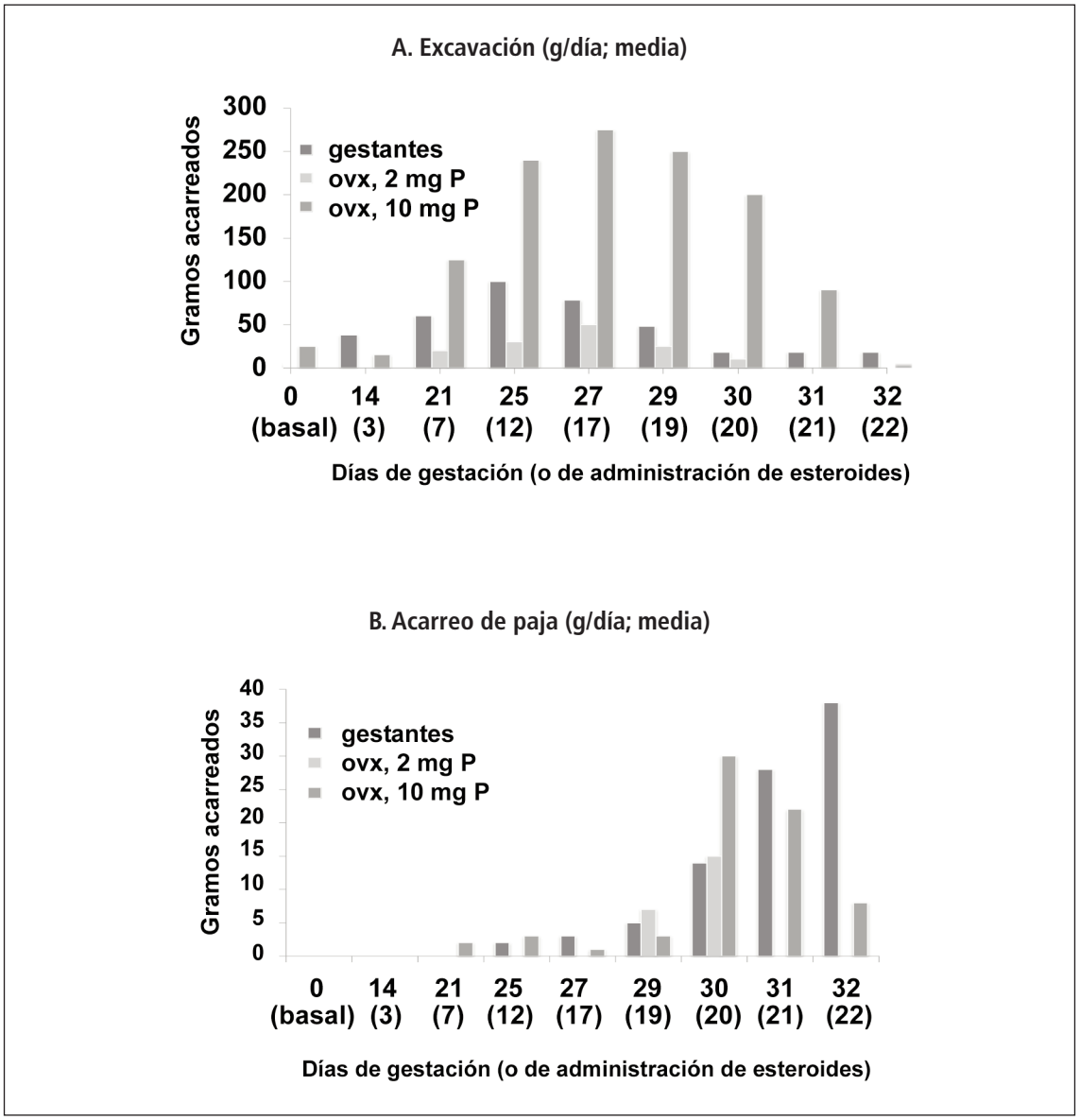



Figura 1. Variaciones en la intensidad de las conductas de excavación (panel A) y de acarreo de paja (panel B) a lo largo de la gestación (González-Mariscal *et al*. 1994) o durante la administración, a conejas ovariectomizadas (ovx), de benzoato de estradiol (días 1-22; 5 µg/día) combinado con 2 ó 10 mg/día de progesterona (P; días 3-16; González-Mariscal *et al*. 1996).

*Figure 1. Variations in the intensity of digging (pannel A) and straw collection (pannel B) behaviours along gestation (González-Mariscal* et al.*, 1994) or during administration, to ovariectomized does (ovx), of estradiol benzoate (days 1-22; 5 µg/day) combined with 2 or 10 mg/day of progesterone (P; days 3-16; González-Mariscal* et al.*, 1996).*

centración plasmática de estas dos hormonas es breve pues, después de unos minutos, los niveles de oxitocina y prolactina regresan a niveles basales (Fuchs *et al*., 1984). Si bien la importancia de la prolactina y la oxitocina para la producción y evacuación láctea, respectivamente, está bien establecida, su participación en la expresión del comportamiento materno aún no está esclarecida. Si se previene la secreción de prolactina durante la primera semana de lactancia (administrando bromocriptina) se suprime la producción de leche pero no desaparece la conducta maternal. Sin embargo, al antagonizar la liberación pre-parto de prolactina por inyecciones de bromocriptina a finales de la gestación, sí se suprime el comportamiento maternal durante los primeros días de la lactancia (González-Mariscal *et al*., 2000). La co-inyección intracerebroventricular de prolactina restaura la conducta maternal (González-Mariscal *et al*., 2004) lo que indica que dicha hormona es esencial para el inicio de este comportamiento. Existe evidencia que sugiere que la oxitocina participa en la regulación de un aspecto particular de la conducta maternal: su temporalidad. Normalmente las conejas amamantan a sus crías con periodicidad circadiana, es decir, una vez cada 24 horas (Jilge, 1993 y 1995; González-Mariscal *et al*., 2013b). Sin embargo, si el tamaño de la camada es pequeño (menor a 6 gazapos) se pierde la periodicidad circadiana y las madres entran a la caja nido muchas veces al día (González-Mariscal *et al*., 2013b). De manera similar, se conoce que cada episodio de amamantamiento dura entre 3 y 5 minutos durante toda la lactancia (Zarrow *et al*., 1965; Lincoln, 1974; González-Mariscal *et al*., 1994). Sin embargo si se alteran las características normales de la succión, por ejemplo: reduciendo el número de crías que succionan (por debajo de 4; González-Mariscal *et al*., 2013a) o cubriendo los pezones maternos o los hocicos de las crías (González-Mariscal, 2007) se incrementa el tiempo que las madres pasan en el nido con la camada. Dado que existe una relación directa entre el número de crías amamantadas y la cantidad de oxitocina secretada (Fuchs y Wagner, 1963) hemos propuesto que esta hormona contribuye importantemente a mantener tanto la periodicidad circadiana del amamantamiento como la duración normal de los episodios de succión.

## Comportamiento materno, bienestar y estrés en diferentes sistemas de explotación

### Cunicultura comercial de orientación cárnica

En las granjas comerciales las conejas se alojan en jaulas individuales de varilla metálica que permiten el contacto visual, olfativo y auditivo entre vecinas (Negretti *et al*., 2008 y 2010). Actualmente tienden a ser jaulas polivalentes con objeto de que los gazapos se ceben en la misma jaula en que nacieron y se reduzca así el *estrés del destete*, trasladando a la madre a una jaula y sala limpias para que el siguiente parto ocurra en buenas condiciones higiénico-sanitarias.

En la jaula la relación materno-filial se inicia cuando el cunicultor pone a disposición de la coneja un nidal con material apropiado (viruta, paja o borra predominantemente) 3-4 días antes del parto. Desde ese momento la hembra se ocupa de la construcción del nido, iniciando una serie de visitas al nidal que alcanzarán el máximo el día del parto y el siguiente, y se reducirán conforme aumenta la edad de los gazapos (Fernández-Carmona *et al*., 2005). Es raro encontrar a las conejas en el interior del nidal cuando no amamantan, y si se las ve de modo continuado, es muy probable que sufran algún problema: la pododermatitis es el más frecuente en jaulas con suelo de malla que carecen de reposapatas, ubicándose las conejas en el nidal seguramente por-

que les conforta el suelo de madera o plástico, o el blando material. Cuando dispone de reposapatas la coneja lo utiliza muy frecuentemente, especialmente al final de la gestación (López *et al*., 2002), y siendo cada vez más común este objeto en las jaulas (75% lo tienen) se asiste paralelamente a una reducción de la morbilidad (Rosell y De la Fuente, 2013). Es una forma de enriquecimiento de la jaula y de mejora del bienestar de la hembra, pues la mortalidad y morbilidad se han definido como los dos principales indicadores del bienestar en conejos (Hoy y Verga, 2006).

Tradicionalmente la coneja tiene libre acceso al nidal, pero en muchas granjas se cierra la entrada al mismo, excepto unos minutos cada día, durante los 7-10 primeros días postparto. Este manejo imita el comportamiento de la coneja silvestre, que visita el nido una vez cada 24 horas y tapa la salida de la madriguera cuando lo abandona. Hoy sabemos que un 20-40% de las conejas entran al nido dos o tres veces al día, si bien no está comprobado que el acceso suplementario al nidal implique amamantamiento en todas las visitas. Los resultados de limitar la entrada al nido son contradictorios y mientras algunos autores lo aconsejan porque se reduce la mortalidad y el estrés de los gazapos durante la lactación (Verga *et al*., 2007) otros no encuentran esa ventaja (Szendrö *et al*., 1999; EFSA, 2005). Algunos ganaderos solamente hacen lactancia controlada 24 horas antes de la inseminación (o 48 horas con un breve amamantamiento en la mitad del periodo), utilizando esta técnica como bio-estímulo, pues la cancelación de un episodio de amamantamiento en la lactancia temprana restaura el estro en 24 horas (García-Dalmán y González-Mariscal, 2012), lo cual incrementa las probabilidades de lograr una gestación tras la inseminación (Bonanno *et al*., 2004).

Otro punto interesante de la mejora del bienestar en la relación materno-filial lo constituye la transferencia de gazapos de unas camadas a otras. Se realiza el mismo día del parto y habitualmente se iguala el número de gazapos a 9 o 10 por camada. Su fin es que los hijos de hembras altamente prolíficas puedan recibir alimentación sin estar limitados por el número de pezones de su madre, variable entre 8 y 11. En general las conejas no manifiestan rechazo de gazapos (International Rabbit Reproduction Group, 2005; González-Mariscal y Gallegos, 2007), especialmente cuando al mezclarlos se tiene la precaución de considerar tamaños similares, que la adopción sea próxima al parto y, asimismo, de mantener el nidal cerrado cierto tiempo para que los gazapos de adopción se integren en la camada. La manipulación de los gazapos también se relaciona popularmente con rechazo por parte de la madre, pero este comportamiento no se observa en las granjas. Al contrario: se ha comprobado que toquetear a los gazapos algunos minutos diarios desde su nacimiento contribuye a reducir sus reacciones de miedo frente a los humanos, por lo que se aconseja como procedimiento sencillo de mejora del bienestar (Anderson *et al*., 1972; Bilkó y Altbäcker, 2000; Zucca *et al*., 2012).

A veces en el nidal o en el suelo de la jaula puede encontrarse algún gazapo muerto mordisqueado, o restos de gazapo, habiéndose descrito en esta especie canibalismo perinatal asociado a un escaso carácter maternal debido a estrés. Es un fenómeno poco habitual en granja (Sawin y Crary, 1953) que también se observa en conejas mascota. Descartado el sacrificio con fines caníbales, parece razonable pensar que, si algún pequeño gazapo muere, quizás la coneja intenta hacer desaparecer el cadáver para mantener limpia la jaula. En otras ocasiones pueden encontrarse muertas varias camadas enteras como consecuencia de que la madre ha abandonado a los neonatos. También es inusual este abandono, y ocurre generalmente cuando coinciden los nacimientos en la nave con bajadas de temperatura externa; la colocación

de calefactores para evitar este problema es cada vez más frecuente en las granjas.

Conforme avanza la lactación la relación materno-filial va estableciéndose en el exterior del nidal pues los gazapos empiezan a salir del mismo cuando tienen alrededor de 16-18 días de edad. Inician entonces el reconocimiento del territorio, investigan el suelo, las paredes, se acercan al comedero, al bebedero, interactúan entre sí y con la madre en múltiples ocasiones: contacto, acicalamiento, corretean, comparten comedero, suben sobre su madre para acceder al bebedero o al comedero, etc. e intentan alcanzar los pezones y son entonces rechazados por la coneja. Para la mejora del bienestar de la hembra durante este periodo se aconseja utilizar escondites u objetos que le permitan aislarse de su camada, siendo la colocación de una plataforma unos 30 cm por encima del suelo de la jaula la opción más estudiada, aunque aún no ha sido introducida en las granjas comerciales. Una plataforma supone aumentar la altura de la jaula de la coneja (que hoy es de 30-40 cm) consiguiendo además ampliar el espacio disponible y favorecer así la realización de algunos comportamientos específicos requeridos como indicadores de bienestar –saltar, erguirse, vigilar, etc.–. Lo negativo de la plataforma es el incremento de la suciedad encima y debajo de la misma (Szendrö, 2012), y que, finalmente, los gazapos también la ocupan. Al respecto, parece que el momento de mayor concentración de intentos de lactar ocurre dos horas antes del amamantamiento en la 3ª semana de vida, y media hora antes del amamantamiento en la 5ª semana, sugiriendo Mirabito (2007) que ese comportamiento podría no ser una perturbación para las madres sino una estrategia de adaptación entre madres y gazapos que crecen.

## Reproducción y cría en colonias

Como hemos indicado, las reproductoras comerciales se alojan en jaulas individuales, lo que pudiera entrar en contradicción con el carácter social de la especie, que en la naturaleza vive en colonias. Por esta razón, impulsado por las objeciones crecientes de la opinión pública y por las tendencias de algunas instancias legisladoras en contra del alojamiento individual en las condiciones de la producción ganadera predominante, se han propuesto sistemas con alojamiento de conejas reproductoras en grupo que sean implementables en el ámbito productor (Ruis, 2006). La mayoría de los prototipos han consistido en pequeños parques, de dimensiones variables en torno a 4-9 $m^2$ en planta, con suelo emparrillado, con enriquecimientos ambientales diversos y equipados con varios nidales, en los que se alojan un macho y un número de conejas variable entre 4 y 8, así como los gazapos hasta el destete (Stauffacher, 1992; Rommers *et al*., 2006; Ruis, 2006; Szendrö *et al*., 2013). Estos sistemas de alojamiento en colonia implican, respecto a la jaula individual, cambios en las características de los propios alojamientos y en su manejo, y plantean nuevas cuestiones relacionadas con el bienestar. Así, la libre entrada de unas conejas en los nidales de las otras, propiciada por la competencia por los lugares donde hacer el nido y por la preferencia por determinados nidales, incrementa la mortalidad de los gazapos lactantes por aplastamiento e infanticidio (Ruis, 2006). Además, en sistemas de cría en colonia se han descrito partos de dos o más conejas en el mismo nidal (Finzi y Gualterio, 1990). También ocurren agresiones entre reproductoras, particularmente cuando se introducen nuevas hembras desconocidas para el grupo, sobre todo si previamente han estado alojadas individualmente. Por otra parte, el alojamiento en colonia exige una escrupulosa higiene debido al contacto directo entre animales, siendo el control sanitario más difícil que en el alojamiento individual en jaula. Además, los sistemas de alojamiento en colonia son más complejos de manejar, dificultando el

seguimiento de cada reproductora y su camada, la limpieza y la captura de los animales (Ruis, 2006). Otro problema importante es la alta incidencia de pseudogestaciones, que en alguna experiencia ha superado el 20% de las hembras (Rommers *et al*., 2006). Cuando las conejas están alojadas con el macho, el ritmo de reproducción es intensivo, con cubrición post-parto (Ruis, 2006). En un intento de racionalizar la reproducción, se ha investigado la ciclización de las conejas mediante inseminación artificial pero se ha obtenido una baja fertilidad debida en parte a la incidencia de pseudogestaciones (Rommers *et al*., 2006). Los intentos más exitosos de reproducción en colonia se han basado en la implementación de un sistema individual de reconocimiento electrónico del nidal, de manera que cada coneja sólo pueda acceder al suyo. Esto ha permitido mejorar algunos aspectos negativos asociados al acceso libre al nidal (se reduce la competencia por los nidales y el infanticidio), pero persisten problemas por resolver tales como el aumento del coste de producción, la elevada incidencia de pododermatitis pese a usar suelo de emparrillado plástico, las peores condiciones de higiene, la sincronización eficaz de la reproducción de las hembras y la incidencia de pseudogestaciones, o el peor crecimiento de las crías (Ruis, 2006). Además, en conejas alojadas en colonia se incrementa la cortisolemia, y por ende el estrés, respecto al alojamiento individual (Szendrö *et al*., 2013). Por todo ello, dicho sistema dista de convertirse en una alternativa comercialmente viable al alojamiento individual en jaula.

También se han usado y propuesto conejares más extensivos para mantener colonias en recintos sobre suelo, en condiciones próximas a las de vida libre y con poco manejo (Finzi y Mariani, 2011). Entre los sistemas que siguen actualmente este modelo destaca la producción de conejos silvestres en cercados, analizada posteriormente.

Cunicultura alternativa de carne

Como se ha dicho, cuando la coneja silvestre va a parir se aleja de la madriguera común, excava su propia hura y pare en soledad, cuidando sola su nido con total autonomía. Por esta razón, la idea de que las conejas, siendo animales sociales, tengan que alojarse en una estructura común no corresponde a la etología de la especie y explica por qué los intentos de mejorar el bienestar de las madres en espacios comunes hayan acabado en resultados negativos sea en cercados sea en jaulas colectivas. La jaula madre individual es pues, hasta ahora, la mejor solución para la fase reproductiva de las conejas desde la perspectiva etológica.

Algunas ideas equivocadas acerca del bienestar animal nacen de conceptos antropomórficos y hasta de ideas abstractas sin fundamento. Si observamos los conejos en condiciones naturales podemos notar que los animales utilizan dos condiciones ambientales totalmente diferentes (Lockley, 1964): por un lado disfrutan su sistema de madrigueras donde permanecen normalmente a lo largo del día en espacios largos pero muy estrechos, protegidos de los predadores, y por el otro lado salen al mundo exterior donde tienen necesariamente que buscar su alimento, normalmente desde la tarde hasta la madrugada, mimetizados por su pelo pardo en la oscuridad y listos para escapar a las madrigueras en presencia de predadores. Si hay condiciones de estrés, es en el pasto donde se dan situaciones de peligro y no en las estrechas y seguras galerías de las madrigueras, pues un espacio estrecho y oscuro, excavado por los propios conejos, es el que más corresponde a sus exigencias etológicas en comparación con el inseguro mundo exterior.

Además el terreno es un excelente aislante térmico natural. Por esto el interior de la madriguera es más fresco en verano y permite a los conejos sustraerse al estrés térmico siendo

muy termosensibles, mientras que en invierno es menos fría la cavidad que tiene función de nidal para los neonatos, que, naciendo desnudos, necesitan una temperatura microambiental de 27-29ºC para mantener su temperatura corporal por encima de 35ºC durante los primeros días (Colin *et al*., 2008). Se ve entonces como el conejo disfruta en la naturaleza de condiciones microambientales que en la industria tienen que producirse con gasto de energía.

Se considera entonces que, si se logran reproducir artificialmente unas condiciones ambientales más parecidas a las naturales, se va a incrementar el bienestar de los conejos. Esto se puede conseguir de formas diferentes (Finzi y Mariani, 2011), pero el sistema más eficaz y económico, bien testado durante muchos años de actividad en pequeñas granjas, es el de celda enterrada. Está basado en una arqueta de cemento (de 50×50×50 cm, de las usadas para el saneamiento de las aguas domésticas) enterrada hasta el borde y cerrada por una tapa aislante, removible para controlar el interior donde se pondrá el nidal y donde el adulto puede encontrar un microambiente más parecido a las condiciones naturales y más adaptado a sus exigencias de termorregulación. En efecto, en el interior de la celda la temperatura máxima resulta al menos seis grados inferior a la exterior en la sombra en época cálida. La celda comunica mediante un tubo con una jaula metálica estándar exterior donde se encuentran el alimento y el agua. El tubo, de 14-16 cm de diámetro, debe ser suficientemente largo para que el aire caliente o frío no entre en la celda y, al mismo tiempo, estando enterrado al menos medio metro, constituye otro enriquecimiento coherente con la etología del conejo. Los reproductores pueden escoger libremente el ambiente más confortable según sus propias exigencias fisiológicas y etológicas, lo que no puede hacer en los sistemas convencionales (Finzi y Negretti, 2007).

Una de las demandas más comunes de quienes persiguen el bienestar animal es que los animales puedan vivir en condiciones naturales. Para averiguar si los conejos prefieren, y en qué medida, un área de terreno libre con hierba y con disponibilidad de agua y pienso balanceado, en una experiencia (Finzi *et al*., 2001) se puso una celda enterrada en comunicación con un área de prado cercado donde había una parte de terreno llana y otra inclinada, un árbol y pienso y agua, estos últimos en condiciones iguales a las de la celda. Las hembras prefirieron claramente permanecer en la celda (Figura 2): Prácticamente salían solo para depositar sus heces al borde del cercado, lo más lejos posible de la celda, y algo más frecuentemente antes del parto sólo para excavar su madriguera en la parte inclinada del suelo. Se demuestra que las conejas escogen y prefieren el sistema artificial que cubre sus exigencias etológicas incluso mejor de lo que pueden lograr en condiciones naturales. La única exigencia etológica ancestral que manifiestan es, cuando es posible, la de excavar su madriguera para parir en el exterior.

## Granjas cinegéticas

La producción de conejos silvestres en granjas cinegéticas, para repoblar cotos de caza, tiene relevancia en varios países de Europa occidental, principalmente España, Francia y Portugal (González-Redondo, 2002), y ha generado un sector productor joven pero consolidado (González-Redondo y Sánchez-Martínez, 2014). Dicha producción se basa en dos sistemas diferenciados de alojamiento y manejo de los reproductores (González-Redondo, 2002): colonias alojadas en cercados y alojamiento en jaula en sistemas análogos a los de la cunicultura convencional. En ambos casos la cría de gazapos tras el destete se realiza en cercados para habituarlos a las condiciones que encontrarán en el campo al liberarlos en la repoblación. Cada uno de estos sistemas de re-

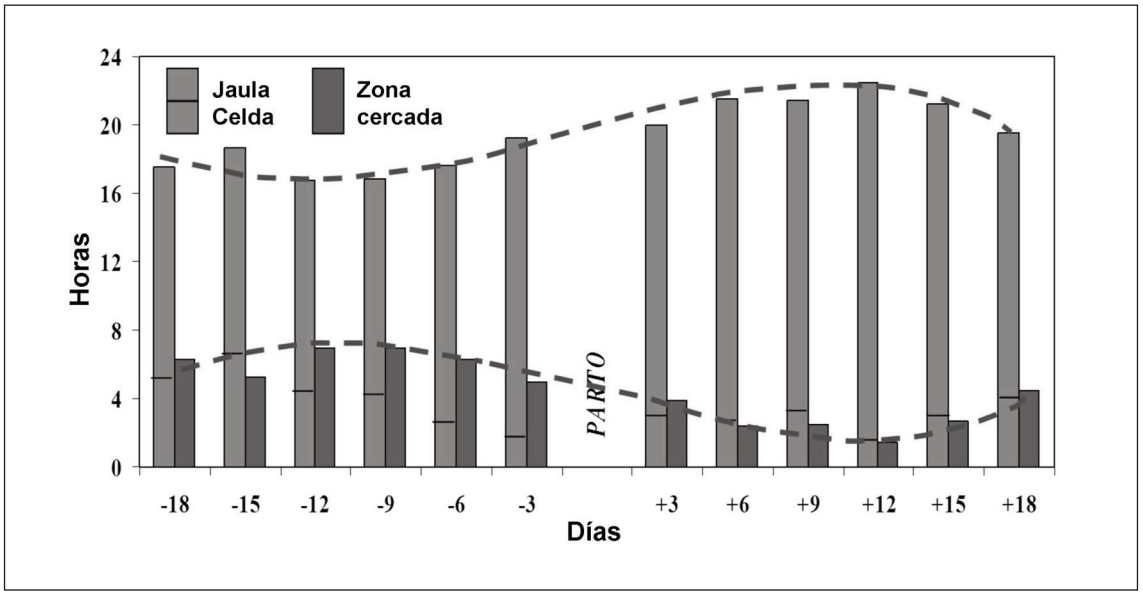



Figura 2. Tiempo de presencia de las hembras en un sistema artificial (celda o jaula) o en un cercado, con respecto al parto (Adaptado de Finzi *et al*., 2001).
*Figure 2. Time spent by does in an artificial system (underground cell or cage) or in an enclosure, with respect to delivery date (Adapted from Finzi* et al*., 2001).*

producción plantea distintos problemas de manejo y presenta limitaciones al bienestar. Común a ambos es el carácter silvestre del animal explotado, que incrementa la dificultad de manejo en comparación con las razas domésticas por su mayor reactividad y el mayor estrés que sufre en cautividad.

*Reproducción en cercados*

El alojamiento de los conejos silvestres reproductores en cercados es bien conocido desde que se utilizaron en Australia y Nueva Zelanda para estudiar, en especial a partir de la década de 1950, el funcionamiento de las colonias cunícolas como vía para mejorar el control de las plagas de esta especie invasora (Myers, 1958). Se basa en imitar las condiciones de vida naturales y consiste en alojar, en cercados de superficie muy variable (desde algún centenar de metros cuadrados hasta una hectárea o más), colonias integradas por uno o varios grupos familiares formados por un macho y 5-8 hembras cada uno, en función de la superficie del cercado (González-Redondo, 2002). Los cercados pueden dividirse en un área de alimentación y otra de reproducción comunicadas (Díez, 2013). Cuanto menor es la superficie del cercado respecto al área de campeo de la especie (que, aunque muy variable, en promedio es de 2-4 ha; Moseby *et al*., 2005) y mayor el tamaño de la colonia, más problemas sociales aparecen en el grupo y afectan a la reproducción. Debido a ese incremento relativo de la densidad de alojamiento respecto a las condiciones naturales, la producción de conejos silvestres en cercados está limitada cualitativamente por los mismos problemas relacionados con la reproducción que el alojamiento de conejas domésticas en grupo: agresión entre animales del mismo sexo (machos a machos, hem-

bras a hembras, en especial las dominantes a las subordinadas) y competencia de las conejas por los lugares donde nidificar, con la consecuente pérdida de camadas por infanticidio. También son escasas las posibilidades de control reproductivo y de la cría, y mayores los riesgos sanitarios por el contacto directo entre animales y por el suelo de tierra que facilita el ciclo de las parasitosis y obliga a rotar los cercados.

La disponibilidad de lugares óptimos donde los conejos puedan excavar madrigueras afecta a la productividad de los cercados de reproducción (Guerrero-Casado *et al*., 2013). Por eso, un elemento esencial de estas instalaciones son los vivares artificiales donde los conejos se refugian y paren como en libertad. Su adecuado diseño y disposición puede reducir los problemas de competencia por los sitios para parir y, con ellos, las agresiones entre conejas y el infanticidio de la prole ajena. Da buen resultado la disposición de un vivar grande comunitario y de un número de pequeños vivares individuales (superficie aproximada de 1 $m^2$), lo más dispersos posible dentro del cercado, que exceda ampliamente del número de conejas reproductoras (Arenas *et al*., 2006). La distribución en el cercado de pacas de paja sin deshacer también sirve para que sean utilizadas por algunas hembras como lugar para elaborar el nido y parir.

En estos cercados la mortalidad perinatal puede ser inferior al 17% mientras que la mortalidad acumulada al destete se sitúa en el 23% (Arenas *et al*., 2006), lo que revela la viabilidad del sistema para la cría de conejos silvestres para repoblación.

Un problema son, al igual que el alojamiento de conejas domésticas en colonia, las agresiones que sufren los animales ajenos a la colonia cuando son introducidos para reposición, que llegan incluso a morir por las agresiones de los residentes (Cortés, *com. pers*.). Este problema se evita en parte dejando como animales de reposición conejos nacidos en la propia colonia (Arenas *et al*., 2006), lo cual, a su vez, obliga a una buena gestión del plantel reproductor.

*Reproducción en jaulas*

En un intento de mejorar el control reproductivo, y aprovechando los equipamientos y tecnología para la producción del conejo doméstico, muchas granjas cinegéticas alojan los reproductores silvestres en jaulas comerciales de conejo de carne (González-Redondo, 2002; González-Redondo y Sánchez-Martínez, 2014). Dada la naturaleza salvaje, y por ello reactiva, del conejo silvestre, este sistema de alojamiento plantea condicionantes que limitan el bienestar y empeoran los resultados obtenidos en la reproducción y en la cría.

Por una parte, los conejos silvestres experimentan miedo ante la presencia del cunicultor pues si tienen un refugio a disposición, lo usan permanentemente en presencia de personas (González-Redondo, 2006). Por eso, proporcionarles algún tipo de refugio en la jaula es imprescindible para mejorar su bienestar.

Otra consecuencia del miedo experimentado por los conejos silvestres en jaula es que los animales rehúsan aparearse en presencia del cunicultor, e incluso en ocasiones la cópula no tiene lugar hasta pasado algún día desde la introducción de la coneja en la jaula del macho, posiblemente debido al estrés por el cambio de jaula (González-Redondo, 2002). Esto complica el manejo en la monta natural al ser difícil constatar las cubriciones, y es uno de los motivos por los que algunas granjas cinegéticas practican la inseminación artificial (Dávila *et al*., 2004; González-Redondo y Sánchez-Martínez, 2014). Indicador indirecto del estrés que padecen los conejos silvestres en cautividad estricta es que una parte (hasta un tercio) de los individuos de reposición, tanto machos como hembras, no llegan a reproducirse nunca en jaula (González-Redondo, 2002), lo que, a su vez, obliga a aumentar la tasa de reposición.

Al igual que a la coneja doméstica, a la silvestre alojada en jaula se le proporciona un nidal para parir. Éste puede ser un modelo usado en cunicultura de carne. Pero se ha propuesto un prototipo (González-Redondo, 2006) consistente en un receptáculo cerrado, de pequeñas dimensiones (cámara interior con planta de 17×23 $cm^2$ y 20 cm de altura), con un tubo estrecho de entrada (luz de 9×8 $cm^2$) y con tapa para el registro del interior, donde se coloca una bandeja-cuna para acoger el nido. Este diseño se adapta a las exigencias etológicas y tamaño corporal del conejo silvestre por asemejarse en forma y tamaño a una hura de parto natural. A diferencia de la cunicultura de carne, en la que el nidal se proporciona a los 28 días de la cubrición, en el caso del conejo silvestre la disponibilidad permanente del modelo descrito permite a las conejas utilizarlo también como refugio, lo que puede reducir sus niveles de estrés y contribuye a mejorar la eficiencia reproductiva en jaula.

El conjunto de eventos que caracterizan la conducta materna de la coneja silvestre en jaula, en el parto y la lactancia, es similar al de la doméstica. Pero su naturaleza más reactiva evidencia peculiaridades que indican pérdida de bienestar, tanto de la coneja como de sus crías, y reducción de la productividad. Se han descrito mortalidades perinatales del 33% y durante la lactancia del 16% de los nacidos vivos, que reducen la productividad potencial desde los 3,2 gazapos nacidos en total a 2 gazapos destetados por parto, y que están originadas por el fracaso de la conducta maternal en el periparto (González-Redondo, 2010). Así, sólo el 71% de las conejas forraban el nidal con pelo, sólo el 58% introducían paja en el mismo, en casi un 19% de las camadas al menos un gazapo era parido fuera del nidal (valor mucho más alto que en conejas domésticas; Sawin y Crary, 1953); y en un 13% de las mismas al menos un gazapo era canibalizado, incidencia también mayor en la coneja silvestre en jaula que puede asociarse al estrés que experimenta (González-Redondo y Zamora-Lozano, 2008). Este fracaso de la conducta maternal en el periparto está correlacionado con la mayor mortalidad perinatal, canibalismo y partos fuera del nidal que se observan cuando la coneja silvestre falla en elaborar el nido; es decir, cuando no introduce paja en el nidal y cuando no lo forra con su pelo, fallos que manifiestan en mayor medida las primíparas, aunque también se da en multíparas (González-Redondo, 2010). Por el contrario, las camadas de las conejas silvestres que elaboran correctamente los nidos sobreviven al destete. Por otra parte, muchas conejas silvestres intentan tapar con paja la boca del nidal como lo hacen con la entrada de la hura de parto en libertad, de ahí la importancia de un adecuado diseño del nidal y de aprovisionarlas abundantemente con paja para que puedan expresar esta conducta.

## Situación e implicaciones de la legislación sobre bienestar animal

Hasta hace muy poco, en ningún país existía legislación relativa al bienestar de los conejos en producción. A partir de la década de 1980, países como Reino Unido, Canadá o Australia fueron pioneros en la promulgación de códigos de recomendaciones o de buenas prácticas específicos para salvaguardar el bienestar en el manejo intensivo del conejo doméstico en producción comercial, sobre las premisas de un buen cuidado por parte del cunicultor, de la provisión de alojamiento adecuado y de permitir el desarrollo de las necesidades etológicas y fisiológicas esenciales de la especie (DEFRA, 1987; SCARM, 1991; Villagrá *et al*., 2012). Así, en Reino Unido se estableció la necesidad de proporcionar al menos 5600 $cm^2$ de superficie de suelo de la jaula para una coneja con su camada de hasta cinco semanas de edad, ampliada a 7400 $cm^2$ cuando los ga-

zapos permanecían hasta las ocho semanas de edad con la madre. Para el nidal establecía unas dimensiones mínimas de 30 cm de longitud y una superficie en planta de al menos 800 $cm^2$ que permitiese a las conejas un adecuado amamantamiento de la camada, y que debía construirse de manera que permitiese el fácil acceso de la coneja pero una retención adecuada de la camada en su interior para que los gazapos no perezcan de frío si salen accidentalmente del mismo. Recomendaban cubrir los nidales abiertos durante el parto para propiciar un ambiente oscuro y protegido similar al de una madriguera, así como perturbar lo mínimo las camadas con menos de una semana y no destetar antes de las cuatro semanas de edad (DEFRA, 1987). En Australia se mantuvieron las necesidades de espacio en las jaulas propuestas en el código británico y se introdujo la recomendación de proporcionar el nidal con material de cama al menos con dos días de antelación a la fecha prevista de parto, para que la coneja pueda desarrollar adecuadamente la conducta de elaboración del nido (SCARM, 1991).

En 1998 el Consejo de Europa inició los intentos de elaboración de unas recomendaciones (base de una posible legislación) relativas a la protección del bienestar de los conejos pero, debido a las diferentes posturas de los Estados miembros, no se ha alcanzado consenso, pese a haber desarrollado hasta 18 borradores de las mismas (Villagrá *et al*., 2012). Durante ese proceso de elaboración de las mencionadas recomendaciones, la Agencia Europea de Seguridad Alimentaria publicó en 2005 un documento que recoge la opinión científica de un panel independiente de expertos sobre el impacto de los sistemas actuales de alojamiento y manejo sobre la salud y bienestar de los conejos domésticos de granja (EFSA, 2005), que revisa las evidencias científicas al respecto. En lo relativo al comportamiento maternal de la coneja y su camada, destacó que la tecnología de alojamiento de hembras reproductoras en grupo no se encontraba lo suficientemente desarrollada como para poder recomendar su implementación viable a escala de granja comercial, y de hecho está siendo ampliamente estudiada en los últimos años. En lo referente a las jaulas individuales para conejas reproductoras, se establece que deben tener anchura suficiente para permitirles girarse cómodamente (al menos 38 cm) y suficiente longitud para que la coneja pueda tenderse con las patas extendidas (entre 65 y 75 cm), teniendo a su disposición al menos 3500 $cm^2$. Se señala también la necesidad de que la hembra cuente con un nidal cerrado en el que poder elaborar un nido y parir (de forma similar a lo indicado por DEFRA, 1987), indicándose que la superficie del nidal no debe computarse en la superficie minima del suelo de la jaula que debe tener la reproductora a su disposición. Se concluye también que el tamaño de los nidales actualmente utilizados parece ser adecuado para satisfacer las necesidades etológicas de la coneja y su camada (EFSA, 2005).

En este contexto, en los últimos años las demandas de una regulación de las condiciones de alojamiento y cría han ido aumentando, hasta que países como Bélgica, Reino Unido, Suiza, Holanda, Austria o Alemania han desarrollado su propia legislación al respecto. En todos ellos, un criterio que ha primado sobre el resto es el de permitir a los conejos desarrollar comportamientos naturales, tanto en el caso de los gazapos de cebo como en las reproductoras, pero también criterios de higiene, ambiente y bienestar en general (Hoy, 2008). Paradójicamente, los tres principales países europeos productores de carne de conejo, que son Italia, España y Francia, aún no han promulgado legislación específica para la salvaguarda del bienestar de la especie (Rafel *et al*., 2013).

La tendencia principal es a aumentar el espacio de las jaulas y, en los países europeos con legislaciones propias, a alojar a las conejas reproductoras en grupo. Los espacios requeridos para alojamientos individuales de

conejas oscilan entre los 3600 $cm^2$/coneja propuestos por el Comité Permanente del Consejo de Europa para la Protección de los Animales de Granja (Hoy y Verga, 2006) y los 5600 $cm^2$/coneja ya mencionados del Reino Unido (Alfonso, 2013; Tabla 2).

Existen también algunos aspectos controvertidos en lo relativo a espacios, como que los animales se puedan levantar con las orejas extendidas (posición de alerta o exploración), que se permitirían en jaulas más altas, y con plataformas elevadas (Hansen y Berthelsen, 2000).

Tabla 2. Superficies y requerimientos de las jaulas individuales en los países con legislación propia en bienestar cunícola
*Table 2. Area and requirements of individual cages in countries with own regulations on rabbit welfare*

| País | Espacio madres y camada hasta 5 semanas | Plataforma | Altura |
|---|---|---|---|
| Reino Unido | 5600 $cm^2$ | No especifica | 45 cm |
| Holanda | 4500 $cm^2$ | 900 $cm^2$ | 60 cm |
| Alemania | 4000/4800 $cm^2$ | Opcional | 40/60 cm |
| | (con o sin plataforma) para >5,5 kg | 1000 $cm^2$ | |
| Austria | Jaulas prohibidas | | |
| Bélgica | Jaulas prohibidas a partir de 2021 (plan *paso a paso*) | | |
| Suiza | Jaulas prohibidas | | |

Asimismo, otros aspectos contemplados en las legislaciones y códigos de recomendaciones, son los relacionados con el enriquecimiento ambiental. Así, se ha propuesto usar refugios (Hawkins *et al*., 2008) debido a que la naturaleza de presas de estos animales en estado silvestre hace que se mantengan fuertes respuestas de miedo (Baumans, 2005). Por otro lado, la posibilidad de realizar un nido se considera indiscutible en cualquier sistema productivo.

En cuanto a los sistemas de alojamiento en grupo que se están proponiendo en las legislaciones nacionales existentes, facilitan los contactos sociales entre las conejas reproductoras. Sin embargo, cabe destacar dos aspectos: el primero, que en condiciones naturales las conejas se aíslan para parir, lo cual debe tenerse en cuenta a la hora de diseñar los alojamientos, y por otro lado, los problemas de agresividad entre las reproductoras que existen a día de hoy y deben ser solucionados (Rommers y Kemp, 2012). Además, estos sistemas también pueden ser cuestionados por aspectos relacionados con la higiene (EFSA, 2005), sobre todo en sistemas en suelo, aunque cada vez más se tiende a sistemas enrejillados.

Además, es importante no olvidar las implicaciones económicas que pudieran tener estos cambios legislativos. En el caso del aumento de la superficie por coneja, se reduce el número de reproductoras en el mismo espacio, y además podría implicar unos mayores costes (Bignon *et al*., 2012), mientras que en los alojamientos en grupo los problemas de agresividad podrían provocar una disminución del rendimiento productivo de las granjas (Szendrö *et al*., 2013).

## Conclusiones

La coneja doméstica conserva buena parte del repertorio etológico silvestre relativo a la reproducción y cuidado materno, de fina regulación endocrina, tal vez por lo tardío de la domesticación y la intensificación de la cunicultura basada en el alojamiento individual de los reproductores en jaula. Dicha intensificación comporta algunas limitaciones a la expresión de la conducta silvestre y situaciones de pérdida de bienestar, que se han intentado resolver mediante el alojamiento de las conejas en colonia, sin éxito efectivo como alternativa comercialmente viable al alojamiento individual en jaula. Pese a ello, hay una tendencia a que los marcos normativos sobre alojamiento proporcionen a las conejas más espacio y enriquecimiento ambiental y en algunos casos propongan suprimir las jaulas convencionales. Otros sistemas alternativos presentan peculiaridades relativas a la expresión de la conducta materna y el bienestar. Así, la producción cinegética acarrea mayor fracaso de la conducta materna por el estrés causado por la cautividad, perdiéndose bienestar y productividad. Otros sistemas, como la cría alternativa al aire libre en celdas enterradas, han resuelto problemas como la incidencia negativa del estrés térmico sobre la reproducción.

## Bibliografía

Alfonso C (2013). ¿Qué está pasando en otros países de Europa sobre el Bienestar Animal? Jornada Bienestar ASESCU "¿Hacia dónde debe ir el bienestar de los conejos de granja en España?". Zaragoza, 21 marzo: 18 pp.

Anderson CO, Denenberg VH, Zarrow MX (1972). Effects of handling and social isolation upon the rabbit's behaviour. Behaviour 43: 165-175.

Arenas AJ, Astorga RJ, García I, Varo A, Huerta B, Carbonero A, Cadenas R, Perea A (2006). Captive breeding of wild rabbits: Techniques and population dynamics. Journal of Wildlife Management 70: 1801-1804.

Baumans V (2005). Environmental enrichment for laboratory rodents and rabbits: requirements of rodents, rabbits, and research. ILAR Journal 46: 162-170.

Bignon L, Bouchier M, Coutelet G, Galliot P, Souchet C, Fortun-Lamothe L (2012). Individual housing of young does in different sized cages: impact on welfare, economic costs and productive data. 10th World Rabbit Congress. Sharm El Sheikh, 3-6 Septiembre. 1045-1049.

Bilkó Á, Altbäcker V (2000). Regular handling early in the nursing period eliminates fear responses toward human beings in wild and domestic rabbits. Developmental Psychobiology 36: 78-87.

Bonanno A, Mazza F, Di Grigoli A, Alabiso M (2004). Effects of a split 48-hour doe-litter separation on productivity of free-nursing does and their litters. Livestock Production Science 89: 287-295.

Broekhuizen S, Bouman E, Went W (1986). Variation in timing of nursing in the Brown Hare (*Lepus europaeus*) and the European Rabbit (*Oryctolagus cuniculus*). Mammal Review 16: 139-144.

Caba M, González-Mariscal G (2009). The rabbit pup, a natural model of nursing anticipatory activity. European Journal of Neuroscience 30: 1697-1706.

Canali E, Ferrante V, Todeschini R, Verga M, Carenzi C (1991). Rabbit nest construction and its relationship with litter development. Applied Animal Behaviour Science 31: 259-266.

Colin M, Fiorenza G, Balogh K, Virág G (2008). Cooling panel type and location influence nest temperature, growth and sanitary status of rabbits during the cold season in Hungary. 9th World Rabbit Congress. Verona, 10-13 junio. 929-933.

Dávila M, Badía S, Rebollar PG (2004). Primeros resultados de inseminación artificial en conejas de monte en cautividad. XXIX Symposium de Cunicultura de ASESCU. Lugo, 31 marzo-1 abril. 113-118.

De Blas C, Gutiérrez I, Carabaño R (1999). Destete precoz en gazapos. Situación actual y perspectivas. XV Curso de Especialización FEDNA. Madrid. 67-81.

DEFRA (1987). Codes of recommendations for the welfare of livestock: Rabbits. http://adlib.everysite.co.uk/adlib/defra/content.aspx?id=000HK277ZX.0C0RE72PLFWJLA [Acceso: 8 de enero de 2015].

Deutsch JA (1957). Nest building behaviour of domestic rabbits under semi-natural conditions. The British Journal of Animal Behaviour 5: 53-54.

Díez C, Sánchez-García C, Pérez JA, Bartolomé DJ, González V, Wheatley CJ, Alonso ME, Gaudioso VR (2013). Behavioural activity of wild rabbits (*Oryctolagus cuniculus*) under semi-natural rearing systems: establishing a seasonal pattern. World Rabbit Science 21: 263-370.

EFSA (2005). Scientific report: The Impact of the current housing and husbandry systems on the health and welfare of farmed domestic rabbits. Anexo a EFSA Journal 267: 1-137.

Fernández-Carmona J, Solar A, Pascual JJ, Blas E, Cervera C (2005). The behaviour of farm rabbit does around parturition and during lactation. World Rabbit Science 13: 253-277.

Finzi A, Ciorba P, Macchioni P (2001). Evaluación comparada del bienestar del conejo en sistemas alternativos de cría. XXVI Symposium de Cunicultura de ASESCU-I Symposium Ibérico de Cunicultura APEZ-ASPOC. Aveiro, 23-24 mayo. 164-167.

Finzi A, Gualterio L (1990). Nidi in comune nell'etologia cunicola. Rivista di Coniglicoltura 27(3): 29-31.

Finzi A, Mariani G (2011). L'allevamento ecologico del coniglio. Italia. Edagricole. 130 pp.

Finzi A, Negretti P (2007). Un sistema alternativo di allevamento per il benessere e la sanità del coniglio. Giornate di Coniglicoltura ASIC 2007. Forlì, 26-27 septiembre. 41-54.

Fuchs AR, Cubile L, Dawood MY, Jørgensen FS (1984). Release of oxytocin and prolactin by suckling rabbits throughout lactation. Endocrinology 114: 462-469.

Fuchs AR, Wagner G (1963). Quantitative aspects of the release of oxytocin by suckling in unanaesthetized rabbits. Acta Endocrinologica 44: 581-592.

García-Dalmán C, González-Mariscal G (2012). Major role of suckling stimulation for inhibition of estrous behaviors in lactating rabbits: acute and chronic effects. Hormones and Behavior 61: 108-113.

Gibb JA (1993). Sociality, time and space in a sparse population of rabbits (*Oryctolagus cuniculus*). Journal of Zoology 229: 581-607.

Gómez-Conde MS, Chamorro S, Nicodemus N, De Blas C, García J, Carabaño R (2004). Efecto del tipo de fibra en la alimentación de gazapos destetados precozmente. XXIX Symposium de Cunicultura de ASESCU. Lugo, 31 marzo-1 abril. 157-163.

González-Mariscal G (2007). Mother rabbits and their offspring: timing is everything. Developmental Psychobiology 49: 71-76.

González-Mariscal G, Chirino R, Flores-Alonso JC, Rosenblatt JS, Beyer C (2004). Intracerebroventricular injections of prolactin counteract the antagonistic effect of bromocriptine on rabbit maternal behaviour. Journal of Neuroendocrinology 16: 949-955.

González-Mariscal G, Chirino R, Rosenblatt JS, Beyer C (2005). Forebrain implants of estradiol stimulate maternal nest-building in ovariectomized rabbits. Hormones and Behavior 47: 272-279.

González-Mariscal G, Díaz-Sánchez V, Melo AI, Beyer C, Rosenblatt JS (1994). Maternal behavior in New Zealand white rabbits: quantification of somatic events, motor patterns and steroid plasma levels. Physiology & Behavior 55: 1081-1089.

González-Mariscal G, Gallegos JA (2007). New Zealand white rabbits show non-selective nursing in various types of nests. World Rabbit Science 15: 167-172.

González-Mariscal G, Lemus AC, Vega-Gonzalez A, Aguilar-Roblero R (2013b). Litter size determines circadian periodicity of nursing in rabbits. Chronobiology International 30: 711-718.

González-Mariscal G, Melo AI, Jiménez P, Beyer C, Rosenblatt JS (1996). Estradiol, progesterone, and prolactin regulate maternal nest-building in rabbits. Journal of Neuroendocrinology 8: 901-907.

González-Mariscal G, Melo AI, Parlow AF, Beyer C, Rosenblatt JS (2000). Pharmacological evidence that prolactin acts from late gestation to promote maternal behaviour in rabbits. Journal of Neuroendocrinology 12: 983-992.

González-Mariscal G, Toribio A, Gallegos JA, Serrano-Meneses MA (2013a). The characteristics of suckling stimulation determine the daily duration of mother-young contact and milk output in rabbits. Developmental Psychobiology 55: 809-817.

González-Redondo P (2002). Producción del conejo silvestre en cautividad. II Jornadas Internacionais de Cunicultura. Vila Real, 11-12 octubre. 111-128.

González-Redondo P (2006). Proposal of a nest box for the reproduction of wild rabbits (*Oryctolagus cuniculus*) in cages. World Rabbit Science 14: 115-121.

González-Redondo P (2010). Maternal behaviour in the peripartum influences preweaning kit mortality in cage-bred wild rabbits. World Rabbit Science 18: 91-102.

González-Redondo P, Sánchez-Martínez R (2014). Characterisation of wild rabbit commercial game farms in Spain. World Rabbit Science 22: 51-58.

González-Redondo P, Zamora-Lozano M (2008). Neonatal cannibalism in cage-bred wild rabbits (*Oryctolagus cuniculus*). Archivos de Medicina Veterinaria 40: 281-287.

Guerrero-Casado J, Ruiz-Aizpurua L, Carpio AJ, Tortosa FS (2013). Factors affecting wild rabbit production in extensive breeding enclosures: how can we optimise efforts? World Rabbit Science 21: 193-199.

Hansen LT, Berthelsen H (2000). The effect of environmental enrichment on the behaviour of caged rabbits (*Oryctolagus cuniculus*). Appled Animal Behaviour Science 68: 163-178.

Hawkins P, Hubrecht R, Buckwell A, Cubitt S, Howard B, Jackson A, Poirier GM (2008). Refining rabbit care. UK. RSPCA-UFAW.

Hoy S, Seitz K, Selzer D, Schüddemage M (2000). Nursing behaviour of domesticated and wild rabbit does under different keeping conditions. 7th World Rabbit Congress. Valencia, 4-7 julio. 537-543.

Hoy S, Verga M (2006). Welfare indicators. En: Maertens L, Coudert P. Recent advances in rabbit sciences. Melle, Bélgica. ILVO. 71-74.

Hoy S (2008). Guidelines for minimum standards on rabbit housing in Germany. 9th World Rabbit Congress. Verona, 10-13 Junio. 1183-1187.

Hudson R, Distel H (1982). The pattern of behaviour of rabbit pups in the nest. Behaviour 79: 255-271.

Hudson R, Schaal B, Bilko Á, Altbäcker V (1996). Just three minutes a day: the behaviour of young rabbits viewed in the context of limited maternal care. 6th World Rabbit Congress. Toulouse, 9-12 julio. 2: 395-403.

International Rabbit Reproduction Group (2005). Recommendations and guidelines for applied reproduction trials with rabbit does. World Rabbit Science 13: 147-164.

Jilge B (1993). The ontogeny of circadian rhythms in the rabbit. Journal of Biological Rhythms 8: 247-260.

Jilge B (1995). Ontogeny of the rabbit's circadian rhythms without an external zeitgeber. Physiology & Behavior 58: 131-140.

Kolb HH (1991). Use of burrows and movements of wild rabbits (*Oryctolagus cuniculus*) in an area of hill grazing and forestry. Journal of Applied Ecology 28: 892-905.

Lebas F, Coudert P, De Rochambeau H, Thébault RG (1996). El conejo. Cría y patología. Roma, Italia. FAO. 227 pp.

Lincoln W (1974). Suckling: a time constant in the nursing behavior of the rabbit. Physiology & Behavior 13: 711-714.

Lloyd HG, McCowan D (1968). Some observations on the breeding burrows of the wild rabbits *Oryctolagus cuniculus* on the island of Skokholm. Journal of Zoology 156: 540-549.

Lockley RM (1961). Social structure and stress in the rabbit warren. Journal of Animal Ecology 30: 385-423.

Lockley RM (1964). The private life of the Rabbit. Andre Deutsch Ltd. Londres. 152 pp.

López M, María G, Paniagua P (2002). The effect of cage size on the behavior of the reproductive doe. En: COST Action 848 - 2nd Meeting of Workgroup 2, Stuttgart, Hohenheim, 15-16 marzo. 10 pp.

Matics Z, Gerencsér Z, Mikó A, Radnai I, Odermatt M, Nagy I, Szendrö Z (2012). Effect of different lighting schedules (16L:8D or 12L:6D) on nursing behaviour of rabbit does. 10th World Rabbit Congress. Sharm El-Sheikh, 3-6 septiembre. 1063-1067.

McNeilly AS, Friesen HG (1978). Prolactin during pregnancy and lactation in the rabbit. Endocrinology 102: 1548-1554.

Mirabito L (2007). Logement et bien-être du lapin: plus de questions que de réponses? INRA Productions Animales 20: 59-64.

Morgado E, Juárez C, Melo AI, Domínguez B, Lehman MN, Escobar C, Meza E, Caba M (2011). Artificial feeding sychronizes behavioral, hormonal, metabolic and neural parameters in mother-deprived neonatal rabbit pups. European Journal of Neuroscience 34: 1807-1816.

Moseby KE, De Jong S, Munro N, Piek A (2005). Home range, activity and habitat use of European rabbits (*Oryctolagus cuniculus*) in arid Australia: implications for control. Wildlife Research 32: 305-311.

Myers K (1958). Further observations on the use of field enclosures for the study of the wild rabbit, *Oryctolagus cuniculus* (L). CSIRO Wildlife Research 3: 40-49.

Negretti P, Bianconi G, Finzi A (2008). Mutual visual relationships of rabbits raised in individual cages. 9th World Rabbit Congress. Verona, 10-13 Junio. 1213-1216.

Negretti P, Bianconi G, Finzi A (2010). Short communication: Mutual olfactory relationships in rabbits raised in individual cages. World Rabbit Science 18: 33-36.

Rafel O, Valls R, Ramon J (2013). Bienestar animal en conejos. Situación legislativa. Cunicultura 224: 13-17.

Rommers JM, Boiti C, De Jong I, Brecchia G (2006). Performance and behaviour of rabbit does in a group-housing system with natural mating or artificial insemination. Reproduction Nutrition Development 46: 677-687.

Rommers JM, Kemp B (2012). Effect of group-housing of young does during rearing on reproduction performance and aggression: a pilot study. 10th World Rabbit Congress. Sharm El Sheikh, 3-6 Septiembre. 1101-1105.

Rosell JM, de la Fuente LF (2013). Assessing ulcerative pododermatitis of breeding rabbits. Animals 3: 318-326.

Ross S, Denenberg VH, Sawin PB, Meyer P. (1956). Changes in nest-building behaviour in multiparous rabbits. British Journal of Animal Behaviour 4: 69-74.

Ruis M (2006). Group housing of breeding does. En: Maertens L, Coudert P. Recent advances in rabbit sciences. Melle, Bélgica. ILVO. 99-105.

Sawin PB, Crary DD (1953). Genetic and physiological background of reproduction in the rabbit: II. Some racial differences in the pattern of maternal behavior. Behaviour 6: 128-146.

SCARM (1991). Model code of practice for the welfare of animal. Intensive husbandry of rabbits. Collingwood, Australia. CSIRO Publishing.

Schaal B, Coureaud G, Langlois D, Giniès C, Sémon E, Perrier G (2003). Chemical and behavioural characterization of the rabbit mammary pheromone. Nature 424: 68-72.

Stauffacher M (1992). Group housing and enrichment cages for breeding, fattening and laboratory rabbits. Animal Welfare 1: 105-125.

Szendrö Z, Kustos K, El-Din SS (1988). Hair pull of rabbits does and its relationship with their rearing ability. 4th World Rabbit Congress. Budapest, 10-14 octubre. vol. III: 173-181.

Szendrö Z (2012). New perspectives of housing reproducting and growing rabbits. 10th World Rabbit Congress. Sharm El-Sheikh, 3-6 septiembre. 979-996.

Szendrö Zs, Mikó A, Odermatt M, Gerencsér Zs, Radnai I, Dezséry B, Garai É, Nagy I, Szendrö K, Matics Z (2013). Comparison of performance and welfare of single-caged and group-housed rabbit does. Animal 7: 463-468.

Szendrö Zs, Radnai I, Theau-Clément M, Jovánczai Zs, Biró-Németh E, Milisits G, Poigner J (1999). Some factors influencing the effectiveness of post partum artificial insemination. 11th Hungarian Conference on Rabbit Production. Kaposvár, 26 mayo. 113-118.

Vega MD, Barrio M, Quintela LA, Becerra JJ, Cainzos J, Prieto A, Rodríguez-Zamora A, Herradón PG (2012). Evolución del manejo reproductivo en cunicultura. ITEA-Información Técnica Económica Agraria 108: 172-190.

Verga M, Leone P, Soliano S, Carenzi C, Crimella C (1984). Indagine su alcuni materiali alternativi per la preparazione del nido nella specie cunicola. 3rd World Rabbit Congress. Roma, 4-8 abril. vol. II:156-165.

Verga M, Luzi F, Carenzi C (2007). Effects of husbandry and management systems on physiology and behaviour of farmed and laboratory rabbits. Hormones & Behavior 52: 122-129.

Villagrá A, Olivas I, Estellés F, Blas E, Rodríguez T, Rosell J, Pascual JJ (2012). How far rabbit cage's space recommendations reach: the gap between science and regulations. 10th World Rabbit Congress. Sharm El-Sheikh, 3-6 septiembre. 1057-1061.

Xiccato G, Trocino A, Sartori A, Queaque PI (2004). Destete precoz del conejo: efecto de la edad y del peso al destete y del nivel de grasa del alimento. XXIX Symposium de Cunicultura de ASESCU. Lugo, 31 marzo-1 abril. 151-156.

Zarrow MX, Denenberg VH, Anderson CO (1965). Rabbit: frequency of suckling in the pup. Science 150: 1835-1836.

Zucca D, Redaelli V, Marelli SP, Bonazza V, Heinzl E, Verga M, Luzi F (2012). Effect of handling in pre-weaning rabbits. World Rabbit Science 20: 97-101.

(Aceptado para publicación el 3 de marzo de 2015)

# La enseñanza de la Mejora Genética Animal. ¿Qué, cuándo y dónde?

J. Piedrafita*

Grup de Recerca en Remugants, Departament de Ciència Animal i dels Aliments, Universitat Autònoma de Barcelona, 08193 Bellaterra, Barcelona

**Resumen**

Hasta hace unos veinte años, la Genética cuantitativa "clásica" constituyó el núcleo básico de la Mejora genética, si bien el espectacular desarrollo de la Genética molecular y la Genómica ha hecho que los mejoradores se hallen incorporando esta información a la teoría y a los programas de mejora. ¿Qué es lo que debemos enseñar a nuestros alumnos y con qué temporalidad debe llevarse a cabo? Una primera fase de la enseñanza se realiza en las escuelas de Ingeniería Agronómica y en las facultades de Veterinaria. El tiempo dedicado, así como los programas y la orientación de los mismos, es muy variable entre las distintas instituciones universitarias. El objetivo no es formar especialistas en mejora, sino aportar a los estudiantes unas ideas básicas que les permitan desenvolverse en su ámbito profesional. La formación de especialistas necesita de estudios de postgrado. En Europa se ofertan másteres de calidad que aportan la formación y experiencia adecuadas para trabajar profesionalmente en el campo de la mejora y, en su caso, iniciar una tesis doctoral, si bien algunas instituciones americanas extienden la formación teórica al periodo doctoral. Analizando la estructura de estos másteres y doctorados se observa que a la vez que se incorporan conocimientos genómicos, se potencia la enseñanza de estadística y de programación orientada al manejo de bases de datos fenotípicos, de chips de ADN y de secuenciación.

**Palabras clave:** Mejora genética, animales domésticos, enseñanza, universidad.

**Abstract**
**Teaching of Animal Breeding. What, when, where?**

Until about twenty years ago, "classical" quantitative genetics was the core of Animal breeding, although the dramatic development of Molecular genetics and Genomics has made breeders to be incorporating this information to the theory of animal breeding and breeding programs. What do we need to teach our students and how temporality should be conducted? A first phase of the teaching is done in Agricultural Engineering and Veterinary schools. The time spent as well as the programs and orientation is highly variable between different universities. The goal is not to train specialists in animal breeding, but provide students with some basic ideas that allow them to function in their professional field. Training specialists in animal breeding needs of graduate studies. In Europe, several masters provide quality training and appropriate skills to work professionally in the field of breeding and initiate a doctoral thesis, although some American institutions extend the teaching to the doctoral period. The analysis of the structure of these masters and doctorates shows that in addition to quantitative genetics they incorporate knowledge in Genomics, Statistics and Programming oriented to the management of phenotypic, DNA chips and sequence databases.

**Key words:** Animal breeding, teaching, university.

* Autor para correspondencia: jesus.piedrafita@uab.cat
http://dx.doi.org/10.12706/itea.2015.022

**Introducción**

Como señalan Johansson y Rendel (1971), la cría de los animales domésticos desde tiempo inmemorial ha implicado algún tipo de selección. Sin embargo, hasta bien entrado el siglo XX, la selección se fundamentaba en la experiencia que transmitían los criadores de una generación a la siguiente. De acuerdo con Lush (1945), los romanos del tiempo de Catón y Varrón explicaron las clases y tipos de animales que deberían seleccionarse como reproductores, aunque parece que no prestaron atención al registro genealógico del ganado, como habían hecho previamente los habitantes de Caldea, que nos legaron detalladas genealogías de caballos. No obstante, Varrón comenta la importancia de juzgar el valor de mejora de un macho por la calidad de sus descendientes, lo cual demuestra el reconocimiento de la prueba de descendencia e implícitamente del uso de genealogías.

Durante la Edad Media, el conocimiento de los mecanismos y leyes de la herencia avanzó muy poco. Ya en la Edad Moderna se publicaron en España dos compilaciones relevantes. La primera de ellas, se debe a Gabriel Alonso de Herrera (1513). En esta obra se explica con detalle las prácticas de la agricultura y, en particular, en su libro quinto se nos dice cómo deberían ser los animales de cría de distintas especies domésticas. La segunda de ellas, se debe a Miquel Agustí y fue publicada en 1617. A finales del siglo XIX se publicó también la obra de Prieto y Prieto (1883, 1907) donde hablaba de la cría del ganado vacuno y su mejora.

No obstante, Robert Bakewell (1725-1795) es señalado como el pionero de la mejora genética animal (Johansson y Rendel, 1971), a pesar de desconocer completamente la teoría de mejora genética formal, que se publicaría doscientos años más tarde. A partir de animales de procedencia diversa inició un programa de mejora, seleccionando aquellos individuos que él creía más idóneos para el objetivo que perseguía. Asimismo practicó la consanguinidad durante varias generaciones a fin de conseguir la fijación del tipo, rechazando todos aquellos ejemplares que presentaban caracteres no deseados.

Los primeros libros genealógicos solamente contenían información acerca del pedigrí de los animales. No obstante, durante la última mitad del siglo XIX se desarrollaron métodos para medir y registrar la conformación y producción del ganado, iniciándose a su vez los primeros registros de producción y calidad de la leche de las vacas de numerosos rebaños. El registro de la producción fue el primer acontecimiento reseñable de los acaecidos en la cría y explotación animal desde la época de Bakewell.

España comenzó a adoptar con considerable retraso las prácticas de registro. La Diputación de Guipúzcoa estableció el libro genealógico de la raza Pirenaica en 1905 (Mendizábal *et al*., 2005). El control lechero comenzó en forma de iniciativas aisladas a mediados-finales de los años 20 del pasado siglo XX en Navarra (Nagore, 1951) y en Galicia (Fernández-Quintanilla (1946), citado por Alenda (2011)). No obstante, el establecimiento oficial de los libros genealógicos y el control de rendimiento por parte del Ministerio de Agricultura se produjo en 1933, y debieron pasar más de cuarenta años hasta que en 1967 se constituyeron los primeros libros genealógicos de la organización oficial de mejora (Orozco, 1987).

Los párrafos que preceden han dado una breve pincelada histórica sobre las actividades de mejora realizadas hasta la fecha. No es objetivo de este trabajo profundizar en la historia de la Mejora Genética y el lector interesado puede recurrir a los trabajos de Alenda (2011) y Blasco (2012).

Llegados a este punto podemos preguntarnos ¿qué es la Mejora? En la actualidad, la Mejora Genética Animal (*Animal Breeding* en inglés) puede definirse como "la aplicación práctica del análisis genético para el

desarrollo de líneas de animales domésticos adecuadas a distintos fines humanos"[1]. Esta definición incluye la producción de alimentos y productos, así como servicios que atienden a las necesidades de la sociedad e intangibles relacionados con el área afectiva de las personas (actividades de búsqueda, de guía, deportivas y de ocio).

En lo que toca a la producción de alimentos, la mejora genética de los animales del siglo XXI debe contribuir a la seguridad alimentaria global a medio y largo plazo; es decir, la obtención sostenible de alimentos en cantidad suficiente, diversificados, de calidad y a precios que los consumidores puedan pagar (FABRE-TP 2011). Los principales valores de sostenibilidad son la protección ambiental (reducción de las huellas de carbono, nitrógeno y otros elementos contaminantes), el bienestar animal, que incluye la salud y la integridad de los mismos, el mantenimiento de la biodiversidad, la seguridad de los alimentos y la contribución de estos al bienestar del consumidor (Gamborg y Sandoe, 2005). Es obvio que dichos valores sólo podrán alcanzarse si se establecen sinergias entre los distintos factores de producción, pero también es cierto que la mejora genética deberá encuadrarse en este marco general de sostenibilidad.

Una vez definida la mejora genética y establecido el marco general en el que deben desarrollarse sus actividades, cabe plantearse las cuestiones que refleja el título de esta breve ponencia: ¿qué debe enseñarse a los futuros profesionales de la Producción Animal y más en concreto de la Mejora Genética?, ¿cuáles son las instituciones académicas que imparten los conocimientos? y ¿a qué nivel deben enseñarse los distintos conocimientos? En los párrafos que siguen intentaremos dar respuesta a estas preguntas.

## Competencias

Utilizando la terminología actual, la formación de profesionales de la Mejora Genética Animal debe orientarse a la adquisición de competencias específicas en los siguientes grandes ámbitos, todos ellos relacionados con el diseño, organización y ejecución de Planes de Mejora:

1. Objetivos de selección, qué son y cómo se establecen.
2. Mecanismos que determinan la herencia de los caracteres de interés económico, su naturaleza y formas de cuantificarlos, con especial énfasis en los caracteres cuantitativos, así como la dinámica de los genes en las poblaciones.
3. Ordenación de los candidatos a la selección en función de su mérito genético.
4. Estrategias de apareamiento que permitan una respuesta a la selección óptima y el aprovechamiento de las diferencias genéticas entre poblaciones, así como el mantenimiento de la variabilidad genética y la biodiversidad.
5. Implementación de todos estos conocimientos en un plan efectivo de mejora.

## Disciplinas científicas implicadas

Para desarrollar el primer ámbito, el alumno debe conocer los sistemas de producción animal, incluyendo las preferencias de los mercados, tener un conocimiento biológico de los caracteres implicados en la producción y tener conocimientos de economía. Asimismo es de capital importancia conocer las metodologías de registro de distintos caracteres

1. http://groups.molbiosci.northwestern.edu/holmgren/Glossary/Definitions/Def-A/animal_breeding.html

biológicos y productivos que puedan estar relacionados con los objetivos de selección.

El segundo de los ámbitos, así como los siguientes, requiere un conocimiento profundo de cómo se transmiten los genes (Genética Mendeliana), cuál es la estructura molecular de los mismos y los mecanismos implicados en la transmisión (Genética Molecular), cuál es su disposición y función en el genoma (Genómica) y cuál es el comportamiento de los genes en las poblaciones sometidas a distintas fuerzas evolutivas, naturales o inducidas por el hombre (Genética de Poblaciones). En relación con los caracteres de distribución continua, cuantitativos o complejos –según la denominación actual–, el trabajo de Fisher (1918) estableció un modelo de herencia poligénica (Modelo Infinitesimal) que no sería conocido ampliamente por la comunidad científica hasta la segunda mitad del siglo XX, tras la aparición del libro *Introduction to Quantitative Genetics* debido a Falconer (1960). Este libro revisaba el trabajo publicado por otros muchos autores y, tras unos capítulos dedicados a la Genética de Poblaciones, centraba su atención en la medida del parecido entre parientes, bajo el supuesto del modelo infinitesimal y las relaciones de parentesco genealógico, así como la magnitud en la que se heredan y relacionan los caracteres. Asimismo analizaba cómo puede determinarse la ordenación de los candidatos según su mérito genético a partir del valor mejorante predicho (valor relacionado con la acción aditiva de los genes) utilizando el fenotipo propio y/o de sus parientes, así como las consecuencias que ello tenía para la respuesta a la selección.

Años más tarde, Henderson generalizó la teoría de los índices de selección y sentó las bases para la construcción y desarrollo de la metodología BLUP (*Best Linear Unbiased Prediction*) que en los años siguientes se convirtió en la metodología estándar de evaluación genética del ganado (Henderson, 1973). Dicha metodología se desarrolló para caracteres de respuesta categórica y asimismo en su versión bayesiana (Gianola y Fernando, 1986).

Los intentos de cuantificar el efecto de algunos de los genes que determinan los caracteres cuantitativos (*Quantitative Trait Loci* o QTL) con el fin de utilizarlos en la Selección Asistida por Marcadores han dado lugar a una larga lista de genes implicados, si bien su impacto sobre la mejora ha sido modesto (Blasco y Toro, 2014). En el inicio de este siglo se sentaron las bases teóricas de la Selección Genómica (Meuwissen *et al*., 2001), la cual se ha podido desarrollar gracias al espectacular desarrollo de las técnicas de secuenciación acaecidas en la última década. Contando con el conocimiento de un gran número de SNP (*Single Nucleotid Polymorphism*) repartidos por todo el genoma, en distinto grado de desequilibrio de ligamiento, se han extendido los métodos de evaluación genética para incorporar esta información, particularmente a través del uso conjunto del parentesco genealógico y el genómico (Legarra *et al*., 2009).

El cuarto ámbito se ocupa de analizar la respuesta a la selección bajo distintas estrategias de apareamiento: poblaciones cerradas, explotando el componente aditivo del genotipo, o bien cuando se cruzan poblaciones diferenciadas, lo cual explotaría el componente no aditivo (en este caso la heterosis). En conjunto se trataría de encontrar una estrategia óptima que permitiera un mayor y más positivo cambio genético de las poblaciones ganaderas, a la vez que se controla la variabilidad genética. Este ámbito se ha visto asimismo influido por la aplicación de la Selección Genómica, que por ejemplo en el ganado vacuno de leche ya es una práctica consolidada (Mäntysaari, 2014).

Por lo que se acaba de comentar, el desarrollo de la Mejora Genética como disciplina podría ser una historia de éxito. No obstante hemos de ser conscientes de que incluso las metodologías de selección de más reciente desarrollo son de hecho una simplificación

que sólo explota el componente aditivo del genotipo, cuando hoy se conoce la enorme complejidad del mismo. Debemos pensar que en un futuro, aparte de conocimientos genómicos, la teoría de mejora genética utilice conceptos de otras "ómicas", así como de la Biología de sistemas.

El quinto ámbito está relacionado con la orientación empresarial de la mejora como actividad económica. Un plan de mejora no se lleva a cabo por la única razón de cambiar las aptitudes de los animales, sino porque este cambio sea rentable en términos económicos y de servicio a la sociedad. La implementación de los planes requiere, aparte de conocimientos genéticos y de los sistemas de producción, capacidad de liderazgo y conocimientos sobre cómo desarrollar y hacer progresar a una empresa.

Las metodologías que hemos enumerado deben orientar la formación del experto en Mejora Genética. Examinaremos ahora cuáles han sido y son las posibilidades que se le ofrecen a un alumno interesado en obtener conocimientos de Mejora Genética tanto en España como en el extranjero.

## La enseñanza de la Mejora Genética en los grados de las universidades españolas

### Escuelas de Ingeniería Agronómica

La enseñanza reglada de la agricultura comenzó en la Escuela Central de Agricultura (Aranjuez) fundada en 1855, la cual se convertiría, tras diversos cambios de denominación y adscripción, en la actual Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, vinculada a la Universidad Politécnica de Madrid (UPM) (Anónimo, 1980). La enseñanza de la Mejora Genética en dicha escuela, así como en la de Valencia, que había echado a andar el curso 1960-1961, se remonta al plan del 1957 (Orden de 9 de mayo de 1962 (BOE, 1962)). Dicho plan constaba de un curso selectivo, otro de iniciación y cinco cursos específicos. En el cuarto curso de estos se incluía Mejora Genética como asignatura, con 5-6 horas semanales, dentro de la Sección de Fitotecnia y Zootecnia. El plan contemplaba asimismo la enseñanza de Genética, Estadística y de Zootecnia general, asignaturas que han formado parte desde entonces de los distintos planes de estudio de las escuelas de Ingeniería Agronómica. La enseñanza de la Genética ha estado generalmente vinculada a grupos docentes de genética vegetal. Este plan duraría poco, pues en breve apareció un nuevo plan de estudios (Órdenes de 20 de agosto de 1964 (BOE, 1964) y 29 de mayo de 1965 (BOE, 1965)) que reducía a cinco cursos académicos, dos comunes y tres de especialidad, la duración total de los estudios. En la especialidad de Zootecnia se contemplaba la asignatura Mejora Genética Animal, con una asignación de 6 horas semanales durante todo el quinto curso.

El siguiente plan de estudios tuvo como característica común la extensión a seis cursos académicos de los estudios de Ingeniero Agrónomo (siguiendo la Orden ministerial de 30 de julio de 1975 (BOE, 1975)) y ya fue propio de cada universidad. Madrid tuvo un nuevo plan en 1976 y Valencia en 1980. En ambos se mantuvo la Mejora Genética Animal con 5 y 6 horas semanales anuales en quinto curso. Se añadió pronto la escuela de Córdoba que incorporó la oferta de la especialidad de Zootecnia en la cual se explicaban 5 horas semanales de Mejora Genética Animal durante todo el curso.

A mediados de los 90 se volvió al currículum de cinco años, las especialidades pasaron a denominarse orientaciones o intensificaciones y en vez de Zootecnia se habló de Producción Animal; asimismo las asignaturas se dimensionaron en créditos (10 horas impartidas por crédito) en vez de en términos de horas semanales anuales. En las escuelas de

Madrid y Valencia la mejora genética se vio potenciada al establecer asignaturas como Genética de Poblaciones y Cuantitativa, Valoración de Reproductores y Mejora Genética de distintas especies, lo que en total suponía entre 15 y 18 créditos. En otras escuelas como las de Albacete, Córdoba, León, Lleida o Pública de Navarra, la Mejora supuso entre 4,5 y 10 créditos, siempre en un contexto de optatividad dentro de la especialidad de Producción Animal.

Esta situación se mantuvo hasta que comenzó la definición de los grados atendiendo a los requisitos de los planes Bolonia. Los actuales grados de cuatro años capacitan para el desarrollo profesional como Ingeniero Técnico Agrícola y en la actualidad son más de veinte el número de centros que ofertan estos estudios bajo una pléyade de denominaciones y orientaciones. Una característica común a la mayoría de planes es la drástica reducción de créditos ECTS (*European Credit Transfer System*) dedicados a la Mejora Genética –y también a la Genética–, la cual frecuentemente forma parte de asignaturas más amplias de Producción Animal, en algunos casos con un número de créditos que generalmente permiten al profesor superar poco más que el nivel de divulgación (Tabla 1). Cuando los contenidos de Mejora se integran en o con otros de Producción Animal es frecuente dar preeminencia a los aspectos aplicativos, una vez se ha explicado brevemente las ideas básicas.

Obviamente hay excepciones que merecen ser resaltadas. La escuela de Madrid ofrece Genética y Principios de Mejora (en el contexto vegetal), así como Mejora Genética Animal. También es obligatoria en los grados que ofrecen las universidades de Extremadura y Politécnica de Cataluña. La Universidad Pública de Navarra ofrece una optativa sobre Mejora del Animal y sus Productos y la Politécnica de Valencia tiene una oferta optativa que incluye Mejora Genética Animal así como Biotecnología para la Producción Animal y Marcadores Moleculares para la Conservación. Asignaturas que en su nombre incluyen la palabra Biotecnología (animal y/o vegetal) también podemos encontrarlas en las universidades de Almería, Castilla La Mancha, Católica de Ávila, Córdoba, Lleida, Sevilla y Valladolid.

### Facultades de Veterinaria

En las facultades de Veterinaria la asignatura Genética apareció explícitamente por primera vez en el plan de estudios de 1931, el plan Gordón Ordás, y a partir de entonces se consolidó en todos los planes posteriores. Dicho plan contemplaba una asignatura denominada Genética Superior que formaba parte del año adicional que al Veterinario le concedía el título de Ingeniero Pecuario. Tendrían que pasar más de 40 años hasta que apareció la Resolución publicada el 25 de septiembre de 1973 (BOE, 1973), la cual permitía la especialización profesional del veterinario a partir del cuarto curso. Con base a esta resolución, las facultades publicaron en los años 1976 y 1977 sendos planes de estudio para el segundo ciclo, y en la especialidad de Producción Animal y Economía, apareció como materia obligatoria la Genética Especial, cuyos contenidos correspondían a la Mejora Genética.

Más adelante, el Real Decreto 1384/1991 (BOE, 1991), cumpliendo la normativa 78/1027/CEE sobre homologación de los estudios de Veterinaria a nivel europeo, establecería como materias troncales de licenciatura la Genética y la Cría y Salud Animal, esta última definida como "Aplicaciones genéticas a programas de mejora. Eliminación de factores letales y subletales para la resistencia a la enfermedad", lo cual consolidaría la enseñanza de la Mejora en los estudios de Veterinaria. Los planes de estudios actuales se derivan de la Orden ECI/333/2008 (BOE, 2008), y establecen dentro de las competencias que debe adquirir el veterinario las siguientes:

1. Conocimiento y aplicación de las bases moleculares y genéticas de los procesos biológicos. Principios básicos de la biotecnología genética y de la genética de poblaciones.
2. Aplicaciones genéticas a programas de mejora y salud.

Los dos enunciados mantienen esencialmente los contenidos de la normativa anterior. En la actualidad, en las facultades de Veterinaria (Tabla 2), el número de créditos oscila entre 10 y 14, e incluyen asignaturas de Genética y de Mejora que aparecen bajo distintas denominaciones. Las asignaturas denominadas Genética incluyen contenidos de genética mendeliana, molecular y genómica, con distinta extensión, y pueden contener o no temas de genética de poblaciones. La genética cuantitativa es la base de los programas de Mejora Genética (o Cría y Salud Animal), si bien el énfasis que se hace en los distintos bloques es variable. Asimismo, las asignaturas de mejora, dependiendo de la facultad, incluyen un número mayor o menor de lecciones acerca de programas de mejora.

La mejora genética animal en otros grados

El grado de Ciencia y Salud Animal, impartido por la Universidad de Lleida, ofrece en relación con la Genética y la Mejora contenidos similares a los que se ofertan actualmente en las facultades de Veterinaria. De los centros no estrictamente relacionados con la agronomía y la veterinaria, el que ofrece una mayor oferta de asignaturas relacionadas con la Mejora probablemente sea la Facultad de Biociencias de la Universidad Autónoma de Barcelona, en la cual se puede cursar desde el año académico 2009-2010 un grado de Genética que tiene varias asignaturas obligatorias de 6 créditos ECTS relacionadas con el campo que nos ocupa, en concreto, Genética de Poblaciones, Genética Cuantitativa y Mejora, Genómica, Bioinformática y Biología de Sistemas, así como Agrogenómica que se ofrece como optativa. Por otra parte, la Universidad de León, en su grado de Biotecnología, ofrece las asignaturas Modificación Genética en Animales, Técnicas Moleculares Aplicadas a la Mejora Genética y Aplicaciones de la Transgénesis Animal.

**Másteres**

Máster en Mejora Genética Animal y Biotecnología de la Reproducción[2]

Este máster se derivó del antiguo máster de Producción Animal que se impartía en el Instituto Agronómico Mediterráneo de Zaragoza (IAMZ). En la actualidad está organizado por la Universidad Politécnica de Valencia (UPV) y la Universidad Autónoma de Barcelona (UAB), con la colaboración del IAMZ, el *Institut Valencià d'Investigacions Agràries* (IVIA) y el Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA). Se trata de un máster de dos años que se imparte en español.

La primera parte del Máster (60 ECTS) tiene una orientación profesional y comprende clases lectivas, prácticas, mesas redondas y visitas técnicas. El primer trimestre se cursa en el Departamento de Ciencia Animal y de los Alimentos de la UAB. En esta parte (Materia 1: Genética Molecular) se estudian los contenidos básicos de Genética molecular, Genómica y Bioinformática. En total suponen 20 créditos ECTS.

El segundo y tercer trimestres se cursan en el Departamento de Ciencia Animal de la UPV, y abarcan dos materias. En la primera de ellas,

2. http://acteon.webs.upv.es/

Tabla 1. Enseñanza de la Mejora Genética Animal en los planes actuales de las Ingenierías Agrarias ordenadas alfabéticamente así como las universidades que las imparten (a partir de las guías docentes publicadas en las páginas web)
*Table 1. Teaching of Animal Breeding in the current studies of Agricultural Engineering in different universities sorted alphabetically (from the teaching guides uploaded in the websites)*

| Grado/ Universidad/ Asignatura | Créditos ECTS | Obligatoria / Optativa | Teoría-Práctica dedicadas a Mejora Genética o Biotecnología |
|---|---|---|---|
| Ingeniería Agraria y Alimentaria | | | |
| – *Universidad de Lleida* | | | |
| Bases de la Producción Animal | 6 | | 9 h + 6 h |
| Alimentación y Mejora Animal | 6 | Obligatoria | 22 h |
| Biotecnología Agraria | 6 | Optativa | 5 temas de 19 |
| Ingeniería Agraria y del Medio Rural | | | |
| – *Universidad de León* | | | |
| Nutrición, Cría y Mejora Animal | 6 | Obligatoria | 14 temas de 35 |
| Ingeniería Agrícola | | | |
| – *Universidad de Almería* | | | |
| Anatomía, Fisiología y Mejora Genética Animal | 9 | Complemento | 9 h |
| – *Universidad de Huelva* | | | |
| Producción de Rumiantes | 6 | Obligatoria | 3 temas de 23 |
| Producción de Monogástricos | 6 | Obligatoria | 2 temas de 20 |
| Producción de Cerdo Ibérico | 6 | Optativa | 1 tema de 17 |
| Producción Equina | 6 | Optativa | 2 temas de 16 |
| – *Universidad Politécnica de Cataluña* | | | |
| Sistemas de Producción Animal | 6 | Obligatoria | 14 h (incluida Etnología) |
| Genética y Mejora | 6 | Obligatoria | 21 h |
| – *Universidad de Salamanca* | | | |
| Biotecnología y Mejora Agraria | 4,5 | Obligatoria | 7 temas de 23 |
| Genética Agraria | 4,5 | Obligatoria | 2 bloques de 5 |
| Ingeniería Agropecuaria y del Medio Rural | | | |
| – *Universidad Católica de Ávila* | | | |
| Mejora Genética Animal y Vegetal | 6 | Obligatoria | 7 temas de 17 |
| Ingeniería Agroalimentaria | | | |
| – *Universidad de Girona* | | | |
| Fisiología y Genética Animal | 6 | Obligatoria | 9 temas de 15 |

Tabla 1. Enseñanza de la Mejora Genética Animal en los planes actuales de las Ingenierías Agrarias ordenadas alfabéticamente así como las universidades que las imparten (a partir de las guías docentes publicadas en las páginas web) (continuación)
*Table 1. Teaching of Animal Breeding in the current studies of Agricultural Engineering in different universities sorted alphabetically (from the teaching guides uploaded in the websites) (continuation)*

| Grado / Universidad / Asignatura | Créditos ECTS | Obligatoria / Optativa | Teoría-Práctica dedicadas a Mejora Genética o Biotecnología |
|---|---|---|---|
| Ingeniería Agroalimentaria y del Medio Rural | | | |
| – *Universidad de Burgos* | | | |
| Producción Animal | 6 | Obligatoria | 3 temas de 21 |
| – *Universidad de Córdoba* | | | |
| Caracterización, Diseño y Monitorización de Sistemas ganaderos | 6 | Obligatoria | 6 h |
| Ingeniería y Monitorización de los Sistemas Extensivos de Producción Ganadera | 9 | Obligatoria | 16 horas |
| – *Universidad Politécnica de Valencia* | | | |
| Bases de la Producción Animal | 4,5 | Obligatoria | 15,8 h |
| Mejora Genética Animal | 6 | Optativa | Todas |
| Biotecnología en la Producción Animal | 4 | Optativa | No disponible |
| – *Universidad Pública de Navarra* | | | |
| Mejora del Animal y sus Productos | 6 | Optativa | Todas |
| Ingeniería de las Industrias Agrarias y Alimentarias | | | |
| – *Universidad de Extremadura (Centro Univ. de Santa Ana)* | | | |
| Genética y Mejora | 6 | Obligatoria | 2 unidades de 9 |
| – *Universidad de Extremadura (Badajoz)* | | | |
| Genética y Mejora | 6 | Obligatoria | 1 tema de 11 |
| Ingeniería de Explotaciones Agropecuarias | | | |
| – *Universidad de Extremadura* | | | |
| Genética y Mejora | 6 | Obligatoria | 1 tema de 11 |
| Ingeniería y Ciencia Agronómica | | | |
| – *Universidad Politécnica de Madrid* | | | |
| Genética y Principios de Mejora | 4 | Obligatoria | Todas (orientación a vegetal) |
| Mejora Genética Animal | 4 | Obligatoria | Todas |

Tabla 2. Docencia de la Genética y la Mejora en los planes actuales de las facultades de Veterinaria (a partir de las guías docentes publicadas en las páginas web)
*Table 2. Teaching of Animal Breeding and Genetics in the Veterinary curriculum (from the teaching guides uploaded in the websites)*

| Universidad / Asignaturas | Curso | Créditos ECTS (horas) |
|---|---|---|
| – *Universidad Complutense de Madrid* | | |
| Genética | 1 | 5,4 |
| Mejora Genética | 2 | 5,5 |
| Cría y Producción animal I y II | 3 | (13 horas) |
| – *Universidad de Córdoba* | | |
| Genética | 1 | 6 |
| Mejora Genética para la Cría y Salud Animal (*) | 2 | 6 |
| – *Universidad de León* | | |
| Genética | 2 | 6 |
| Cría y Salud Animal (*) | 3 | 6 |
| – *Universidad de Zaragoza* | | |
| Genética | 2 | 6 |
| Genética Cuantitativa, Genética Molecular y Mejora | 2 | 6 |
| Producción integrada de distintas especies | 3 | (13 horas) |
| – *Universidad Autónoma de Barcelona* | | |
| Genética | 2 | 4 |
| Mejora Genética | 3 | 6 |
| – *Universidad de Extremadura (Cáceres)* | | |
| Genética | 1 | 6 |
| Cría y Salud Animal (*) | 2 | 6 |
| – *Universidad de Murcia* | | |
| Genética | 1 | 6 |
| Cría y Salud animal | 5 | 6 |
| – *Universidad de Santiago de Compostela (Lugo)* | | |
| Genética Veterinaria | 1 | 6 |
| Cría y Salud Animal | 2 | 4,5 |
| Ingeniería genética animal (optativa) | 2 | 3 |
| – *Universidad de las Palmas* | | |
| Genética | 2 | 6 |
| Mejora Genética Animal | 2 | 7,5 |
| – *CEU Universidad Cardenal Herrera (Valencia)* | | |
| Genética y Biotecnología | 2 | 5 |
| Bases Genéticas de la Producción Animal | 2 | 4 |
| Programas de Mejora en distintas especies | | |
| – *Universidad Alfonso X el Sabio (Madrid)* | | |
| Genética | 1 | 6 |
| Cría | 3 | 7 |

(*) Se incluyen programas de mejora de distintas especies.

Mejora Genética Aplicada, se desarrollan contenidos de Estadística, Genética Cuantitativa (incluyendo evaluación de reproductores), Gestión y conservación de recursos genéticos y Programas de mejora. En total se completan 27,5 créditos ECTS. La tercera materia, Biotecnología de la Reproducción tiene una extensión de 12,5 créditos ECTS.

La segunda parte del Máster (60 ECTS) constituye un periodo de iniciación a la investigación durante el cual se realiza la tesis de máster. Contempla cursar una cuarta materia, Principios y Técnicas Asociadas a la Investigación, que incluye además las asignaturas Análisis de Datos y Documentación Científica.

### Máster en Genética y Mejora Animal (Animal Breeding and Genetics Master)[3]

Se trata de uno de los másteres más antiguos y con más tradición, basado en la escuela de Edimburgo. En la actualidad está organizado por el *Institut of Evolutionary Biology* y cuenta con colaboraciones del *Roslin Institut* y el *Scotland's Rural College*.

Es de hecho una especialidad de un máster más amplio (Máster en Genética Cuantitativa y Análisis Genómico), de un año, que incorpora un semestre común y otro de especialidad, en el que además se desarrolla la tesis de máster. En el semestre común se siguen cursos de Genética de Poblaciones y Cuantitativa, Estadística y Análisis de Datos y Análisis del genoma (incluyendo estudios de asociación y de ligamiento).

En el segundo semestre se estudian durante cuatro semanas las materias Principios de Mejora genética, Evaluación del mérito genético, Nuevos avances, Nuevos caracteres y Visión general del sector de la mejora. El resto del año académico se dedica a la tesis de máster.

### Máster Europeo de Genética y Mejora Animal (EMBAG)[4]

Se trata de un máster Erasmus Mundus construido a partir de másteres que se estaban impartiendo en las universidades que forman el consorcio (*Wageningen University*, Holanda; *University of Natural Resources and Life Sciences*, Austria; *AgroParisTech*, Francia; *Swedish University of Agricultural Sciences*, Suecia; y *Norwegian University of Life Sciences*, Noruega).

Se imparte en inglés y tiene una duración de dos años, en los que se incluye la realización de la tesis de máster. Los alumnos deben completar los estudios en dos universidades del consorcio. Los programas ofertados por las distintas universidades son variados e incluyen materias relacionadas con la Mejora Genética y también con otras especialidades como Producción Animal, Acuicultura o Agricultura Tropical. A efectos de analizar los contenidos impartidos, no obstante, nos fijaremos en las materias relacionadas con la Genética y la Mejora. Las asignaturas tienen diversas denominaciones en las universidades de origen, pero sus contenidos quedan resumidos en la Tabla 3.

## Estudios de doctorado

Las instituciones académicas y de investigación, y también las grandes empresas, requieren especialistas con nivel de doctor. En Europa, los másteres proporcionan la formación especializada que da paso a la realización

3. http://qgen.bio.ed.ac.uk/

4. http://www.wageningenur.nl/en/Education-Programmes/prospective-master-students/MSc-programmes/MSc-Animal-Sciences/Programme/European-Master-in-Animal-Breeding-and-Genetics.htm

Tabla 3. Materias y créditos ECTS impartidos en el máster EMBAG según la universidad participante
*Table 3. Subjects and ECTS credits in the EMBAG master according to the partner university*

| Materia | UMB[1] | BOKU[2] | APT[3] | SLU[4] | WU[5] |
|---|---|---|---|---|---|
| Estadística | 10 + 10 | 7 | 3 | | 6 |
| Genómica / Genómica estadística | 10 + 10 + 5 + 5 | 4 | 5 + 2,5 | 10 | 6 |
| Bioinformática | 10 | 4 | | 10 | |
| Genética de poblaciones / Conservación | 10 + 10 | 3 | 5 | 10 | 6 |
| Genética cuantitativa | 10 + 5 | 6 + 2 | 5 | 5 | 6 + 6 |
| Programas mejora | 10 + 5 | 5 + 1 | | 10 | 6 + 4 |
| Mejora de peces | 5 + 10 + 10 | | | | |
| Organismos modificados genéticamente | | | | 10 | |
| Genética de la salud / comportamiento | | | | 5 + 5 | |

[1]Norwegian University of Life Sciences; [2]University of Natural Resources and Life Sciences; [3]AgroParisTech; [4]Swedish University of Agricultural Sciences; [5]Wageningen University.

de la tesis doctoral sin necesidad obligada de estudios formales adicionales, aunque estos pueden ser requeridos en algunos programas. En concreto en España, una vez superado un máster, se puede alcanzar el grado de doctor realizando la tesis doctoral en el seno de algún programa de doctorado de Producción Animal o de Genética, pues no existe un doctorado específico en Mejora Genética. En los Estados Unidos de América la formación para el doctorado incluye también cursos, siendo de hecho la obtención de un máster una etapa intermedia. De la documentación consultada haré referencia a los programas de doctorado de la *European Graduate School in Animal Breeding and Genetics*, *Iowa State University*, *University of Wisconsin* y de una iniciativa conjunta de enseñanza en línea de varias universidades estadounidenses.

### European Graduate School in Animal Breeding and Genetics[5]

Se trata de un consorcio de universidades europeas que ofrecen estudios de doctorado de cuatro años de duración en el contexto de becas Erasmus Mundus. Lo constituyen *AgroParisTech* (coordinador), *Wageningen University*, *Aarus University* y *Swedish University of Agricultural Sciences*, con la colaboración de *European Forum of Farm Animal Breeders*, *INRA Jouy-en-Josas Center*, *Iowa State University*, *University of Melbourne*, *International Livestock Research Institute* y *The WordFish Center*.

Para obtener el doctorado se requiere un máster previo en Mejora Genética o materias afines y cursar 30 créditos, de los cuales 16,5 son cursos científicos avanzados (no se especifica más). La tesis doctoral se desarrollará

5. http://www.egsabg.eu/

bajo la supervisión de dos de las entidades participantes y el doctorando se obliga a realizar estancias en una y otra entidad. Se anima asimismo a los estudiantes a realizar un internado de tres a seis meses en una empresa o en uno de los centros académicos asociados.

Iowa State University[6]

La enseñanza de la Genética y la Mejora animal tiene una larga tradición en esta universidad, que arraiga ya en Lush y Hazel, dos de los fundadores de la Mejora Genética como disciplina. En la actualidad se plantean dos programas de doctorado en Genética y Mejora, cada uno de los cuales implica la especialización en Genética Cuantitativa y en Genética Molecular respectivamente. Se subraya, no obstante que las dos especializaciones hacen un importante hincapié en la integración de ambas disciplinas.

El grueso de los cursos comunes se basa en la Genética Cuantitativa y de Poblaciones, así como en la Estadística (17 créditos, no equivalentes a los créditos ECTS europeos), a los que se añaden 7 créditos variados. Se establecen tres especializaciones, Genética Cuantitativa, Genética Molecular e Inmunogenética, que requieren entre 20 y 22 créditos mayoritariamente específicos de esos campos. El programa requiere, no obstante, completar hasta 72 créditos de que serán aprobados por el comité de supervisión. Se debe asistir a seminarios de investigación a nivel de graduado y también a "*Journal clubs*".

University of Wisconsin (Madison)[7]

Como principio general, se establece que los estudios de posgrado en Genética y Mejora Animal pueden seguirse en distintos campos que incluyen (aunque no se limitan a) la Genética Cuantitativa y Estadística, Genética Molecular, Bioinformática y Genómica Funcional. Dada la diversidad de áreas de estudio, no hay un programa único especificado para estos estudios.

El estudiante de doctorado debe completar a lo largo de tres años un total de 32 créditos de cursos de posgrado en los que no hay requisitos específicos (aparte de inscribirse en el Seminario de Mejora Genética cada semestre). El itinerario (*track*) viene determinado por el estudiante y su supervisor, con la aprobación del comité de mentores. El programa está organizado por los departamentos *Animal Science* y *Dairy Science*, pero un importante bloque de cursos es impartido por otros departamentos y facultades (*Biochemistry*, *Computer Sciences*, *Genetics*, *Statistics*, *School of Veterinary Medicine*).

A modo de ejemplo, un itinerario en Bioinformática contendrá asignaturas de Análisis de secuencias, Estrategias de mapeo génico, pero también de Estadística, Computación, Métodos numéricos y, en menor medida, de Genética Cuantitativa. Como contrapartida, un itinerario en Genética Cuantitativa y Estadística incluirá cursos sobre Genética Cuantitativa y de Poblaciones, pero además incorporará un gran contenido de cursos sobre Estadística y en menor medida de computación.

**Enseñanza en línea**

Se acaba de citar dos programas de calidad y prestigio de los Estados Unidos. A pesar de lo que pudiera esperarse, el número de estudiantes de dichos programas es reducido (Ro-

6. http://www.ans.iastate.edu/section/abg/

7. http://www.ansci.wisc.edu/students/areas/genetics.pdf

han Fernando, comunicación personal) y quedaría muy por debajo del número requerido para mantener un máster en el sistema universitario español actual. En otras universidades americanas como norma tienen sólo 3-5 estudiantes de máster y 1-2 de doctorado. Si a esto se suma una disminución progresiva del personal académico experto en Genética y Mejora animal, la situación se hace prácticamente insostenible y el sistema americano podría ser incapaz de proporcionar expertos que puedan cubrir las necesidades del sector ganadero, la docencia y la investigación. Atendiendo a estas consideraciones, el USDA (*United States Department of Agriculture*) financió en 2007 el inicio de un currículum en línea a nivel de graduado en el campo de la Genética Cuantitativa. Posteriormente en 2011, dicho currículum se expandió para integrar conocimientos genómicos (Lewis *et al*., 2014). A tal efecto se creó un consorcio de siete universidades (*Virginia Tech*, *University of Nebraska-Lincoln*, *Colorado State University*, *North Carolina State University*, *Iowa State University*, *Kansas State University*, *South Dakota State University* y *University of Georgia*) con el objetivo de sumar esfuerzos para desarrollar dichos cursos en línea[8] que puedan servir como formación complementaria de los programas existentes en Genética y Mejora Animal.

## Discusión

La mejora de las poblaciones se ha venido realizando de forma empírica casi desde el momento en que el hombre se hizo ganadero. No obstante, no podemos hablar de Mejora Genética hasta que las distintas ramas de la Genética aportaron la base científica, ya en el siglo XX. En un principio la Mejora Genética como disciplina se basó fundamentalmente en la Genética Cuantitativa y se enfocó a caracteres económicos de importancia inmediata y fácil medida. Esta fue la base de los programas de mejora desarrollados en la segunda mitad del siglo XX. Con el nuevo siglo, el marco en el que se debe desarrollar la mejora se ha hecho más exigente, al incorporar conceptos de sostenibilidad, bienestar y salud animal y asimismo de conservación de la biodiversidad. Por otra parte, si analizamos con perspectiva la evolución de las metodologías implicadas en la Mejora genética, vemos que ya desde los años 70 del pasado siglo se han ido incorporando nuevos conceptos y técnicas estadísticas y computacionales. Esto se ha acentuado y acelerado en el presente siglo XXI con la irrupción de distintas técnicas moleculares y en particular de las técnicas de secuenciación masiva.

La enseñanza de la Mejora Genética se ha venido desarrollando en las escuelas de Ingenieros Agrónomos desde los años 60 del pasado siglo y en las facultades de Veterinaria desde mediados de los 70. En las escuelas de Agrónomos la Mejora Genética ha sido básicamente una disciplina vinculada a la especialidad de Zootecnia y su enseñanza llegó a gozar de su máximo esplendor en los años 90 en las escuelas de Madrid y Valencia. En los planes recientes ha sufrido una clara regresión al convertir los estudios de Ingeniero Agrónomo en un grado de cuatro años, siguiendo las directrices del plan Bolonia. La existencia de una gran diversidad de planteamientos docentes (recordemos que sólo en tres escuelas es asignatura obligatoria la Mejora Genética –y con un número limitado de créditos–) nos debe llevar a reflexionar sobre cuáles deben ser los mínimos y el enfoque adecuado de los conocimientos que debe adquirir el estudiante de Ingeniería agronómica en relación con la Mejora Genética. Se

8. http://www.enbgeo.soe.vt.edu/index.php

sugiere que una pregunta que debería saber responder cualquier alumno de la rama de Producción Animal es cómo se eligen los reproductores de forma que sean más rentables que los de la generación anterior (Alenda, comunicación personal).

En las facultades de Veterinaria, al ser la docencia regulada por normativa de la Unión Europea, se han incorporado a los planes de estudio desde el año 1991 la Genética y Cría y Salud Animal (Mejora Genética) como materias obligatorias. Es cierto que el número de créditos es semejante en las distintas facultades, pero el énfasis que se hace en los distintos apartados del programa es variado y hace que los objetivos de la docencia de la Mejora Genética, como sucede en las escuelas de agrónomos, sea una cuestión abierta a discusión.

En cualquier caso, del análisis de las competencias y conocimientos que se pueden adquirir hoy en día en los centros universitarios españoles a nivel de grado se desprende que los alumnos, en el mejor de los casos, pueden tener conocimientos que les permitan entender cómo se ha hecho la mejora y valorar el trabajo de las empresas y/o asociaciones implicadas en la mejora. Algunos programas incluso aportan al alumno una información importante tanto en Genómica como en Mejora para poder seguir con éxito estudios especializados de posgrado. A pesar de ello, la formación es claramente insuficiente para trabajar como especialistas en mejora genética sin haber adquirido competencias y aptitudes adicionales que requerirán estudios de posgrado.

En España se ofrece el Máster en Mejora Genética y Biotecnología de la Reproducción que sirve como especialización profesional mediante cursos que incluyen conocimientos de Genética molecular y Genómica, Genética Cuantitativa, Programas de Mejora y Biotecnología de la Reproducción. Másteres de un nivel semejante pueden cursarse en Edimburgo y en el Consorcio liderado por la *Wageningen University* (EMABG). La formación que se adquiere puede servir para dirigir la recogida de datos y organizarlos en bases informatizadas, así como para realizar el análisis preliminar de la información y evaluaciones genéticas rutinarias. La tesis de máster supone además una iniciación a la investigación que abrirá la puerta a un futuro doctorado.

La formación de mayor nivel de conocimientos puede obtenerse cuando se extiende el estudio de asignaturas de posgrado a más de un año académico. Tal es el caso de las universidades de Iowa y Wisconsin, por citar dos ejemplos significativos, en las cuales es requisito cursar asignaturas durante los tres primeros años de los estudios de doctorado en Genética y Mejora animal. Tanto una como otra reconocen especialidades estrechamente interconectadas (Genética cuantitativa, Genética molecular, Bioinformática, Inmunogenética), pero que en el caso de Wisconsin alcanzan una personalidad nítidamente diferenciada. Sobre todo en las especialidades de Genética cuantitativa, una característica común es que se hace cada vez más hincapié en la formación estadística y de programación, incluyendo el manejo de grandes bases de datos. De hecho, en las ofertas de trabajo que continuamente aparecen en distintos medios, tanto para el ámbito académico como para el empresarial, además de los conocimientos genéticos y genómicos, los conocimientos de estadística y computación suelen ser un requisito imprescindible.

Se ha comentado la irrupción de nuevos datos y conocimientos procedentes de la Genómica, los cuales han hecho evolucionar los métodos clásicos de la Genética Cuantitativa. Esta evolución ya se recoge en los programas de máster y de doctorado más avanzados. No obstante, el estudiante de Mejora Genética –y los que trabajamos en esta especialidad– debemos estar preparados para desarrollar y asumir nuevos modelos que surjan del conocimiento e integración de nuevos datos "ómicos" y de la

Biología de sistemas. A buen seguro, una amplia formación en estadística y computación serán de gran ayuda para continuar con el necesario aprendizaje a lo largo de toda la vida profesional. Para ello, la asistencia a congresos y asimismo el seguimiento y participación en foros como Acteon[9], AnGenMap[10] y DAD-net[11] serán también claves para mantener actualizados nuestros conocimientos.

Por otra parte, de cara a hacer efectiva la aplicación de los programas de mejora, sobre todo en aquellas especies en las que la base de selección está dispersa en distintos rebaños pertenecientes a diferentes propietarios (caso por ejemplo del bovino de carne, ovinos, caprinos y caballos), se hace necesaria la formación básica en Mejora Genética de los responsables de dichos rebaños. Este es un aspecto que a medida se descuida en nuestro país, pero que ha sido reconocido por ejemplo en los Estados Unidos, y ha sido objeto del desarrollo de programas específicos (Lewis *et al*., 2014).

## Agradecimientos

Este trabajo me fue propuesto por Miguel Pérez Enciso para ser presentado como ponencia en la XVII Reunión Nacional de Mejora Genética Animal, celebrada en el *Centre de Recerca en Agrogenòmica* (Bellaterra) los días 5 y 6 de junio de 2014. Manolo Baselga, Juan Manuel Serradilla y Miguel Toro aportaron información detallada de los planes de estudios de sus respectivas escuelas (Valencia, Córdoba y Madrid), e Isabel Burguete me informó acerca del nuevo plan de estudios de Veterinaria de Murcia. Juan Manuel Serradilla se ocupó también de sintetizar en una tabla la información correspondiente a los actuales planes de estudios de las escuelas de Ingeniería Agronómica. Finalmente, Luis Varona realizó valiosas sugerencias sobre la primera versión del manuscrito y Rafael Alenda mantuvo en el Foro Acteon una viva discusión relativa al desarrollo de la Mejora en España. A todos ellos quiero expresarles mi mayor agradecimiento, al igual que a un revisor anónimo y a las personas que confeccionaron las guías docentes de las asignaturas y otras informaciones relevantes y las pusieron a nuestro alcance en internet.

## Bibliografía

Agustí M (1617). Llibre dels secrets de agricultura, casa rústica y pastoril. Estampado por Esteue Liberôs, Barcelona. Disponible en: http://www.lluisvives.com/FichaObra.html?Ref = 3589&portal = 1

Alenda R (2011). La historia de la mejora genética. En: La Veterinaria a través de los tiempos (Ed. J Lafuente y Y Vela), pp. 177-192. Servet, Zaragoza.

Alonso de Herrera G (1513). Obra de agricultura. Impreso por Arnao Guillén de Brocar, Alcalá de Henares. Disponible en: http://www.magrama.gob.es/es/ministerio/servicios/informacion/plataforma-de-conocimiento-para-el-medio-rural-y-pesquero/centenario/ediciones.aspx#para1 o http://bibdigital.rjb.csic.es/spa/Libro.php?Libro = 258

Anónimo 1980. *Historia de las Escuelas Técnicas de Ingeniería Agronómica.* Escuela Superior de Ingenieros Agrónomos de Madrid.

Blasco A (2012). Animal breeding methods and sustainability. En: Encyclopedia of Sustainability Science and Technology (Ed. RA Meyers), pp. 389-405. Springer, Nueva York, EE. UU.

9. http://acteon.webs.upv.es
10. http://www.animalgenome.org
11. https://dgroups.org/fao/dad-net

Blasco A, Toro M (2014) A short critical history of the application of genomics to animal breeding. Livestock Science 166: 4-9.

BOE (1962). Orden de 9 de mayo de 1962 por la que se aprueban los planes de estudios en las Escuelas Técnicas Superiores. Boletín Oficial del Estado, 19 de mayo de 1962, núm. 120, pp. 6750-6758.

BOE (1964). Orden de 20 de agosto de 1964 por la que se establecen las enseñanzas de los dos primeros cursos de las Escuelas Técnicas de Grado Superior, de acuerdo con la ley de 29 de abril de 1964. Boletín Oficial del Estado, 22 de agosto de 1964, núm. 202, pp. 11082-11083.

BOE (1965). Orden de 29 de mayo de 1965 por la que se establecen las enseñanzas de los cursos tercero, cuarto y quinto de Escuelas Técnicas Superiores, de acuerdo con la Ley 2/1964, de 20 de abril. Boletín Oficial del Estado, 3 de junio de 1965, núm. 132, pp. 7989-7994.

BOE (1973). Resolución de la Dirección General de Universidades e Investigación por la que se determinan las directrices que han de seguir los planes de estudio de las Facultades de Veterinaria. Boletín Oficial del Estado, 25 de septiembre de 1973, núm. 230, pp. 18630-18631.

BOE (1975). Orden de 30 de julio de 1975 por la que se amplía el número de cursos académicos de los planes de estudios de las Escuelas Técnicas Superiores. Boletín Oficial del Estado, 1 de agosto de 1975, núm. 183, pp. 16336.

BOE (1991). Real Decreto 1384/1991 de 30 de agosto por el que se establece el título universitario oficial de licenciado en Veterinaria y las directrices generales propias de los planes de estudio conducentes a la obtención de aquél. Boletín Oficial del Estado, 30 de septiembre de 1991, núm. 234, pp. 31770-31773.

BOE (2008). Orden ECI/333/2008, de 13 de febrero, por la que se establecen los requisitos para la verificación de los títulos universitarios oficiales que habiliten para el ejercicio de la profesión de Veterinario. Boletín Oficial del Estado, 15 de febrero de 2008, núm. 40, pp. 8355-8357.

FABRE-TP (2011). Strategic Research Agenda. Disponible en: http://www.fabretp.info (21 de mayo de 2014).

Johansson I, Rendel J (1971). Genética y Mejora animal. Ed. Acribia, Zaragoza. 567 pp.

Falconer DS (1960). Introduction to Quantitative Genetics. Ed. Oliver & Boyd, Edimburgo/Londres, Reino Unido. 380 pp.

Fernández-Quintanilla C (1946). Influencia de la época de parto y de la individualidad sobre el rendimiento lechero de la vaca gallega. Misión Biológica de Galicia, INIA. Cuaderno número 73.

Fisher RA (1918). The correlation between relatives on the supposition of Mendelian inheritance. Transactions of the Royal Society of Edinburgh 52: 399-433.

Gamborg C, Sandøe P (2005). Sustainability in farm animal breeding: a review. Livestock Production Science 92(3): 221-231.

Gianola D, Fernando RL (1986). Bayesian methods in animal breeding theory. Journal of Animal Science 63: 217-244.

Henderson CR (1973). Sire evaluation and genetic trends. Proceedings of Animal Genetics and Breeding Symposium. Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, VA, 10-41.

Legarra A, Aguilar I, Misztal I (2009) A relationship matrix including full pedigree and genomic information. Journal of Dairy Science 92: 4656-4663.

Lewis RM, Spangler ML, Lockee BB, Enns RM, Enns KJ, Dekkers JC, Maltecca C, Cassady JP, MacNeil MD, Gould CA, Boggs DL, Misztal I, Pollak E (2014). Filling the knowledge gap: integrating quantitative genetics and genomics in graduate education and outreach. Proceedings of 10th World Congress of Genetics Applied to Livestock Production, 17-22 agosto 2014, Vancouver, Canadá.

Lush JL (1945). Animal Breeding Plans 3ª Ed. Iowa State University Press, Ames. (Edición facsímil de 1984). 443 pp.

Mäntysaari EA (2014). Challenges in industry application of genomic prediction. Experiences from dairy cattle. Proceedings of 10th World Congress of Genetics Applied to Livestock Production, 17-22 agosto 2014, Vancouver, Canadá.

Mendizábal JA, Ibarbia JR, Etxaniz JM (2005). Aportaciones a la historia de la raza vacuna Pirenaica. Paradigma de la zootecnia española. Archivos de Zootecnia 54: 39-50.

Meuwissen TH, Hayes BJ, Goddard ME (2001). Prediction of total genetic value using genome-wide dense marker maps. Genetics 157: 1819-1829.

Nagore D (1951). Veinticinco años de control lechero. Diputación Foral de Navarra, Pamplona. 72 pp.

Orozco F (1987). Genética y mejora animal: una historia de divorcios y maridajes. Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Madrid.

Prieto y Prieto M (1907). Tratado del ganado vacuno. 2ª edición, corregida y anotada por Pedro Moyano y Moyano. Hijos de D J Cuesta, Madrid.

(Aceptado para publicación el 30 de marzo de 2015)

# El modelo cooperativo de sistemas agroalimentarios de innovación: el caso ANECOOP y el sistema citrícola valenciano

J.R. Gallego-Bono y R. Chaves-Avila

Departament d'Economía Aplicada. Universitat de València. Facultat d'Economia, Avinguda de Tarongers s/n, 46022 Valencia (Spain)

**Resumen**

La globalización presiona a los sistemas territoriales de producción a convertirse en sistemas territoriales de producción y de innovación para mantener su competitividad. Pero la heterogeneidad empresarial que presentan estos sistemas dificulta la respuesta a estos desafíos y obliga a que dicha respuesta sea colectiva y a nivel meso-económico. Hasta ahora se ha defendido el liderazgo de algunas empresas privadas y otros actores intermediarios, como las asociaciones empresariales, como vehículos de este proceso, pero sin apenas estudiar el papel de las cooperativas en el mismo. En este sentido, el objetivo del artículo es doble. En primer lugar, se trata de conceptualizar de forma novedosa la capacidad de transformación de los sistemas territoriales de producción que tienen las cooperativas en sistemas de innovación. La combinación de un enfoque evolucionista con el enfoque de la gobernanza y el emprendimiento colectivo de la economía social hace emerger una *tercera vía* (entre la vía privada y la pública) propiamente cooperativa de transformación de estos sistemas a través de un modelo cooperativo de sistema de innovación capaz de generar nuevas meso-reglas. En segundo lugar, y sobre la base de la realización de 218 entrevistas en profundidad con diversos actores del sistema citrícola valenciano, se evidenciará cómo la cooperativa de segundo grado ANECOOP ha liderado la conformación de un modelo cooperativo de sistema de innovación. Surgen así nuevas rutinas y formas de organización vía interacción y redefinición de las comunidades de práctica y epistémicas en respuesta a las nuevas exigencias productivo-comerciales de conocimiento científico-tecnológico.

**Palabras clave:** Cooperativas, sistemas territoriales de producción y de innovación, meso-reglas, emprendimiento colectivo, política de innovación.

**Abstract**

**The cooperative model of agri-food innovation systems: ANECOOP and the Valencian citrus industry system**

Globalisation brings pressure on regional production systems to become regional production and innovation systems in order to maintain their competitiveness. However, the heterogeneity of the companies in these systems makes it difficult to respond to these challenges and obliges the response to be collective and mesoeconomic. To date, there has been a defence of the leadership of some private companies and other intermediaries such as business associations as vehicles of this process, but the part that cooperatives play in it has barely been studied. This paper therefore pursues a double aim. Firstly, it un-

* Autor para correspondencia: Rafael.Chaves@uv.es

http://dx.doi.org/10.12706/itea.2015.023

dertakes a novel conceptualisation of the cooperatives' capacity for transforming regional production systems into innovation systems. Combining an evolutionary approach with that of governance and the collective entrepreneurship of the social economy brings to light a truly cooperative "third way" (between private and public) to transform these systems through a cooperative model of an innovation system that is capable of generating new meso-rules. Secondly, based on 218 in-depth interviews with different players in the Valencian citrus industry, it shows how the second-tier cooperative ANECOOP has led the shaping of a cooperative model of an innovation system. As a result, in response to the new demands of growers, packers and marketers for scientific and technical knowledge, new routines and forms of organisation have arisen through the interaction and redefinition of the communities of practice and the epistemic communities.

**Key words:** Cooperatives, regional production and innovation systems, meso-rules, collective entrepreneurship, innovation policy.

## Introducción

Con la globalización, la liberalización de los mercados y la proliferación de normas y estándares para los productos, acaecidas en las últimas décadas, la capacidad de competir de empresas y sectores económicos enteros se ha visto alterada significativamente. Hoy son competidores globales las grandes corporaciones empresariales y los clusters, también denominados distritos industriales y sistemas territoriales de producción de pequeñas y medianas empresas, quedando condenadas a la marginalidad aquellas empresas que no han logrado integrarse en alguno de los dos anteriores. En el centro de esta estructural mega-transformación económica, uno de los elementos más relevantes para que clusters y corporaciones mantengan y desarrollen capacidades competitivas radica en su capacidad de generar innovación de modo sostenido. Y esta innovación no sólo se concreta en la aparición de nuevos productos agroalimentarios y nuevas técnicas de cultivo o de proceso, sino en una amplia gama de ámbitos que van desde la capacidad de hacer frente a las plagas y enfermedades hasta el dar respuestas óptimas a las necesidades de calidad, gustos y seguridad alimentaria que exige la demanda, como son la trazabilidad o la agricultura ecológica.

La literatura que ha abordado el papel de la innovación en los clusters, y más exactamente, que ha analizado los procesos de transformación de estos sistemas territoriales de producción en sistemas productivos innovadores ha sido prolífica en los últimos años (Lundvall, 1992; Cooke, 2003; Carbonara, 2004; Corò y Micelli, 2007; Gallego, 2008; Temblay *et al*., 2012; Torre y Wallet, 2013). El cómo incorporar mayores dosis de conocimiento científico en los procesos de innovación, el cómo urdir un entramado adecuado de relaciones con empresas y universidades, centros tecnológicos y otras entidades del entorno peri-productivo funcionales con tales procesos, así como en lograr que ambos sean sostenidos en el tiempo, han constituido los principales desafíos científicos y prácticos. También existe consenso en esta literatura respecto al nivel de análisis para aprehender el ámbito y las exigencias de este proceso de transición hacia la innovación sostenida, el cual no es micro sino meso-económico.

A pesar de representar una parte muy significativa, tanto cuantitativa como cualitativa, de los sectores agroalimentarios de los países desarrollados, el papel de las cooperativas en los procesos de innovación y en la conformación de sistemas territoriales de producción e innovación ha sido escasamente abordado. Cierta literatura sí ha abordado el rol

de las cooperativas en la construcción de grupos empresariales y holdings, en busca de eficiencias organizativas y ligadas al tamaño o también su papel en la transmisión de las políticas agrarias (Nilsson y Van Dijk, 1997; Julià *et al*., 2012; Meliá y Marí, 2013; Arcas y Hernández, 2013; Iliopoulos, 2013), pero escasamente en el ámbito que aquí se acomete. Por ello, el objetivo central de este artículo consiste en abordar la función desplegada por las cooperativas en la conformación de sistemas territoriales agroalimentarios innovadores. La hipótesis de partida es que la importancia de las cooperativas no es tanto cuantitativa cuanto cualitativa en estos procesos y sistemas de innovación, y ello tanto por la posición que ocupan estas entidades como por las funciones que desempeñan y por el modo genuino de gobernanza que les caracteriza y que las hace acreedoras de una posición clave, la cual justifica, por sí sola, que regulaciones gubernamentales recientes (como las Entidades Asociativas Prioritarias aprobadas por el Gobierno de España)[1] otorguen un papel crucial a las cooperativas. En otras palabras, en los sistemas agroalimentarios las cooperativas de segundo grado son simultáneamente el motor de este emprendimiento colectivo y un vehículo privilegiado de la política de innovación. Esta hipótesis se basa en que el nivel meso de una economía es el motor de cambio a través del conocimiento y la innovación que propicia, y en que las cooperativas de segundo grado desempeñan un papel esencial en la organización de este espacio meso-económico, conformando el modelo cooperativo de sistema de innovación (*Cooperative Regional Innovation System*).

La perspectiva teórica utilizada en este trabajo está basada en las aportaciones realizadas en los últimos años desde el enfoque económico evolucionista e institucionalista, que sitúa en el plano meso-económico el motor del cambio y de la innovación, y desde el enfoque socioeconómico del emprendimiento colectivo, cooperativo y de la economía social, que considera la gobernanza y la innovación social como centros de su atención investigadora. Esto último permitirá aprehender el papel de las cooperativas en la conformación de una visión común y una estrategia colectivas que son esenciales para desarrollar y difundir en el tejido empresarial un tipo de aprendizaje relativamente más orientado y coordinado que el tradicional en los sistemas territoriales de producción.

La aportación cooperativa a los procesos de innovación y a la conformación de sistemas territoriales de producción e innovación se analizará a partir de una realidad concreta: el sistema citrícola valenciano donde cooperativas punteras como ANECOOP[2] son buques insignia y constituyen la pieza clave del *Cooperative Regional Innovation System* del sector citrícola valenciano.

## Sistemas territoriales de innovación, espacio meso-económico, actores intermediarios y cooperativas: elementos teóricos y metodológicos

### De los sistemas de producción a los sistemas de innovación: el necesario empuje colectivo

Los clusters, o sistemas territoriales de producción (STP, en adelante), y entre ellos, los sistemas agroalimentarios, se enfrentan al reto de convertirse en sistemas territoriales de pro-

1. R.D. 550/2014, sobre Entidades Asociativas Prioritarias, previsto en la Ley 13/2013, de 2 de agosto, de fomento de la integración de cooperativas y de otras entidades asociativas de carácter agroalimentario. Esta medida tiene por objetivos últimos "(...) *el desarrollo de la innovación y la incorporación de nuevas tecnologías, aumentará su productividad y eficiencia y mejorará su capacidad de competir*", siendo crucial la innovación.

2. ANECOOP se crea en 1975 y se constituye formalmente como cooperativa agraria de 2º grado en junio de 1977 con la denominación de Sociedad Cooperativa de Exportación de Frutos Cítricos – Anecoop.

ducción y de innovación (STPI, en adelante). Durante mucho tiempo los STP basaron su dinamismo en un aprendizaje interactivo informal que ha generado un importante saber-hacer productivo-comercial de carácter tácito. Este proceso fue conducido por un sistema de pequeñas y medianas empresas de origen endógeno apoyado en instituciones informales que obtienen del territorio la proximidad necesaria para generar confianza y cooperación entre actores (Piore y Sabel, 1984; Becattini, 1994; Torre y Wallet, 2013).

Con la globalización, estos STP se enfrentan al reto de desarrollar formas de aprendizaje y de cooperación más sistemáticas y formales para poder generar ventajas competitivas sostenibles basadas en la capacidad de innovación (Carbonara, 2004). Pero a muchas pymes de los distritos industriales y STP en general de países desarrollados les resulta muy difícil desarrollar las competencias necesarias para innovar interna y sostenidamente y para urdir una trama de relaciones formales e informales con otras empresas, instituciones científico-tecnológicas y otras entidades del entorno peri-productivo (Carbonara, 2004; Corò y Micelli, 2007; Caniels y Van den Bosch, 2011; Temblay *et al*., 2012). En especial, estos entramados de actores empresariales se revelan con frecuencia incapaces de encauzar un proceso de acción colectiva más planificado y formalizado que permita responder a las nuevas exigencias. En este contexto, suele atribuirse a la existencia en el territorio de instituciones intermedias o actores intermediarios, tales como empresas líderes y asociaciones empresariales, un papel determinante en la capacidad de adaptación de los distritos industriales (Carbonara, 2004; Dei Ottati, 2003; Corò y Micelli, 2007; Temblay *et al*., 2012; Zeitlin, 2008) al apoyar a las empresas y propiciar su cooperación y acción colectiva.

El cometido de estos agentes intermediarios trasciende sus funciones estatutarias, si se les analiza desde la perspectiva sistémica. En efecto, un doble cometido potencial puede serle identificado: de un lado, su papel de impulso al cambio radical y, de otro lado, su papel de apoyo a la política de innovación. Ambos cometidos exigen que el agente intermediario ocupe una posición estratégica en el seno del sistema productivo-empresarial, con capacidad para impulsar la transformación de este sistema, y que al propio tiempo tenga capacidad para incidir sobre el entorno de dicho sistema generando y catalizando mecanismos de apoyo en el mismo. La base para esta argumentación es la siguiente. En contextos de clusters caracterizados por una acusada heterogeneidad empresarial, es decir, donde las diferencias de competencias entre las empresas que los conforman son muy grandes (Tomás Carpi *et al*., 1999; Corò y Micelli, 2007), es poco probable que pueda producirse el salto requerido en el proceso de innovación en ausencia de un cambio colectivo en la visión y la estrategia empresarial del conjunto del colectivo. Y esto requiere precisamente de la existencia de algún actor del sistema que simultáneamente pueda jugar el papel de líder/tractor, implicando en el proyecto colectivo a los demás miembros del sistema, y que, al propio tiempo, pueda prestar servicios a las empresas para que eleven su capacidad de absorción de las innovaciones.

Este planteamiento amplía la teoría de las empresas líderes como actores intermediarios en la modernización de los clusters o distritos industriales (Tomás Carpi *et al*., 1999; Corò y Micelli, 2007) pero desde una conceptualización distinta y poniendo énfasis en las limitaciones de las empresas privadas al uso. Se sostiene que la heterogeneidad empresarial en el seno de los STP hace que dicho liderazgo sea vital para conseguir elevar de forma colectiva el nivel de competencias del conjunto de empresas.

Respecto a la segunda cuestión señalada, la del apoyo a la política de innovación, es sabido que la política pública requiere, para ser

efectiva, de mecanismos de transmisión de sus impulsos y de un *feed-back* de las actuaciones que permita su renovación y actualización constantes, en un proceso de co-producción tanto de la elaboración como de la aplicación de dichas políticas. Proceso de coproducción en el que participan, y se implican, los diferentes actores del sistema, públicos y privados, empresas, universidades y otros agentes. En este contexto, el tipo de agentes intermediarios elegido por los poderes públicos resulta estratégico para que pueda estructurarse la acción de la política de innovación en el ámbito de los STP, pero también el entorno institucional en el que se alojan las relaciones inter-actores. En suma, el tránsito de STP hacia STPI va a requerir a menudo del desarrollo de un emprendimiento colectivo que impulse el proceso de innovación, al tiempo que sirva de apoyo a la política pública de innovación, lo que desborda la consideración única de los actores públicos y de las asociaciones empresariales en la política de innovación y de modernización de los distritos y STP en general (Werker y Athreye, 2004; Corò y Micelli, 2007).

## Innovación como cambio en las meso-reglas

El enfoque de partida es heredero de la aportación de Schumpeter de 1939, según el cual la base del progreso económico (y de la innovación) se encuentra en la creación de nuevas reglas, esto es, combinaciones inéditas de elementos de producción, distribución y consumo por parte de los actores, las cuales generan nuevos paradigmas económicos (Schumpeter, 2002). Para que esa innovación (nueva combinación, regla o rutina) sea efectiva ha de ser reconocida, aceptada y adoptada por un número significativo de agentes del sistema. Nelson y Winter (1982) actualizaron esta idea schumpeteriana indicando que, cuando los actores operan en un contexto de incertidumbre radical y racionalidad limitada, las empresas se comportan siguiendo rutinas o reglas organizativas. Dichas rutinas presentan una doble dimensión procedimental y substantiva. La primera enfatiza la conformación de las rutinas por prueba y error a través de un proceso espontáneo de descubrimiento de una cultura general de la organización. Esta es la supuesta base del dinamismo de los distritos industriales tradicionales y los STP (Carbonara, 2004; Corò y Micelli, 2007). Sin embargo, como la empresa y otras organizaciones reúnen bajo una misma estructura a individuos dotados de capacidades y de intereses que pueden ser divergentes o incluso conflictivos, la figura del empresario o del liderazgo público es esencial para proporcionar una visión y una estrategia a estas organizaciones que juegue un papel integrador en las mismas. Esta es la perspectiva substancialista de la racionalidad (Witt, 1998). De este modo, la imaginación de los emprendedores y, por consiguiente, su capacidad para proyectar una visión y una estrategia, es esencial en el cambio económico en general (Witt, 1998) y en el sector agroalimentario en particular (Knudson *et al*., 2004). La imaginación espolea el desarrollo del conocimiento y éste es el motor del proceso de evolución (Foster y Metcalfe, 2012).

Las iniciativas empresariales o emprendimiento son los motores del cambio y la transformación porque provocan un cambio colectivo "no en una, sino en un rango de reglas de comportamiento" que son adoptadas y aplicadas por los actores económicos que toman las decisiones cuando se enfrentan a la incertidumbre (Foster y Metcalfe, 2012). Estas reglas de comportamiento no se definen en el plano microeconómico sino meso-económico porque son el resultado de una diversidad de comportamientos interactivos que generan nuevas reglas generales que se imponen a las reglas específicas de cada organización.

En este sentido, lo que provoca el cambio es el desarrollo del conocimiento en el ámbito meso-económico vía "creación, adopción, adaptación y difusión de reglas en algún sen-

tido genéricas" (Dopfer *et al*., 2004). Estas meso-reglas genéricas están conformadas por nuevas prácticas tecnológicas, organizativas e institucionales articuladas entre ellas (Dopfer *et al*., 2004). En virtud de este planteamiento, que se preocupa de explicar el cambio y la coordinación en un sistema económico, el nivel meso no es entendido como un nivel intermedio entre los niveles micro y macro, sino el ámbito en el que se produce el cambio en las reglas y, por consiguiente, determinante tanto de lo micro como de lo macro.

## Rutinas, redes, comunidades de práctica y epistémicas

El emprendimiento y el desarrollo de ideas no presentan únicamente un carácter individual y vinculado a la creación de nuevas empresas, sino que también operan en el plano meso-económico, porque comportan un proceso de coordinación dentro de la empresa y en el desarrollo de proyectos empresariales colectivos. En este sentido, Cohendet y Llerena (2003) consideran que existe un nivel intermedio de rutinas (en la empresa), entre los individuos y la organización (empresa), que es la comunidad. Las empresas se insertan en diferentes tipos de comunidades, entre las que destacan las comunidades de práctica y las comunidades epistémicas. Una comunidad de práctica (CP, en adelante) es un conjunto de personas que comparten una serie de tareas y de reglas formales e informales para desarrollarlas. Una comunidad epistémica (CE, en adelante) es una comunidad de práctica cuyos miembros están volcados en hacer avanzar una determinada área del conocimiento con un determinado enfoque científico. El empresario coordina las comunidades de la empresa según su visión. Ahora bien, estas comunidades pueden desbordar las fronteras de las empresas individuales (Cohendet y Llerena, 2003; Wenger, 2001; Dunlop, 2013). Así, estas comunidades también operan y se definen en las relaciones entre diferentes colectivos de diferentes empresas y en las relaciones entre empresas y otros actores, en particular del ámbito científico-tecnológico. Las CP y las CE constituyen así un espacio de conformación y de cambio de las rutinas en el plano meso-económico. Esto nos permite conceptualizar la articulación del nivel meso-económico vía coordinación entre diferentes actores, comunidades, etc.

Partimos de que para pasar de STP a STPI, las empresas requieren de nuevas prácticas que exigen mayores dosis de conocimiento científico. Y ello obliga a la rearticulación entre CP y CE. Cooke (2003) propone dos modelos de transición: el *Entrepreneurial Regional Innovation System*, liderado por empresas privadas, y los *Institutional Regional Innovation Systems*, liderado por la iniciativa pública en ausencia del empuje empresarial privado. Nosotros contemplamos un tercer modelo, hibrido, liderado por las cooperativas, cuya virtud radica en la conciliación público-privado, impulsando la innovación de mercado y propiciando su difusión vía política pública.

Cooke (2003) apunta diversos actores intermediarios tecnológicos para la integración de CP y CE. Ahora bien, desde el momento en que adoptamos una perspectiva substancialista de las rutinas y de la racionalidad, otros instrumentos de actuación devienen esenciales para conformar STPI. Por ejemplo, las asociaciones de empresarios, que pueden contribuir al establecimiento de relaciones entre empresas (y CP) y centros tecnológicos y universidades (y CE), etc. De igual modo, las estructuras de segundo grado de las cooperativas pueden jugar un papel esencial en priorizar ciertas rutinas frente a otras y pueden ser vitales en el impulso de una visión y estrategia empresarial compartida por las cooperativas de base. En este contexto, y a partir de la fundamentación desarrollada más arriba, podemos atribuir a las cooperativas de segundo grado un papel de *collective entrepreneurship,* que devendría esencial para la efectiva conformación de los *Cooperative Regional Innovation Systems*.

El paso de STP a STPI o cómo articular CP y CE

Los procesos de cambio productivo, organizativo y comercial en el STP generan nuevos procesos de aprendizaje. Como las CP y las CE desbordan el ámbito de la empresa, resulta crucial generar un proceso de socialización interorganizacional para desarrollar este aprendizaje. Desde esta óptica, las interacciones entre empresas y entre firmas y centros tecnológicos y universidades son una condición necesaria para desarrollar estrategias innovadoras pero no una condición suficiente para desencadenar la transformación que supone pasar de un STP a un STPI en ausencia de mecanismos de institucionalización de estas interacciones. La razón es que las innovaciones en empresas, centros tecnológicos, etc., en el plano meso-económico, no provocan por ellas mismas un cambio en la meso-regla. Este cambio requiere desarrollar nuevas CP, nuevas CE y nuevas formas de articulación entre ellas. Al desarrollar estas nuevas comunidades se crean nuevos conocimientos y prácticas productivas, vía la constitución de nuevas redes de empresas, de centros de formación y de investigación y de unas y de otras. La incorporación a estas redes permite a las empresas *acceder* a las innovaciones. El desarrollo de CP y CE es pues necesario para que las innovaciones se difundan suficientemente y se conviertan en meso-reglas.

## El *Cooperative Regional Innovation System*: las cooperativas como impulsoras del emprendimiento colectivo y como vehículo de la política de innovación en sistemas agroalimentarios

Las cooperativas pueden constituir un actor de primer rango para apoyar la transformación de los sistemas agroalimentarios desempeñando un doble papel: por un lado, el ser el motor del emprendimiento colectivo necesario para conformar una visión y una estrategia colectivas, condición de los procesos de innovación sostenidos y, por otro lado, por ser potencialmente un vehículo privilegiado de la política pública de innovación. Ambas potencialidades derivan de características genuinas propias de las cooperativas. Por un lado, de su forma de gobierno empresarial, participativa y cauce natural para la implicación de sus asociados en su proyecto y que se transmite en su original estructuración vertical con formas integradoras de primer, segundo y ulterior nivel (Spear, 2004). En segundo lugar, esa potencial capacidad de emprendimiento colectivo deriva de su naturaleza institucional, de los valores en que se inscribe (democracia, ayuda mutua, cooperación entre cooperativas, etc.,) y de su vínculo con la comunidad que hace que definan un entramado muy propicio al desarrollo del capital social en el sentido de Putnam (Spear, 2001). Todo ello redunda en una mayor capacidad de cooperación empresarial intra e intersectorial, así como de cooperación con los actores del sistema de formación e investigación.

Si partimos de que las meso-reglas constituyen el elemento esencial del proceso de coordinación y de cambio, se sostiene que las cooperativas son organizaciones apropiadas para ayudar a generar meso-reglas genéricas en amplios espacios intra e interterritoriales, en dos sentidos esenciales (Gallego, 2008): a) al compartir valores y rutinas conforman un terreno fértil para la difusión de prácticas similares dentro de una misma organización; b) al integrar a diferentes unidades económicas en una misma organización, son un mecanismo esencial para la difusión de innovaciones *top-down* y *bottom-up* dentro de la misma. Además, su fuerte implantación territorial y la obligación de comercialización del producto de sus asociados (Gallego, 2008), hacen que las cooperativas tengan propensión a ejercer la voz (en el sentido de Hirschman, 1970), lo que se traduce en una original combinación de presiones y de ayudas

a sus asociados para que introduzcan innovaciones. Las cooperativas pueden propiciar así la conectividad, la proximidad geográfica y organizada (tecnológica, organizativa, institucional y cultural) (Torre y Wallet, 2013) en el interior de la organización cooperativa, al tiempo que espolear la elevación de las competencias de sus socios.

La imaginación, la visión y la estrategia de los directivos de las cooperativas de segundo grado pueden impulsar el cambio en la población de cooperativas que integran la organización cual proceso de emprendimiento colectivo. La organización territorial puede permitir perfectamente a las cooperativas integrarse horizontal y verticalmente siguiendo una meso-regla genérica al tiempo que cada organización o *unidad* micro interpreta la meso-regla según sus propias especificidades. Las cooperativas provocan cambios en las meso-reglas porque al ser capaces de difundir nuevas buenas prácticas entre sus socios mejoran su competitividad y presionan sobre los actores privados del territorio para que las introduzcan.

Ahora bien, la distancia cognitiva y la desigual capacidad de absorción entre cooperativas puede ser tan grande que no permita un proceso *directo* de imitación y de emulación entre las mismas, aun cuando dispongan de un entorno creativo rico en capital social (Laursen *et al*., 2012). Es aquí donde las cooperativas de segundo grado y los grupos cooperativos adquieren una importancia estratégica en el impulso al cambio del sistema empresarial territorial. Al tiempo que presionan a la adopción de innovaciones por las cooperativas de base, tienen la capacidad de absorción y las relaciones necesarias para poder interaccionar sistemáticamente con las universidades, centros tecnológicos, etc. A través de este doble proceso, las cooperativas de segundo grado estimulan la renovación y rearticulación de las CP y CE con participación de las cooperativas, la inserción de forma más compleja de las cooperativas en estas comunidades y la introducción intencional o sobrevenida de nuevas formas de interrelación entre diferentes CP. Todos estos vectores convierten a las cooperativas en una plataforma potencial para la política de innovación y para la estructuración de los sistemas de innovación en los sistemas agroalimentarios.

## Cambio en el sistema citrícola de la Comunitat Valenciana (España) impulsado por las cooperativas: emprendimiento colectivo y política de innovación

### Metodología y fuentes de información

En trabajos previos (Gallego, 2008 y 2009) se ha analizado el proceso de conformación del entramado de actores públicos, privados y mixtos que definen el STPI de la citricultura valenciana. El objetivo ahora es contrastar el papel esencial de la interacción de las CP y de las CE en la generación y difusión de las meso-reglas en el sistema citrícola valenciano y el rol esencial de la cooperativa ANECOOP en este proceso de innovación. Se pretende explicar cómo la necesidad de incorporar mayores dosis de conocimiento científico-tecnológico en la cadena de valor citrícola ha obligado a los actores a definir nuevas formas y espacios de interacción. El foco del análisis se sitúa en los actores y en las relaciones del sistema.

La información empírica de este estudio procede de una investigación longitudinal basada en la realización de un total de 218 entrevistas en profundidad, de las cuales 151 (el 69%) fueron realizadas en la Comunitat Valenciana y 67 (el 31%) en Cataluña. Las entrevistas han sido realizadas por los autores en los periodos 2007-2011 y 2013. Las entrevistas abarcan varios periodos porque se han ido estudiando de forma secuencial diversos ámbitos relacionales de un sistema de pro-

ducción y de innovación. Por este motivo, el estudio tiene un carácter longitudinal no tanto por entrevistar a las mismas personas en diferentes periodos del tiempo (lo que sólo ha ocurrido con el 6% de los entrevistados) como por entrevistar a los mismos actores de forma repetida para estudiar diversos ámbitos del sistema de innovación. Por tanto, se ha entrevistado a 205 personas distintas. Se ha entrevistado a agricultores (56%), centrales citrícolas privadas y cooperativas (16%) así como a empresas proveedoras (18%) de la cadena de valor (viveristas, proveedores de maquinaria y de productos químicos pre y post- cosecha y empresas de servicios a los agricultores) y a todas las entidades integrantes de la Red de Cítricos de la Comunitat Valenciana del IVIA (Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias) (10%). Esta última está formada por investigadores de universidades, centros tecnológicos y de investigación (con inclusión de los departamentos de I+D de la cooperativa de segundo grado ANECOOP), responsables técnicos de la Conselleria d'Agricultura y representantes de asociaciones empresariales y profesionales. Las entrevistas a agricultores, gerentes y directivos de empresas han sido realizadas con cuestionarios cerrados. Por el contrario, los cuestionarios para los miembros de la Red de Cítricos eran abiertos, aunque incluían algunas preguntas cerradas similares a las formuladas a las empresas a efectos de comparación. Las entrevistas perseguían obtener información cualitativa sobre los procesos de innovación en el seno de las diferentes organizaciones y la naturaleza de las relaciones entre empresas y otras entidades del sistema institucional científico-tecnológico, así como entidades asociativas en las que se integran diversos actores.

El 46% de los 123 agricultores entrevistados son socios de una cooperativa de comercialización. Las cooperativas entrevistadas, prácticamente en su totalidad socias de ANECOOP, representan el 47% del total de centrales citrícolas entrevistadas. Al 50% de las cooperativas, las más dinámicas, se ha accedido siguiendo el consejo experto de un directivo de ANECOOP. El resto se han elegido para tener una muestra representativa de las diferentes áreas geográficas. Tanto en el caso de las cooperativas como en el del resto de colectivos, se ha accedido a las personas entrevistadas a través de unos 10 informadores clave (que en un 70% de casos también han sido entrevistados) que son buenos conocedores de las diferentes zonas y/o colectivos objetivo y que nos han proporcionado los contactos. En el resto de casos, en torno a un 30%, se ha contactado con los entrevistados a través de las propias relaciones y conocimiento personal de los autores o vía la concertación directa de la entrevista sin que mediara ninguna relación previa. Las muestras de todos los colectivos se han seleccionado privilegiando los comportamientos más dinámicos pero asegurándonos de que recogiesen la diversidad existente dentro de la población de referencia. De las entrevistas se obtienen resultados cualitativos que han sido movilizados siguiendo el programa *F4* para la escucha y transcripción de las grabaciones y el programa *Atlas.ti* para su tratamiento, en especial en las entrevistas realizadas a los actores de la referida Red de Cítricos, cuyos actores localizados mayoritariamente en la Comunitat Valenciana constituyen el núcleo del objeto de estudio del artículo.

## Resultados

### Breve caracterización del sistema citrícola

Con una producción de 5.501.500 toneladas, España ocupa el sexto lugar en la producción mundial de cítricos con el 4,19% del total, en 2012 (FAO, 2014), pero ostenta la primera posición en las exportaciones mundiales de cítricos en fresco con 3.588.400 toneladas que suponen el 27,79% del total mundial en 2010-2011 (FAO, 2012). Destaca la elevada

cuota de mercado española en las exportaciones mundiales de mandarinas, que tradicionalmente se sitúa en torno al 50% y que alcanzaba el 38,05% en 2010-2011 (FAO, 2012). Este gran peso de las mandarinas, se desprende de la especialización en estos cítricos de la Comunitat Valenciana, que aporta en 2011 1.572.569 toneladas, lo que supone el 74,3% de la producción española de mandarinas (MAGRAMA, 2013). Esta especialización está en la base del desarrollo de un sector líder a nivel mundial.

En el sector citrícola valenciano, las cooperativas ocupan una posición central, destacando entre ellas el sistema empresarial liderado por la cooperativa de segundo grado ANECOOP, la más grande cooperativa agraria exportadora de España, la primera empresa exportadora de productos citrícolas del Mediterráneo y la segunda del mundo. Integra actualmente 79 cooperativas asociadas con una facturación en 2011 de 438,6 millones de € y 337,7 millones de € de exportación (Meliá y Marí, 2013; Campos *et al*., 2012; Arcas y Hernández, 2013). El sector de cítricos representa el 40,2% y el 42,2% del volumen y del valor total, respectivamente, de la actividad de ANECOOP en la campaña 2011-2012 (ANECOOP, 2013).

En la Comunitat Valenciana el sector citrícola está organizado en torno a centrales citrícolas. Son cooperativas o empresas privadas, normalmente de capital valenciano y de carácter familiar, que adquieren la producción a los agricultores y se encargan de su acondicionamiento y comercialización. Han hecho tradicionalmente de cadena de transmisión de los impulsos del mercado a los agricultores. Para realizar este proceso de acondicionamiento, estas centrales se apoyan en proveedores de maquinaria y otros productos químicos de postcosecha, envases, etc. También están presentes en la Comunitat Valenciana los proveedores de inputs para la producción agraria, tales como plantones, productos químicos y maquinaria (Gallego, 2009).

El sistema agroalimentario citrícola ha sufrido en las dos últimas décadas un profundo cambio en los canales de comercialización y en las exigencias de los mercados. Las centrales citrícolas han pasado de vender mayoritariamente a mercados centrales sobre los que ejercían un cierto control e información, a comercializar el grueso de la producción a través de grandes cadenas de distribución que fijan las condiciones de venta. Además, se han introducido nuevas normas y estándares públicos y privados en lo relativo a las condiciones de producción, de tratamiento y de comercialización de la fruta, que han exigido la modernización científico-tecnológica y la reglamentación del sector. Esto ha impelido a la profesionalización de la gestión técnica y gerencial de las explotaciones y de las empresas de acondicionamiento y comercialización de la fruta (Gallego, 2009).

### Cambios en la organización de la comercialización y cambios en las exigencias públicas y privadas de los productos y procesos productivos

Las nuevas exigencias de los mercados y de las propias administraciones públicas desde la década de los años 90 del siglo pasado, han llevado a un proceso paralelo de desarrollo de nuevas CP y de nuevas CE en la citricultura valenciana. De una parte, dichas exigencias han implicado la necesidad de incorporar a titulados universitarios, en especial ingenieros agrónomos, en las centrales citrícolas, tanto para controlar el acondicionamiento de los productos para su comercialización como para controlar las condiciones del cultivo de los agricultores socios. Así, a partir de los 90 adquieren un gran desarrollo las Agrupaciones para el Tratamiento Integrado en la Agricultura (ATRIAS) y las Asociaciones de Defensa Vegetal (ADV). Reguladas por el Ministerio de Agricultura (gobierno central) y por la Conselleria de Agricultura (gobiernos

regionales), respectivamente, consisten básicamente en ayudas públicas a empresas y entidades (que mayoritariamente son cooperativas) para la contratación de técnicos y productos destinados esencialmente a la lucha contra plagas y enfermedades mediante métodos respetuosos con el medio ambiente y la salud humana. Al propio tiempo, y de otra parte, las nuevas exigencias han llevado a reorientar la investigación, para atender al nuevo concepto de calidad (más atento a la presentación del producto que a sus propiedades organolépticas), nuevas variedades y patrones, etc. En este ámbito, el cambio de paradigma (y, por consiguiente, de la *episteme*) está asociado a la introducción de la genética (Navarro y Juárez, 2000). De igual modo, en el ámbito de la lucha contra plagas y enfermedades se asiste a un cambio radical con el paso de la lucha química a la lucha biológica (Laborda, 2012). Estos procesos han implicado una ampliación y un cambio en los equipos y en la forma de abordar la investigación en estos ámbitos especialmente por parte de la Universidad Politécnica de Valencia (UPV), así como el IVIA y la colaboración de ambas instituciones.

## Respuesta cooperativa a los cambios y rearticulación de las CP y las CE

En este apartado se analizan tres espacios paradigmáticos de interacción entre CP y CE construidos por los actores, los cuales ejemplifican sendas formas y niveles de integración entre CP y CE, de inserción en el sistema de innovación y ponen de relieve el rol clave de las cooperativas de segundo grado. Dichos espacios son los siguientes:

Ámbito 1. Relación entre técnicos del Departamento de Calidad y Sistemas de ANECOOP y técnicos de las cooperativas asociadas. Desarrollo en complejidad de las CP de los titulados universitarios incorporados al sector.

Ámbito 2. Relación entre investigadores y técnicos (en cultivos, ATRIAS, etc.) en proyectos de investigación y formación. Interacción e integración bilateral entre CP y CE.

Ámbito 3. Grupo nacional de trabajo de cítricos. Relación entre técnicos de administraciones públicas, investigadores y técnicos de empresas de la cadena de valor. Integración multilateral de CP y CE.

### *Ámbito 1. Relación entre técnicos del Departamento de Calidad y Sistemas de ANECOOP y técnicos de las cooperativas asociadas*

Las cooperativas citrícolas valencianas presentan un pequeño tamaño. Por ello, para tratar de capturar economías de escala, ganar en capacidad innovadora y poder responder a las exigencias de los mercados (Filippi y Triboulet, 2006), han avanzado en un doble proceso de concentración horizontal y vertical (Julià *et al*., 2012; Gallego, 2008; Meliá y Marí, 2013; Arcas y Hernández, 2013; Giagnocavo *et al*., 2014). Como ya se ha avanzado al comienzo del artículo, el principal hito en este proceso lo constituye la fundación de ANECOOP en 1975 y su constitución en 1977 como cooperativa de segundo grado en el ámbito de la comercialización dirigida a la exportación. Un proceso que comienza con 31 cooperativas valencianas en torno a la exportación de cítricos, pero que irá incorporando a nuevas regiones y cooperativas españolas (Font de Mora, 2003). Las cooperativas asociadas se comprometen a comercializar un porcentaje mínimo de su producción a través de ANECOOP, siendo el porcentaje medio de entrega real en la actualidad el 62% (Meliá y Marí, 2013), lo que da una idea de su capacidad de integración cooperativa. ANECOOP ha estimulado también la fusión de las cooperativas de base y la propia fusión de su gestión con mantenimiento de la independencia de las mismas (Planells y Mir, 2004:

397; Meliá y Marí, 2013). Este proceso ha avanzado desde principios del nuevo siglo con la creación de un Grupo Cooperativo que supone un mayor grado de integración entre las cooperativas que lo integran (ANECOOP, 2013).

Ahora bien, en ANECOOP coexisten algunas centrales citrícolas líderes mundiales con pequeñas centrales con problemas de profesionalización técnica y gerencial. Un reto esencial para la dirección de ANECOOP es lograr que la producción que les suministran unas cooperativas tan heterogéneas reúna las condiciones de calidad, seguridad alimentaria y respeto al medio ambiente que le exigen sus clientes. Para poder ayudar a las cooperativas de base, ANECOOP ha estimulado en el ámbito productivo-comercial un cambio en el conocimiento base del sector (regla genérica). Este proceso se apoya, en primer lugar, en una mejora de sus competencias internas de investigación, tanto en materia de postcosecha (Departamento de Calidad y Sistemas) como en el ámbito de la producción (Departamento de Producción y Desarrollo). Esto le ha permitido estrechar sus lazos con proveedores y firmar convenios de investigación con importantes centros de investigación locales, tales como el IATA (Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos, CSIC).

En segundo lugar, ANECOOP obliga a las cooperativas de base a adoptar sustanciales mejoras tecnológicas y organizativas para poder permanecer dentro de la organización y les ayuda a responder a estas exigencias. En efecto, desde el Departamento de Calidad y Sistemas de ANECOOP se despliega una labor de difusión de los resultados de la investigación y de asesoramiento técnico a las cooperativas de base, lo cual se concreta en tres elementos (Gallego, 2008; ANECOOP, 2013): a) reuniones con técnicos de las cooperativas de primer grado; b) establecimiento de protocolos y un sistema propio de buenas prácticas en almacén y en el ámbito productivo (*producción integrada*) y c) visitas a las centrales citrícolas de las cooperativas por un equipo de técnicos para fiscalizar y asesorar sobre buenas prácticas.

Estos técnicos de ANECOOP se convierten en el vehículo de la visión y estrategia de la organización de segundo grado en lo relativo a cómo se relaciona toda la organización con el entorno (mercadológico y tecnológico), impulsando un proceso de selección interna de rutinas. Junto a esta labor de formación y de difusión de innovación técnica desde ANECOOP a las cooperativas de base, también se encuentra una labor de formación sociocultural que es esencial para lograr una "progresiva mayor implicación del socio con las cooperativas" (Chaves, 2003). Esto último, unido al reforzamiento de la interacción con ANECOOP de los directivos y consejos rectores de las cooperativas asociadas a ANECOOP, es esencial para intensificar el sentido de pertenencia, aceptar las reformas estructurales en las cooperativas (Meliá y Marí, 2013) e interiorizar la visión y estrategia de ANECOOP.

*Ámbito 2. Relación entre investigadores y técnicos en proyectos de investigación y formación*

Buena parte de la investigación de ANECOOP con universidades y centros de investigación se realiza en las propias centrales citrícolas de las cooperativas, dado que ANECOOP cuenta con campos de experiencias pero carece de instalaciones propias de acondicionamiento de la fruta. Este proceso también tiene lugar en el ámbito de la producción, ya que a) las cooperativas de base se responsabilizan directamente de la calidad, seguridad alimentaria y respeto medio ambiental de la producción de los socios (agricultores), lo que supone que van a contar con la mayoría de los técnicos de las ATRIAS y ADVS y además b) las cooperativas poseen los principales campos de experimentación del sector (Gallego, 2008). Todo esto ha generado una re-

lación interactiva y sinérgica entre los técnicos y los investigadores gracias al carácter aplicado de la investigación en múltiples campos (plagas y enfermedades, fisiología vegetal, etc.), en los que se dirime la calidad, la seguridad alimentaria y el medio ambiente. De este modo, no sólo los técnicos requieren de la interacción con los científicos, sino que en el avance del conocimiento de estos últimos es esencial contar con una red de campos de experimentación y de técnicos de elevado nivel, para poder experimentar nuevos productos y técnicas de cultivo y de manejo contra plagas, etc., y para poder tener un *feed-back* de los mismos. Relación simbiótica, que comporta una creciente integración entre las CP y las CE, y que es además esencial en la generación de relaciones informales estables entre investigadores y técnicos de las cooperativas (Gallego, 2009).

Esta creciente proximidad entre investigadores y técnicos se refuerza con la formación. Por ejemplo, desde 1989 la Federación de Cooperativas Agrarias de la Comunitat Valenciana (FECOAV) viene realizando un curso de producción integrada para técnicos con conocimientos de agronomía de las cooperativas, impartido por expertos de la universidad, centros de investigación y administración pública. Este curso anual se revela un foro esencial para la interacción sistemática y la generación de confianza entre técnicos del sector, profesores de universidad y expertos y responsables en la materia en las administraciones públicas y, por tanto, un vivero de capital social.

*Ámbito 3. Grupo nacional de trabajo de cítricos. Relación entre investigadores, técnicos de administraciones públicas y empresas de la cadena de valor*

Los grupos nacionales de trabajo en diversos cultivos fueron creados por el Ministerio de Agricultura en los años 70 para coordinar a las diferentes regiones españolas en materia de plagas y enfermedades. El Ministerio regula y coordina en este ámbito y las Comunidades Autónomas tienen la competencia y la experiencia en la aplicación de los conocimientos y las normas legales. Estos grupos integran tres tipos de actores. Primero, representantes de las administraciones públicas, estatal y autonómica. Suelen ser mandos intermedios de perfil técnico. Un segundo actor está formado por expertos investigadores y técnicos de las ATRIAS, normalmente de las cooperativas. En el caso del grupo de trabajo de cítricos, todos los investigadores valencianos proceden del IVIA o de la UPV. En tercer lugar, también participan puntualmente técnicos y/o comerciales de las empresas de productos fitosanitarios. El grupo de cítricos está formado por unas veinte personas, de las que la Comunitat Valenciana aporta una cuarta parte dado su peso en el sector citrícola. Los grupos hacen recomendaciones de productos para la lucha contra plagas y enfermedades. También fijan reglas y estándares, por ejemplo en lo relativo a la producción integrada. Sus decisiones no son legalmente vinculantes, pero sí vinculan moralmente por la forma en que se alcanzan.

En las reuniones anuales, los grupos se reparten los trabajos a realizar entre los técnicos de la administración y de las ATRIAS y los investigadores de las diferentes regiones. Es decir, la verificación de la eficacia, respeto al medioambiente y a la salud de las personas de los nuevos productos fitosanitarios que aspiran a ser registrados, así como la realización de ensayos sobre la eficacia de diversos productos y sobre técnicas de manejo novedosas, tales como la confusión sexual. A partir de este trabajo, el grupo realiza sus recomendaciones tanto en el ámbito del registro de producto como en los Boletines de Avisos de las comunidades autónomas. Esta labor en momentos de normalidad se combina con una labor excepcional como *gabinete de crisis* cuando surge una nueva plaga desconocida, estableciendo la forma de afrontarla y la orientación subsiguiente de la investigación.

Los resultados de los grupos de trabajo contribuyen a formar la posición nacional que defiende la administración central española en las instituciones internacionales, al tiempo que legitiman una perspectiva epistémica y un enfoque de manejo contra las plagas y enfermedades en las instituciones internacionales. Esta gran influencia de estos grupos de trabajo proviene de que en su interior se genera una fuerte integración multilateral entre CP y CE, en el sentido de que se ven involucrados no únicamente los técnicos de las cooperativas y de los centros de formación y de investigación, sino también de otros subsectores de la cadena de valor y. sobre todo, las propias administraciones públicas, central y autonómica y, por consiguiente, la política de innovación.

Hay que tener en cuenta que la inmensa mayoría de técnicos e investigadores participantes son ingenieros agrónomos, de forma que comparten la misma episteme al tiempo que han mantenido fuertes relaciones profesor-alumno, todo lo cual contribuye a la cohesión, confianza y proximidad cognitiva entre ellos que favorece la cooperación. Máxime teniendo presente que, como nos indica un miembro del Grupo de Cítricos "dentro de los ingenieros agrónomos, la sanidad vegetal es un campo muy específico, con canales de acceso al empleo específicos y personal con larga experiencia". Ello genera una identidad propia dentro de la CP en sanidad vegetal y que desborda la frontera entre técnicos e investigadores. Esto reproduce así, sobre una base ampliada, la lógica de la interacción sinérgica y simbiótica entre técnicos (de cooperativas) e investigadores analizada en el apartado anterior.

Las cooperativas juegan un papel esencial en todo este proceso. En primer lugar, participan directamente en este grupo de cítricos y en la generación de los resultados del grupo, que pueden ser considerados innovaciones de producto (fitosanitarios) y de proceso (manejo) contra plagas. En segundo lugar, contribuyen directamente a la generación de estos resultados a través de la realización en sus campos de experimentación de los ensayos del grupo. En tercer lugar, los mandos intermedios de las consejerías de agricultura organizan reuniones de coordinación con las ATRIAS (formadas por cooperativas y otras formas de organización colectivas), para transmitirles los resultados de las reuniones de los grupos. Las ATRIAS son pues una vía directa de acceso de los agricultores a los resultados de estos grupos. En definitiva, las cooperativas son esenciales tanto en la generación de innovaciones como en su *difusión*, con el consiguiente *feed-back* creativo que supone esta difusión.

## Discusión

Los sistemas agroalimentarios se enfrentan al reto de pasar de ser sistemas territoriales de producción (STP) a ser sistemas territoriales de producción y de innovación (STPI). Una primera precisión conceptual que aporta el artículo en el ámbito de la literatura sobre innovación en STPI, es suponer que para tener éxito en este envite es esencial comprender que, dado que los STP albergan una gran heterogeneidad empresarial, resulta esencial que los actores intermediarios participen al propio tiempo en el sistema productivo y presenten suficiente capacidad de liderazgo para conducir, presionar, implicar y ayudar a mejorar a las empresas del resto del colectivo empresarial. Esto es lo que permite comprender y conceptuar el enfoque evolutivo micro-meso-macro que sitúa en el ámbito meso-económico el espacio donde se conforman los cambios. Ello se produce a través de un cambio en las prácticas tecnológicas, organizativas e institucionales que definen las meso-reglas genéricas. Y una aportación del presente artículo es tratar de ofrecer una

articulación conceptual entre este enfoque con el enfoque de las comunidades de práctica (CP) y comunidades epistémicas (CE), con el fin de poder representar el cambio en los sistemas agroalimentarios hacia STPI. En efecto, las meso-reglas se van a definir esencialmente a través de las CP y de las CE, que desbordan el ámbito de las empresas (y también de otras instituciones científico-tecnológicas) y permiten una articulación entre los actores que conforman el STPI. En especial, cuando las meso-reglas suponen un nuevo tipo de rutinas y procedimientos que incorporan en mayor grado el conocimiento científico, entonces se impone la generación de nuevos conocimientos que desbordan las fronteras entre CP y CE. La visión colectiva que emana de los procesos de emprendimiento colectivo (producto de la interacción entre actores) es la que impulsa estos cambios.

Y en este marco, la principal idea-fuerza del artículo es que las cooperativas de segundo y ulterior grado son capaces de impulsar un cambio en las meso-reglas gracias a su capacidad de disciplinar, implicar y ayudar a las cooperativas socias para que adopten las nuevas rutinas. Todo ello gracias al modo genuino de gobierno que les caracteriza, a su fuerte cohesión interna y al elevado capital social que destilan las cooperativas cuando despliegan efectivamente sus valores propios. Esto supone la existencia de una tercera vía (cooperativa) hacia los STPI junto a las *Entrepreneurial Regional Innovation System* (basado en la dinámica de los *start-up*) y *los Institutional Regional Innovation Systems* (basados en el impulso de las administraciones públicas): el *Cooperative (Institutional) Regional Innovation Systems* para los sistemas agroalimentarios. Este tipo de sistemas se basarían, de un lado, en el impulso empresarial de las cooperativas de segundo y ulterior grado. Y, de otro, en que dicho impulso y la propia organización y cohesión interna cooperativa crearían bases muy apropiadas para la implementación de la política pública de innovación, en la medida que proporcionaría un canal eficaz para difundir la meso-regla genérica.

Siguiendo esta perspectiva, la principal aportación empírica del artículo es haber mostrado el proceso de conformación de un modelo cooperativo de sistema de innovación a través de la organización impulsada por ANECOOP de una arquitectura institucional de relaciones interactivas de diferente grado de complejidad entre cooperativas y entre éstas y otros actores científico-tecnológicos, que constituyen el vehículo de la transformación territorial a través de la redefinición entre las CP y CE. ANECOOP ha impulsado una visión y un proceso de emprendimiento colectivo que presiona a (y eleva las competencias de) las cooperativas de base, al tiempo que les ofrece la ayuda necesaria para responder a sus exigencias. Este acicate a la mejora continua y esta garantía de comercialización en mercados exigentes que supone para los agricultores la pertenencia de sus cooperativas a ANECOOP, sugiere una dimensión esencial para comprender el comportamiento y la satisfacción de los agricultores socios de las cooperativas y que sin embargo queda fuera de los análisis en términos de racionalidad plena e individual (Arcas *et al*., 2013). El artículo evidencia cómo a partir del esfuerzo investigador de ANECOOP se ha desarrollado un proceso en espiral de complejidad creciente que ha supuesto el establecimiento de relaciones estables entre técnicos de cooperativas e investigadores de los centros de investigación regionales y la dinamización de instituciones multilaterales. En estas últimas las administraciones públicas encuentran no sólo las redes de la cooperativa de segundo grado para desplegar su política de innovación. También se encuentra un espacio de co-evolución y de integración entre las comunidades de práctica y las comunidades epistémicas que legitima mutuamente la posición de los actores parti-

cipantes gracias a la generación colectiva del conocimiento, un aspecto esencial en las políticas públicas. Así el artículo cumple su objetivo empírico esencial el cual era ofrecer una vía genuinamente cooperativa del paso de un sistema territorial de producción a un sistema territorial de producción y de innovación en la citricultura valenciana.

## Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo financiero del Ministerio de Ciencia e Innovación (MICINN) (Proyecto DER2009-14462-C02-02) y J. R. Gallego Bono agradece el apoyo financiero de la Fundación Bancaja y del *Labex-Med* (Les sciences humaines et sociales au cœur de l'interdisciplinarité pour la Méditerranée) de la Aix-Marseille Université para realizar en 2013 una estancia de dos meses en el LEST (Laboratoire d'Économie et Sociologie du Travail) de Aix-en-Provence, así como la ayuda de la profesora Annie Lamanthe durante la misma. Los autores también agradecen las sugerencias de los evaluadores anónimos que han permitido mejorar el artículo.

## Bibliografía

ANECOOP (2013). Anecoop memoria RSC 2011/2012, Valencia, Anecoop, S. Coop. Disponible en http://www.anecoop.com/ (22 marzo 2013).

Arcas N, Hernández M (2013). Tamaño y competitividad: experiencias de crecimiento en las cooperativas agroalimentarias españolas, Almería, Cajamar Caja Rural.

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

Becattini G (1994). El distrito marshalliano: una noción socio-económica. En: Las regiones que ganan (Eds. G Benko, A Lipietz), pp. 39-57. Valencia: Ed. Alfons el Magnànim.

Caniels MCJ, Van den Bosch H (2011). The role of higher education institutions in building regional innovation systems. Papers in Regional Science 90(2): 271-287.

Campos V, Apetrei A, Chaves R (2012). Delphi method applied to horticultural cooperatives. Management Decision 50(7): 1266-1284.

Carbonara N (2004). Innovation process within geographical clusters: A cognitive approach. Technovation 24(1): 17-28.

Chaves R (2003). El desarrollo agrario a través del cooperativismo. El caso de la cooperativa agraria Anecoop S. Coop. En: Elementos de economía social (R Chaves, JL Monzón, A Sajardo), pp.107-116. Valencia: Universidad de Valencia.

Cohendet P, Llerena P (2003). Routines and incentives: the role of communities in the firm. Industrial and Corporate Change 12 (2): 271-297.

Cooke P (2003). The regional development agency in the knowledge economy: boundary crossing for innovation systems. Prepared for European Regional Science Association Annual Conference - "Peripheries Centres and Social Development in the New Europe", Jyväskylä, Finlandia, 27 al 30 de Agosto.

Corò G, Micelli S (2007). Industrial districts as local systems of innovation, Working Paper, Nº 6, Departament of Economics, Ca' Foscani University of Venice (http://admin.unive.it/media/allegato/DIP/Economia/Working_papers/Working_papers_2007/WP_DSE_coro_micelli_06_07.pdf) (Consultado 26/05/2013].

Dei Ottati G (2003). Exit, voice and the evolution of industrial districts: The case of the Post-World War II economic development of Prato. Cambridge Journal of Economics 27 (4): 501-522.

Dopfer K, Foster J, Potts J (2004). Micro-meso-macro. Journal of Evolutionary Economics 14(3): 263-279.

Dunlop CA (2013). Epistemic Communities, En: Routledge Handbook of Public Policy (Eds M

Howlett, S Fritzen, W Xun, E Araral). Chap.8, New York Routledge.

FAO (2012). Food and Agriculture Organization Citrus Fruit Fresh and Processed Annual Statistics 2012. Disponible en http://www.fao.org/fileadmin/templates/est/COMM_MARKETS_MONITORING/Citrus/Documents/CITRUS_BULLETIN_2012.pdf (14 diciembre 2014).

FAO (2014). Food and Agriculture Organization statistical database. Disponible en http://faostat.fao.org/dafault.aspx (22 octubre 2014).

Filippi M, Triboulet P (2006). Typologie des comportements à innover des coopératives agricoles.Une étude en région Midi-Pyrénées. Économie Rurale 296: 20-38.

Font de Mora L (2003). Anecoop, primera empresa hortofrutícola del Mediterráneo. Revista Valenciana de Economía y Hacienda 7(1): 169-197.

Foster J, Metcalfe JS (2012). Economic emergence: An evolutionary economic perspective. Journal of Economic Behavior and Organization 82(2-3): 420-432.

Gallego JR (2008). Economía social y dinámica innovadora en los sistemas territoriales de producción y de innovación. Especial referencia a los sistemas agroalimentarios. CIRIEC España, Revista de Economía Pública, Social y Cooperativa 60: 7-40.

Gallego JR (2009). La articulación local-global de sistemas territoriales de producción y de innovación. Revista de Estudios Regionales 84 (1): 53-82.

Giagnocavo C, Gerez S, Campos V (2014). Paths to cooperative survival: structure, strategy and regeneration of fruit and vegetables cooperatives in Almeria and Valencia, Spain. Annals of Public and Cooperative Economics 85 (4): 617-639.

Hirschman AO (1970). Exit, voice, and loyalty: responses to decline in firms, organizations and states. Cambridge (MA): Harvard University Press.

Iliopoulos C (2013). Public policy support for agricultural cooperatives: an organizational economics approach. Annals of public and cooperative economics 84 (3): 241–252.

Julià JF, Melià E, García G (2012). Strategies developer by leading EU agrifood cooperatives in their growth models. Service business 6(1): 27-46.

Knudson W, Wysocki A, Champagne J, Peterson HC (2004). Entrepreneurship and innovation in the agri-food system. American Journal of Agricultural Economics 86 (5): 1330-1336.

Laborda R (2012). Comparación de la abundancia y biodiversidad de artrópodos auxiliares entre parcelas de cultivo ecológico y convencional, en plantaciones de cítricos, caqui y nectarina. Tesis Doctoral, Valencia. Universitat Politècnica de València. 174 pp.

Laursen K, Masciarelli F, Prencipe A (2012). Regions matter: How localized social capital affects innovation and external knowledge acquisition. Organization Science 23 (1): 177-193.

Lundvall BA (1992). National system of innovation. Toward a theory of innovation and interactive learning. London y New York.

MAGRAMA (2013). Anuario de Estadística Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente 2012. Subsecretaría General Técnica, Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 1137 pp.

Meliá E, Marí S (2013). Anecoop. Ejemplo de éxito de gestión cooperativa y global. En: Tamaño y competitividad. Experiencias de crecimiento en las cooperativas agroalimentarias españolas (Dirs N Arcas, M Hernández), pp.105-129. Almería, Cajamar Caja Rural.

Navarro L, Juárez J (2000). Aplicaciones de la biotecnología en cítricos y en otros cultivos. Comunidad Valenciana Agraria 17: 3-12.

Nelson RR, Winter S (1982). An evolutionary theory of economic change. Cambridge (MA): Harvard University Press.

Nilsson J, Van Dijk G (eds.) (1997). Strategies and structures in the agro-food industries, Assen, Van Gorcum.

Piore M, Sabel C (1984). The second industrial divide: possibilities for prosperity. New York: Basic books.

Planells JM, Mir J (2004). Grupo empresarial Anecoop. Origen y desarrollo. En: Economía Social. La actividad económica al servicio de las personas. (Coord. JF Juliá), Mediterráneo Económico 6: 386-402.

Schumpeter JA (2002). Ciclos económicos. Análisis teórico, histórico y estadístico del proceso capitalista. Zaragoza. Prensas Universitarias de Zaragoza (V.O. 1939).

Spear R (2001). The cooperative advantage. Annals of Public and Cooperative Economics 71(4): 507-523.

Spear R (2004). El gobierno democrático en las empresas cooperativas. CIRIEC-España, revista de economía pública, social y cooperativa 48: 11-30.

Temblay DG, Klein JL, Dossou A (2012). Les acteurs intermédiaires dans le développement de l'innovation. Revue d'Économie Régionale & Urbaine 3: 431-454.

Tomás Carpi JA, Gallego JR, Picher JV (1999). Cambio tecnológico y transformación de sistemas industriales localizados: la industria cerámica española. Información Comercial Española 781: 45-68.

Torre A, Wallet F (2013). Innovation and governance of rural territories. En: Renewing innovation systems in agriculture and food (Eds. E Coudel, H Devautour, CT Soulard, G. Faure, B Hubert), pp. 147-164, Wageningen Academic Publishers.

Wenger E (2001). Comunidades de práctica. Barcelona: Paidós.

Werker C, Athreye S (2004). Marshall's disciplines: knowledge and innovation driving regional development and growth. Journal of Evolutionary Economics 14(5): 505-523.

Witt U (1998). Imagination and leadership – The neglected dimension of an evolutionary theory of the firm. Journal of Economic Behavior and Organization 35(2): 161-177.

Zeitlin J (2008). Industrial districts and regional clusters. En: The Oxford Handbook of Business History (Eds. G Jones, J Zeitlin), pp. 219-243. Oxford University Press.

(Aceptado para publicación el 7 de febrero de 2015)

# Estudio sobre la maximización del beneficio de las empresas productoras de limones teniendo en cuenta la fecha de cosecha de los frutos

J.M. Brotons[1,*], F.J. Manera[2], A. Conesa[3] y I. Porras[4]

[1] Departamento de Estudios Económicos y Financieros. Universidad Miguel Hernández. Avda. de la Universidad, s/n, 03202. Elche. Alicante
[2] Departamento de Física y Arquitectura de Computadores. Universidad Miguel Hernández. Ctra. de Beniel, km 3,2. 03312 Orihuela. Alicante
[3] Departamento de Producción Vegetal y Microbiología. Universidad Miguel Hernández. Ctra. de Beniel, km 3,2. 03312 Orihuela. Alicante
[4] Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Alimentario (IMIDA). Estación Sericícola. 30.150, La Alberca (Murcia)

**Resumen**

En las variedades de limón Fino o Primofiori la recolección se suele realizar en dos cortes, en el primero se recolecta únicamente la fruta que alcanza el calibre adecuado y en el segundo se recolecta todo el limón que queda en el árbol. Los precios suelen ser decrecientes durante la fase de recolección. Por otra parte hay que tener presente que el calibre de los limones no deja de crecer durante dicho periodo. Para determinar el momento óptimo del primer corte, se ha medido semanalmente el calibre de los limones, su peso, y el porcentaje de limones aptos y se ha determinado en base a los precios facilitados por la Consejería de Agricultura de la Región de Murcia y el Ministerio de Agricultura el momento que permite al agricultor obtener unos mayores ingresos. Este momento de recolección se ha determinado tanto para el agricultor que vende su producción en el árbol como aquel que comercializa directamente sus producciones, para lo que se han considerado los precios de la Red de Mercas. Del trabajo se concluye que siempre que el aforo de la producción indique que hay menos de 600.000 t, los precios serán altos a lo largo de la campaña. Si el agricultor vende su cosecha a terceros le interesa dar un corte sobre la semana 44. Si se decide por recoger y vender su producción a la red MERCASA, obtendrá unos ingresos estables.

**Palabras clave:** Precios, coste, beneficio, crecimiento frutos, recolección.

**Abstract**
**Study on maximising profits obtained by lemon-producers based on fruit harvesting time**

The lemon varieties Fino and Primofiori are usually harvested in two lots, the first consisting of the fruit that has reached a suitable size and the second of all the fruit remaining on the tree. The prices tend to fall as the season progresses. It should not be forgotten that the size of the fruits does not cease to increase during this time so that one factor offsets the other. To determine optimal moment for the first harvest, fruit calibre and weight needs to be measured weekly and the percentage of lemons ready for market deter-

* Autor para correspondencia: jm.brotons@umh.es
http://dx.doi.org/10.12706/itea.2015.024

mined. The prices quoted by the Spanish Ministry of Agriculture and the Department of Agriculture of the Province of Murcia will help growers decide whether the time is right for harvesting from an economic point of view. In this work this moment is determined both for growers who sell their crop on the tree and those who sell their production directly, so that we also consider the prices of the Spanish transport and wholesale market network (MERCASA). From the study, we conclude that as long as total production remains below 600,000 tonnes, prices will be high throughout the campaign. If growers sell their production to a third party, the first harvest should be around week 44. If the growers decide to harvest themselves and sell their crop to the market network (MERCASA), their income will be more stable.

**Key words:** Lemon, prices, cost, benefits, fruit growth, harvesting.

## Introducción

La producción citrícola española se concentra en la costa Mediterránea, donde se produce casi el 95% de la producción. Su vocación es casi totalmente exportadora, con destino al mercado en fresco. De hecho España es el mayor exportador mundial de cítricos para consumo en fresco, ascendiendo el valor de las exportaciones en 2011 a 424 millones de dólares (FAO, 2014). El destino de las exportaciones va dirigido principalmente Alemania con 116.098 t y Francia con 102.472 t. Los siguientes países exportadores en importancia para el mercado en fresco son Turquía y México con 354 y 269 millones de euros, respectivamente.

En cuanto a la producción de limón, se produce casi el 80% en el sureste peninsular (MAGRAMA, 2014a). La variedad más importante es el limón Fino que es una variedad de otoño invierno (Porras, 2014).

Pese a la importancia de los cítricos en la economía nacional, de acuerdo con Caballero *et al*. (2011) este sector presenta graves problemas de competitividad derivados de la comercialización y de la estructura productiva. En particular,

1. En el ámbito mayorista, las estructuras comerciales locales (empresas y cooperativas) presentan una dimensión insuficiente frente al oligopolio en la UE constituido por un reducido número de grandes cadenas comerciales.
2. La existencia de acuerdos de asociación de la UE con terceros países, que se van renovando uno tras otro y cada vez con mayores concesiones perjudiciales para el sector citrícola. Los países más perturbadores para el sector citrícola español son Marruecos, Egipto y Turquía.
3. En el aspecto estructural, la división de la propiedad tiene menores inconvenientes en Andalucía y Murcia, pero es de claro minifundio en la Comunidad Valenciana. Una de las inevitables consecuencias es la existencia de una citricultura de costes altos.

En este mismo estudio se destaca la importancia de la mano de obra especialmente en la recolección y acondicionamiento de la fruta que supone algo más del 30% de los costes totales. Por su parte, García (2014) indica que el personal fijo es asimilable en la mayoría de los casos al agricultor propietario de la tierra, realizando las labores de suministro de factores de producción tales como abonos y fitosanitarios, manejo y mantenimiento del riego y la fertilización, apoyo a la recolección y transporte, a la poda y recogida de la misma, etc.

Son numerosos los estudios que se han llevado a cabo sobre los costes de producción del limón como el estudio de O'Connell *et al*. (2010) donde se analizan los costes de producción de los limones en Florida, y se detallan los costes de establecimiento y anuales de producción; Ozkan *et al*. (2004) en Turquía, incide especialmente en el consumo de energía.

Con respecto a los costes de manipulación, conviene destacar el análisis llevado a cabo por la Asociación Murciana de Productores Agrarios (AMOPA, 2006), en el que se detallan los costes de los procesos de producción agrícola y de transformación (manipulación y confección) de las principales orientaciones hortofrutícolas de la Región de Murcia.

Con respecto a la cadena de formación de valor y formación de precios del sector citrícola, el Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino (2012) indica que la considera formada por cuatro etapas en cada una de las cuales se realizan actividades con distintos niveles de sofisticación:

1. Producción. Incluye producción y recolección, aunque hay que indicar que esta última es asumida habitualmente por el comprador. Los productores suelen ser agricultores o cooperativas, sociedades agrarias de transformación o sociedades agrarias.
2. Comercialización en origen. Incluye actividades del tipo de gestión de cítrica, lavado, pesado, paletización, desverdizado, control, trazabilidad, etc. Lo llevan a cabo las centrales hortofrutícolas, que son instalaciones de almacén y manipulado del producto. El enlace entre productores y las centrales hortofrutícolas es llevado a cabo en muchas ocasiones por corredores.
3. Comercialización en destino. Destacan la Red de Mercas, que son agentes asentados en mercados municipales en los que se gestiona de manera diaria la recepción y venta de productos, los intermediarios, y las cooperativas de segundo grado.
4. Venta en tienda que incluye tanto la tienda tradicional como la distribución moderna en base a grandes superficies.

A partir de estas cuatro etapas, queremos destacar el flujo tradicional en la que el producto pasa por cada una de las cuatro etapas de la cadena y la configuración moderna en la que el producto pasa directamente de la comercialización en origen a la venta en tienda, supermercado o hipermercado. En la configuración tradicional, el precio de salida mayorista para el limón se encuentra entre 0,817 y 1,109 €/kg, siendo su coste acumulado entre 0,651 y 0,815 €/kg, y el precio en el árbol entre 0,27 y 0,426 €/kg. Por su parte, la configuración moderna presenta los mismos precios en el árbol, y un precio de salida de la plataforma de comercialización en destino de 0,859 y 1,179 €/kg, con un coste acumulado entre 0,708 y 0,916 €/kg. En esta última configuración de la cadena de valor, los costes en la comercialización, de acuerdo con el citado estudio, se estiman entre 0,349 y 0,424 €/kg. Se trata de valores medios de las distintas empresas consultadas y de todo el año (MAGRAMA, 2014b).

Los costes de desverdizado se incluyen en el apartado de coste de confección, que se sitúa entre 0,135 y 0,152 €, lo que supone alrededor del 40-45% del coste total de comercialización. Hay que tener presente que en la mayor parte del año, la fruta se recolecta del árbol en su color característico, pero hay una parte de la campaña en que la recolección se realiza en verde, por lo que hay que someterla al proceso de desverdizado. Sin embargo, pese a la abundancia de estudios sobre los costes de los cítricos, no existe bibliografía que analice la incidencia de los costes de desverdizado a lo largo de la campaña, y ello pese a que al inicio de la misma, cuando la fruta está verde, este coste puede llegar a suponer casi el 50% del coste de confección.

El objeto de este trabajo es determinar el momento óptimo de la recolección del limón que permita maximizar el beneficio para el agricultor, que se obtiene por diferencia entre los ingresos y los gastos. Para ello se van a considerar la evolución de las siguientes variables durante el periodo de recolección (15/9 a 31/12), además de considerar la estimación de la producción nacional para cada año,

1. Tamaño y peso semanal del fruto.
2. Porcentaje de limones aptos para la recolección.
3. Precio medio semanal del limón, "un corte" (el primer corte), "todo limón" (el segundo y último corte) y los precios de la Red de Mercas.
4. Coste de recolección (asumido por el comprador).
5. Coste de desverdizado obtenido a partir de la estimación del índice de color y del número de días que se considera que debe estar en la cámara.

El estudio abarcará dos partes,

1. Se realizará para el agricultor, por lo que se considerará el precio medio semanal del limón, el tamaño y peso semanal del fruto y el porcentaje de limones aptos para la recolección.
2. Y de otra parte, se analizará como ejemplo de la comercialización en destino en la Red de Mercas, de los que el Ministerio de Agricultura ofrece información semanal sobre la evolución de sus precios de venta. En esta segunda parte del estudio se considerarán además del tamaño, peso y porcentaje de limones aptos para la recolección, el coste de recolección (que en la Región de Murcia, de donde se tienen los datos de la Red de Mercas, es asumido habitualmente por el agricultor) y el coste de desverdizado, que está presente en la mayor parte del periodo analizado.

Para la determinación del momento óptimo de recolección se utilizará un programa de optimización, metodología que ha sido ampliamente usados en la agricultura, en trabajos como Feinerman y Voet (1995) que obtienen el óptimo a largo plazo de la fertilización e irrigación de un cultivo perenne a través de dos modelos de optimización dinámica estocástica; o Salles y Gomes (2010) que desarrollan un modelo de optimización para las plantaciones de caña de azúcar usando una herramienta de planificación lineal; o Bartolini *et al*. (2007) que evalúan el impacto de la agricultura y los escenarios de la política del agua en la sostenibilidad de una selección de sistemas de irrigación de fincas en Italia. Los problemas y limitaciones de la programación lineal para el sector agrícola y también son analizados en Bauer y Kasnakoglu (1990).

La aplicación particular para el sector citrícola ha sido realizada, entre otros por Caixeta-Filho (2006) que considera la competitividad del sector en Brasil como una función del control de calidad en la transformación de la fruta en zumo. Por su parte Axelrad y Feinerman (2009) usan un modelo que determina el óptimo de un "mix" entre cultivos y la asignación limitada de agua y tierras entre los potenciales usuarios. Finalmente Jin y Chun-jie (2009) concluyen que el incumplimiento de las hipótesis básicas del mercado de competencia perfecta como la irracionalidad en la formación de los precios de los cítricos y distribución del beneficio, reduce el interés de los productores y consumidores directamente, por lo que se debe establecer un mecanismo a largo plazo para mantener el firme crecimiento de la producción de cítricos y de los beneficios de los agricultores.

## Material y métodos

Para estudiar la evolución del calibre de los frutos de limón, se escogen 4 árboles en plena producción y buen estado sanitario de la variedad Fino (clon 49), se etiquetan al azar y se mide el calibre de 10 frutos (5 en la cara norte y 5 en la cara sur). A partir de la semana 38, se calcula el porcentaje de frutos por encima de 58 mm (García Lidón *et al*., 2003), es decir los que se consideran aptos para ser cortados.

De árboles próximos de la misma variedad se cogen 20 frutos semanales se calibran y pesan, para obtener el peso medio de los frutos calibrados en los 4 árboles.

Se han considerado dos situaciones: la primera, el agricultor produce la fruta y la vende en el árbol a un comercializador, en cuyo caso, realiza dos recolecciones, la primera aprovechando los precios altos de principio de campaña, y la segunda a finales de diciembre. La segunda situación el agricultor la recolecta, la procesa para su venta y la vende.

En el primer caso el agricultor hace dos cortes:

1. El primer corte se han tomado los precios denominados "un corte", que es la recolección de aquella fruta que presenta un calibre adecuado para la comercialización y que representa el precio pagado al agricultor en la finca por kilo de fruta, sin considerar gastos de corte ni de transporte.
2. Por su parte, para el segundo corte se ha tomado el precio "todo limón" y que tampoco incluye gastos de corte ni de transporte, y hacen referencia al precio pagado al agricultor por kilo por recolectar toda la fruta que queda en el árbol.

En el segundo caso, el agricultor es el que recolecta la fruta y manipula para su posterior venta. Se han considerado los precios facilitados por MAGRAMA (2014b) que hacen referencia al precio de venta en la Red de Mercas. Esta red pertenece a MERCASA que es una empresa pública de la Administración del Estado, que presta servicio público al conjunto de la cadena alimentaria, de manera especial en el escalón mayorista de alimentación fresca, facilitando la comercialización mayorista procedente de origen; al comercio minorista en todos sus formatos, a la hostelería independiente u organizada, y a las empresas de restauración social (MERCASA, 2014). El precio a que se vende ya lleva los gastos de recolección, desverdización, destrío, confección y transporte.

Los precios del primer y segundo corte se han obtenido a partir de la información facilitada por la Consejería de Agricultura de la Región de Murcia (CARM, 2014a).

En el presente trabajo se abordan los ingresos por hectárea, sus principales costes (que varían en función de la semana de recolección) y por último se determina la semana en que habrá que realizar el primer corte para que los beneficios sean máximos.

## Ingresos por hectárea

Para determinar los ingresos por hectárea de este tipo de explotaciones se han efectuado los siguientes pasos:

1. Se ha estimado la relación existente entre precios "un corte" ($P_a^{IC}$) y número de semana (x).
2. De la misma forma se ha estimado la relación entre precios de la Red de Mercas y el número de semana.
3. La relación entre el tamaño los frutos g(x) y el número de semana ha sido considerada.
4. Los ingresos del agricultor no sólo vienen determinados por el peso de los frutos sino también por el porcentaje de limones aptos para recolección, Ap(x). Su relación con el número de semana ha sido estimada.
5. En base a las anteriores estimaciones pueden estimarse los ingresos del agricultor, $I_a(x)$ como la suma de,
   a) Los ingresos del primer corte, que son el producto del precio del limón para el agricultor "un corte" en la semana x, $(P_a^{IC})(x)$ por los kilos recolectados, que son los que resultan de multiplicar la producción total esperada (PT) por el porcentaje que el peso de la semana "x", g(x) representa sobre el peso de la semana 52, g(x)/g(52) y por el porcentaje de limones aptos de la semana x, Ap(x).

b) Los ingresos del segundo corte, que son el peso de los restantes frutos en la semana 52 al precio de "todo limón" de dicha semana. $P_a^{TL}$ (52).

$$I_a(x) = P_a^{1C}(x) \cdot PT \cdot \frac{g(x)}{g(52)} \cdot Ap(x) + P_a^{TL}(52) \cdot PT \cdot \left(1 - \frac{g(x)}{g(52)} \cdot Ap(x)\right) \quad [1]$$

Costes por hectárea

En particular se han estimado los siguientes costes:

1. Los costes de recolección. Se obtienen de una encuesta a 15 comercializadores de limón. Los precios dados por todos ellos son muy similares, ya que vienen regulados por convenio y pueden variar si se utiliza el sistema a destajo. El coste varía a lo largo de la campaña bajando progresivamente a medida que avanza, como consecuencia de haber mayor número de frutos por recolectar y porque a principio de campaña el número de piezas aptas para recolectar es menor y al estar el fruto verde se debe de recolectar con más cuidado para evitar golpes, que aparecerán en formas de manchas después del proceso de desverdizado. Por ello, estos costes, R(x), se han estimado como una función lineal negativa de la semana x.
2. Costes de desverdizado, D(x). De acuerdo con Conesa *et al*. (2014) el coste de desverdizado depende del color que presente el fruto en el momento de la recolección. Estos autores llegan a predecir el coste de desverdizado en una fecha determinada de la siguiente forma:
   a. Estiman el índice de color para una fecha determinada en la Región de Murcia en función de los datos históricos de que disponen.
   b. A partir del índice de color estiman el número de días que habrá que tener en cámara de etileno la fruta para que alcance color característico.
   c. Por último, multiplicando el coste diario de la cámara de etileno por el número de días estimado que ha de estar la fruta en dicha cámara se realiza una estimación de dicho coste
3. Coste de producción total para el agricultor.
   a. Si la venta se realiza en el árbol, $C_a(x)$.
   b. Coste total para el agricultor si lo vende en la Red de Mercas, $C_C(x)$, y varía a lo largo del tiempo. Incorpora:
      i. El coste fijo anterior ($C_a(x)$) con independencia de la fecha de recolección.
      ii. El coste del primer corte que se aplica sobre los kilos recolectados en el primer corte y que son el resultado de multiplicar la producción total por el porcentaje de limones aptos, y ponderados por el cociente entre el peso del limón en la fecha de corte y el peso al final de la campaña $PT \cdot \frac{g(x)}{g(52)} \cdot Ap(x)$, que incluye el coste fijo (cf), de recolección (R(x)), de desverdizado (D(x)) y la comisión ($c_v$) sobre el precio de venta en la red de Mercas, $P_M(x)$, que asciende a $c_v \cdot P_M(x)$ €/kg.
      iii. El coste del segundo corte, que ya no incluye desverdizado por tener la fruta su color característico, y que se aplica exclusivamente sobre los limones no recolectados en el primer corte, $PT \cdot \left(1 - \frac{g(x)}{g(52)} \cdot Ap(x)\right)$.

$$C_C(x) = C_a(x) + PT \cdot \frac{g(x)}{g(52)} \cdot Ap(x) \cdot \left[cf + R(x) + D(x) + c_v \cdot P_M(x)\right] + \\ + PT \cdot \left(1 - \frac{g(x)}{g(52)} \cdot Ap(x)\right) \cdot \left[cf + R(52) + c_v \cdot P_M(52)\right] \quad [2]$$

Siendo g(x) el peso del limón medido en gramos en la semana x y Ap(x) el porcentaje de limones aptos.

Determinación de la semana del primer corte para maximizar los beneficios

Por último para la determinación de la semana de la primera recolección, hay que maximizar los beneficios, $B_a$ (x) definidos como una función de x. Como restricción se impone que el porcentaje de limones aptos para la recolección sea mayor del 40% (ya que en caso contrario no resulta rentable la recolección) y que la semana obtenida esté entre la 37 (segunda semana de septiembre) y la última del año, periodo en el cual los precios son decrecientes y la fruta que ya es apta para el consumo sufre un crecimiento continuo.

1. El programa de optimización que se plantea para el agricultor que vende directamente en el árbol es,

$$\text{Max } B_a(x) = PT \cdot \frac{g(x)}{g(52)} \cdot Ap(x) \cdot P_a^{1C}(x) + \\ PT \cdot \left[1 - \frac{g(x)}{g(52)} \cdot Ap(x)\right] \cdot P_a^{TL}(52) - C_a(x) \quad [3]$$

$$\text{s.a.} \quad Ap(x) \geq 0,4$$
$$37 \leq x \leq 52$$

2. Si se repite dicho programa para el agricultor que realiza la venta en la Red de Mercas, su beneficio, $B_C$(x) se obtiene de acuerdo con la siguiente expresión,

$$\text{Max } B_C(x) = PT \cdot \frac{g(x)}{g(52)} \cdot Ap(x) \cdot \left[P_M(x) \cdot (1 - c_v) - cf - R(x) - D(x)\right] + \\ PT \cdot \left[1 - \frac{g(x)}{g(52)} \cdot Ap(x)\right] \cdot \left[P_M(52) \cdot (1 - c_v) - cf - R(52)\right] - C_a(x) \quad [4]$$

$$\text{s.a.} \quad Ap(x) \geq 0,4$$
$$37 \leq x \leq 52$$

## Resultados y discusión

### Ingresos

#### *Precios del limón*

De acuerdo con los datos de MAGRAMA (2014b) la evolución semanal de los precios de las variedades Fino en origen (pagados al agricultor y que no incluyen ni recolección ni transporte) ha sido decreciente durante los años 2005 a 2013, salvo en los años 2007 y 2009 (Figura 1.A). En la figura 1.B se incluyen los precios medios de origen (un corte y todo limón) y los precios medios de la Red de Mercas durante el intervalo 2005-2013, excepto los años 2007 y 2009 que se consideran anómalos.

Como puede observarse:

1. El precio en la Red de Mercas se mantiene estable entre las semanas 38 y 43 (de mediados de septiembre a finales de octubre) por encima de los 0,90 €/kg, descendiendo después ligeramente hasta los 0,78 €/kg que se alcanzan a finales de noviembre (semana 48) y permaneciendo más o menos estables desde entonces hasta final de año.
2. Por su parte el precio "un corte" es el que más decrece en este periodo pasando de precios en torno a 0,44 €/kg a precios cercanos a 0,15 €/kg.
3. Por último, el precio "todo limón" también presenta una tendencia decreciente, pero más suave, pasando de 0,24 a 0,12 €/kg, que aunque supone una reducción del 50% respecto del precio inicial, el precio sólo se reduce en 0,12 €/kg en promedio.

Para una mejor comprensión de la disparidad en la evolución de los precios en los distintos años se debe tener en cuenta además las producciones anuales y sus precios a final de año. La Figura 2 muestra una relación muy elevada entre dichas variables ($R^2$ = 0,8783). Los dos años en que los precios "un corte" no han seguido una tendencia decreciente han sido los años 2007 y 2009 que se corresponde con años en los que la producción no ha alcanzado las 600.000 t y el precio ha sido claramente superior al resto. De esta forma, el agricultor puede tener una idea sobre la evolución del precio del limón. Para ello habrá de tener en cuenta en primer lugar las estimaciones realizadas sobre la cosecha. Si estas son superiores a 600.000 t, es de esperar que el precio a principio de campaña descienda de la forma en que se indica en la Figura 1.B. Si las previsiones apuntan a años con escasa producción, es de esperar que los precios aumenten a medida que nos acercamos al final de año. Aunque la producción es desconocida "a priori", se realizan estimaciones muy fiables a principio de campaña sobre los que el agricultor puede tomar las decisiones oportunas. Las previsiones sobre aforo de cítricos de la Región de Murcia pueden consultarse en la página web de la Consejería de Agricultura y Agua (CARM, 2014b). Por otra parte, la Asociación Interprofesional de Limón y Pomelo (AILIMPO), con sede en Murcia, que agrupa a 81 empresas productoras y comercializadoras a nivel nacional, realiza su aforo de cosecha y balance de cada campaña, que es publicado en su web www.ailimpo.com. Para el análisis de la fiabilidad de dichas previsiones se puede ir comparando anualmente el aforo con la producción real que se conoce a posteriori. Los datos de los aforos aportados por las Consejerías de Agricultura de las distintas Comunidades Autónomas, se ajustan mucho a las producciones reales finales.

En resumen, para entender el comportamiento de los precios podemos establecer la máxima de que si la producción es baja, los precios serán altos toda la campaña, mientras que si el mercado está adecuadamente abastecido, los precios seguirán un perfil descendente durante los meses de septiembre a diciembre. El precio medio semanal "un corte" del limón en el periodo 2004-2013, y sin tener en cuenta los años anómalos (2007 y 2009) evoluciona de acuerdo con la expresión, $y = 0{,}001x^2 - 0{,}1148x + 3{,}3197$, $R^2 = 0{,}9965$ , donde "**x"** denota el número de la semana del año, e "**y"** el precio del limón en euros/kg.

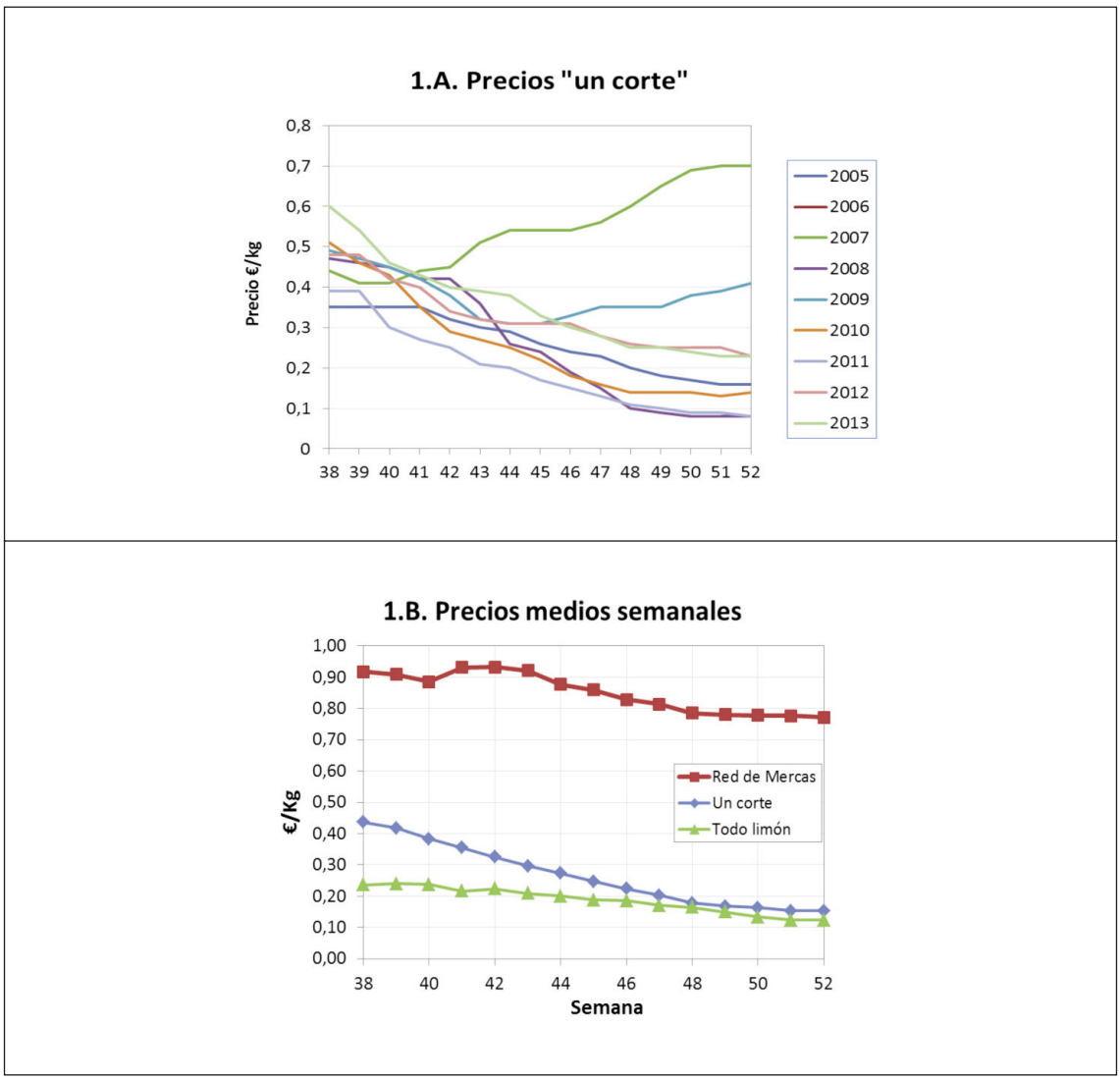



Figura 1. Precios semanales del limón en origen (un corte) y precios medios en origen (un corte y todo limón) y en MERCASA, sin considerar los años anómalos (2007 y 2009). Elaboración propia a partir de MAGRAMA (2014b) y CARM (2014a).

*Figure 1. Weekly prices of lemon at origin (one cut) and mean prices at origin (one cut and all lemon) and in MERCASA. Own chart based on MAGRAMA (2014b) and CARM (2014a).*

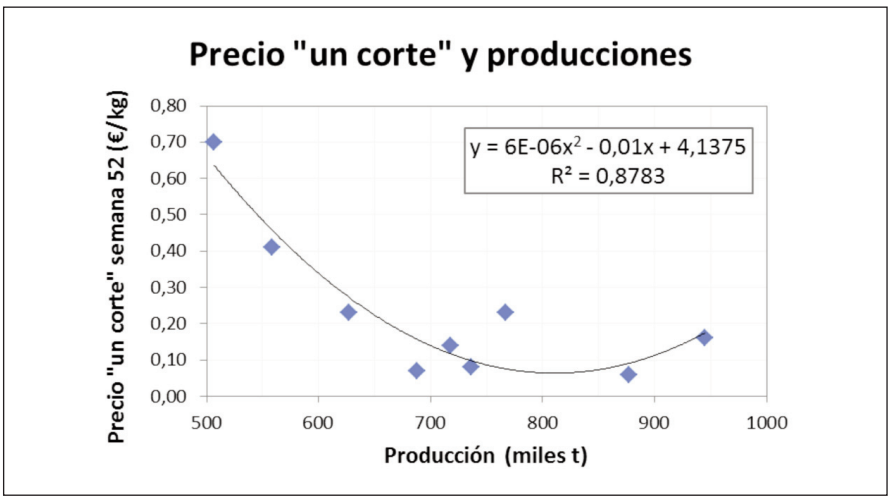



Figura 2. Relación entre producción de limones y precio semana "un corte", semana 51, (MAGRAMA, 2014b).
*Figure 2. Relation between lemon production and weekly price "one cut", week 51, (MAGRAMA, 2014b).*

*Crecimiento del fruto*

A la vista de la Figura 1, la primera cuestión a considerar sobre el momento óptimo de venta de la fruta depende de las previsiones de producción a principio de campaña, de forma que si se espera un año de producciones escasas, es recomendable esperar a final de campaña, pero si se espera suficiente producción, parece que la decisión más acertada para el agricultor es vender la fruta cuanto antes, pero hay que tener en cuenta otros factores, ya que el tamaño del limón va creciendo con lo cual gana en peso y calibre lo que hace que el porcentaje de limones aptos para la recolección aumente.

El diámetro del fruto desde la caída fisiológica de junio, aumenta de valores en torno a 25 mm hasta valores cercanos a 60 mm (Figura 3.A, en la que además se muestran las correlaciones entre peso y tamaño del fruto con el número de semana del año, en ambos casos superiores al 0,99), y aunque no fueron medidos los calibres iniciales del fruto, esta gráfica tiene una forma sigmoide similar a la que propuso previamente Bain (1958). De aquí se deduce que aunque el limón presente condiciones adecuadas para la recolección, con el paso de las semanas el fruto va ganando tamaño y si el precio se mantiene estable, los ingresos para el agricultor aumentarán. Resulta evidente que el aumento excesivo de tamaño también hará que los limones no resulten aptos para la venta. Por ello, y dado que no todos los limones evolucionan de la misma forma se ha estudiado la evolución de la cantidad de limones que presentan un tamaño adecuado.

Como puede apreciarse en la Figura 3.B, a partir de la semana 36 (principios de septiembre) algunos frutos comienzan a tener ya el calibre adecuado, porcentaje que va aumentado hasta alanzar valores en torno al 90% a finales de año (semana 50 o 51). La relación entre tamaño y número de semana es muy elevada, superior a 0,99.

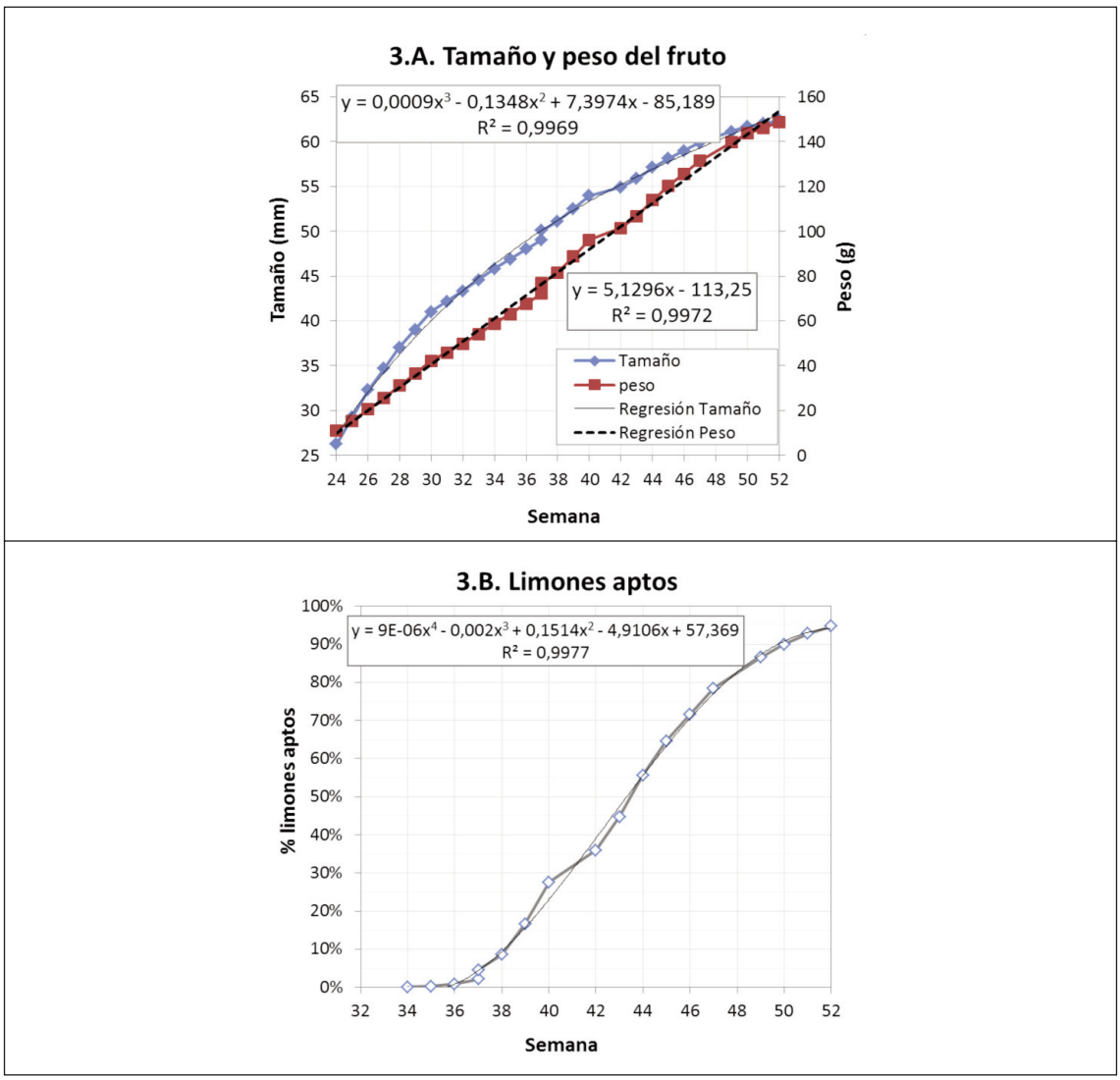



Figura 3. Tamaño del fruto por semanas, y porcentaje de limones aptos.
Valores medios de los años 2009 a 2012.
*Figure 3. Fruit size at different weeks and percentage of marketable lemons.*
*Mean values 2009 – 2012.*

*Ingresos*

Los ingresos por la venta de cítricos son la suma de los ingresos del primer y segundo corte. Con respecto al primero, hay que tener presente que con el paso del tiempo el tamaño de los limones aumenta, y en consecuencia, habrá un mayor número de los mismos con calibre comercializable, aunque su precio de venta será sensiblemente inferior. Por su parte, el segundo corte se ha supuesto a final de diciembre, por lo que su precio es el medio de la última semana del año. Resulta evidente que hay que diferenciar al agricultor que sólo produce de aquel que además comercializa su propia producción.

Para determinar el momento óptimo del primer corte del agricultor que exclusivamente produce, se ha estimado la relación entre el número de semana del año y el precio medio ("un corte") de los años normales de los que se dispone de información (2005 a 2013, con excepción del 2007 y 2009),

$$P_a^{1C}(x) = -0,001x^2 + 0,1148x - 3,3197,\ R^2 = 0,9961 \quad [5]$$

Donde x es el número de semana, y $P_a^{IC}(x)$ el precio por kilogramo de fruta "un corte" de la semana x.

Por su parte para estimar el momento óptimo del agricultor que además comercializa su producción se ha obtenido dicha relación para los mismos años (2005 a 2013, con excepción del 2007 y 2009) entre los precios medios de la red de Mercas $P_M(x)$ y el número de semana del año (x),

$$P_M(x) = 0,0003x^3 - 0,0375x^2 + 1,6859x - 24,056,\ R^2 = 0,943 \quad [6]$$

En ambos casos hay que tener presente que el peso del fruto crece de acuerdo con la siguiente ecuación, donde g(x) es el peso de un limón medio en gramos,

$$g(x) = 5,1296x - 113,25,\ R^2 = 0,9969 \quad [7]$$

Teniendo en cuenta el aumento de peso de acuerdo con la expresión [7], el porcentaje de limones aptos al principio es muy bajo, crece con el paso de las semanas, siendo, al final del periodo, la inmensa mayoría de los frutos aptos para la venta. A partir de los datos medios (Figura 3.B) se ha estimado la siguiente expresión para la evolución de los limones aptos para la venta (kg),

$$Ap(x) = 9\cdot10^{-06}x^4 - 0,002x^3 + 0,1514x^2 - 4,9106x + 57,369,\ R^2 = 0,9977 \quad [8]$$

Tras la estimación de estas tres variables (precios, peso y porcentaje de limones aptos), se han estimado los ingresos de una hectárea en función de la semana de recolección. Para ello se ha considerado una parcela de una hectárea con una producción media de 48.000 kg, que se alcanzan en la semana 52.

La estimación de los ingresos se ha realizado de acuerdo con la expresión [1]

$$I_a(x) = 48.000\cdot\frac{g(x)}{g(52)}\cdot Ap(x)\cdot P_a^{1C}(x) + 48.000\cdot\left(1-\frac{g(x)}{g(52)}\cdot Ap(x)\right)\cdot P_a^{TL}(52) \quad [9]$$

Para obtener los ingresos para agricultor que además comercializa la fruta, $I_M(x)$, bastaría con sustituir en la expresión [9] los precios en el árbol "un corte" y "todo limón" $P_a^{IC}(x)$ y $P_a^{TL}(52)$ por los precios en la Red de Mercas $P_M(x)$ y $P_M(52)$ respectivamente. La evolución de los ingresos por la venta en el árbol y en la Red de Mercas $I_a(x)$ y $I_M(x)$ puede observarse en la Figura 4. De dicha figura se deduce:

1. En cuanto a los ingresos para el agricultor que vende su producción en origen, a medida que se retrasa el primer corte sus ingresos aumentan, y ello pese a que el precio medio esperado es menor. Este incremento se mantiene hasta la semana 44-45 (segunda quincena de octubre), momento a partir del cual, el mayor tamaño alcanzado por los frutos ya no compensa el

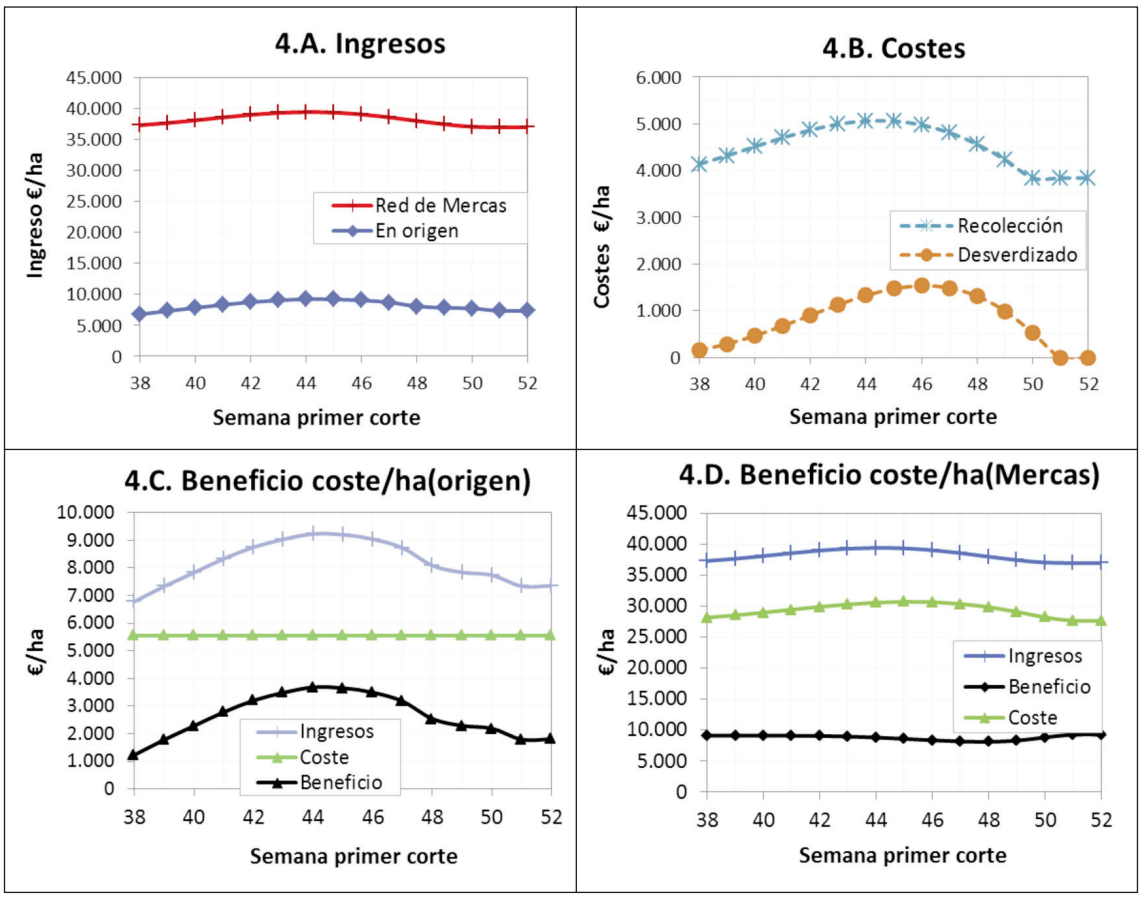



Figura 4. Evolución de los ingresos alcanzables semanalmente en origen y en la Red de Mercas para una hectárea de limón Fino con una producción estimada a final de año de 48.000 kg /ha. Coste semanal de desverdizado y recolección. Evolución de los ingresos, costes y beneficio por hectárea para el agricultor con venta en origen y con venta en la red de Mercas.

*Figure 4. Evolution of possible weekly income at origin and in the Mercas network for one hectare of Fino lemon with an estimated end of year production of 48,000 kg /ha. Weekly cost of degreening and harvesting. Evolution of income, costs and benefits per hectare of Fino lemon for grower selling at origin and in Mercas network.*

descenso de los precios, y los ingresos comienzan a descender. Téngase presente que los limones no recolectados en el primer corte, lo serán en el segundo en la semana 52, pero a un precio muy inferior.

2. Comportamiento similar presenta el agricultor que decida su venta en la Red de Mercas, a unos precios superiores, pero soportando unos costes mayores, aunque, la variación relativa es muy inferior. Hay que tener presente que aunque los ingresos sean superiores, también habrá de hacer frente a mayores gastos, que se analizan a continuación.

Costes

Al igual que en el caso de los ingresos, se considerarán los costes del agricultor exclusivamente como productor y para el caso en que realiza además la función de comercializador.

*Costes de producción y comercialización*

Para el caso del agricultor que realiza funciones exclusivas de productor, los costes de producción se consideran fijos, y no dependen del volumen recolectado. De acuerdo con García (2014) ascienden a 5.551,6 €/ha. Por otra parte los costes de comercialización, de acuerdo con el mismo autor, son directamente proporcionales a las cantidades recolectadas. Dicha estructura de costes permanece constante durante todo el periodo analizado y se muestra un resumen en la Tabla 1.

Para el agricultor que realiza además la función de comercialización, habrá de sumar a los costes anteriores, los propios de la distribución en destino que se muestran en la Tabla 1 (García y Contreras, 2014; García, 2014). En este caso, se han considerado que todos los costes son proporcionales al volumen comercializado y se han expresado en €/kg. En dicha tabla no se han considerado ni los cos-

Tabla 1. Costes de producción del limón Fino, anuales por hectárea y costes de comercialización del limón Fino por kilo en la Red de Mercas
*Table 1. Annual production costs per hectare of Fino lemon, and marketing costs per kilo of Fino lemon in Mercas network*

| Costes anuales de producción | €/ha | Costes de comercialización | €/kg |
|---|---|---|---|
| Poda anual | 523,4 | Transporte a almacén | 0,014 |
| Costes de maquinaria | 698,4 | Personal de gestión | 0,016 |
| Fitosanitarios | 258,0 | Personal de manipulación-confección | 0,093 |
| Fertilizantes | 711,6 | Material de embalaje y etiquetado | 0,096 |
| Herbicidas | 61,0 | Gastos de energía, agua, consumibles | 0,016 |
| Mantenimiento | 92,6 | Gastos generales | 0,03 |
| Energía eléctrica | 199,0 | Coste total unitario(€/kg) 0,265 | |
| Personal fijo | 1.583,4 | | |
| Riego | 1.424,2 | | |
| TOTAL | 5.551,6 | | |

Fuente: García y Contreras, 2014 y García, 2014.

tes de recolección ni los de desverdizado, que sólo los asume el agricultor si decide comercializarlos en destino, y que se analizan en los epígrafes siguientes.

*Costes de recolección*

De acuerdo con Analistas Económicos de Andalucía (2011) se han estimado unos costes de recolección, R(x), de 0,20 €/kg al inicio de la campaña (semana 38) y un decrecimiento de los mismos de forma lineal hasta los 0,08 al final del periodo considerado (semana 52). La expresión general de dichos costes es,

$$R(x) = -0,0092 \cdot x + 0,5415 \qquad [10]$$

Costes de desverdizado, D(x). Se han estimado a partir de la semana de recolección (x),

$$D(x) = \begin{cases} -0,723 \cdot x^2 + 59,822 \cdot x - 1172,912 & \text{si } x \leq 50 \\ 0 & \text{En otro caso} \end{cases} \qquad [11]$$

El coste de desverdizado es una función del tiempo, es decir a medida que pasa el tiempo, el limón está más amarillo y en consecuencia necesita estar menos días en cámara de desverdizado. De la expresión [11] se deduce que el coste del desverdizado del limón Fino decrece desde 0,065 €/kg en la semana 42 hasta los 0 €/kg a partir de la semana 50 cuando la fruta ya ha alcanzado el color característico. La evolución de los costes de desverdizado y de recolección en €/ha puede seguirse en la Figura 4. Los costes de recolección incluyen los de las dos recolecciones, mientras que los del desverdizado, sólo los de la primera, ya que en la segunda, el limón ya presenta su color característico.

1. Los costes de desverdizado crecen al principio porque cada vez se recolectan muchos más limones llegando a alcanzar los 1.500 €/ha, pero llega un momento que pese al aumento de la recolección, el limón está prácticamente amarillo y los costes por hectárea decrecen hasta resultar nulos (final del periodo considerado).
2. De la misma forma los costes unitarios de recolección son mayores al principio que al final, por lo que a medida que pasan las semanas aumenta la proporción de kilos recolectados con mayores costes de recolección, pero llega un momento (semana 44, finales de octubre) en que se alcanza el máximo por hectárea (5.060 €/ha) momento a partir del cual empieza a decrecer, hasta que todo los limones son aptos para la recolección (final del periodo considerado).

A modo de resumen, el coste total para el agricultor se estima a partir de la expresión [2], para una comisión por venta en el Merca del 20% y unos costes fijos unitarios de 0,265 €/kg:

$$\begin{aligned} C_C(x) = 5.551,6 + 48.000 \cdot \frac{g(x)}{g(52)} \cdot Ap(x) \cdot \left[0,265 + R(x) + D(x) + P_M(x) \cdot 0,2\right] + \\ + 48.000 \cdot \left(1 - \frac{g(x)}{g(52)} \cdot Ap(x)\right) \cdot \left[0,265 + R(52) + P_M(52) \cdot 0,2\right] \end{aligned} \qquad [12]$$

Siendo g(x) y Ap(x) el peso del limón medido en gramos y el porcentaje de limones aptos, y g(52) el peso en la semana 52. Por su parte los costes de recolección y de desverdizado se denotan por R(x) y D(x) respectivamente.

Maximización del beneficio

Dado que el objetivo del presente trabajo es determinar aquella semana en la que el agricultor, tanto si opta por venderlo en el árbol, como si opta por su venta a través de los Mercas, podrá maximizar el beneficio.

Para ello ha de tener presente que desde principio de septiembre hasta finales de diciembre, tiene una fruta que está creciendo en tamaño y en peso y por tanto, el porcentaje de limones aptos para la recolección aumenta con el tiempo. Por otra parte, hay que considerar que el precio del limón, tanto en origen ("un corte" o "todo limón") como en la Red de Mercas va decreciendo desde el inicio de la campaña hasta finales de diciembre, reduciéndose en consecuencia los ingresos.

En consecuencia el agricultor deberá determinar la fecha de recolección en la cual el beneficio sea máximo, es decir que el efecto motivado por el crecimiento del fruto sea mayor que el efecto motivado por el descenso de los precios. El estudio se realiza asumiendo dos recolecciones, e imponiendo la condición de que el porcentaje de limones aptos para la recolección sea superior al 40%, y que el primer corte ha de realizarse entre la semana 37 y final de año (semana 52).

El programa de optimización que se plantea para el agricultor se obtiene a partir de la expresión [3]:

$$\begin{aligned} \text{Max } B_a(x) = {} & 48.000 \cdot \frac{g(x)}{g(52)} \cdot Ap(x) \cdot P_a^{1C}(x) + \\ & 48.000 \cdot \left[ 1 - \frac{g(x)}{g(52)} \cdot Ap(x) \right] \cdot P_a^{TL}(52) - 5.551,6 \end{aligned} \quad [13]$$

$$\text{s.a.} \quad Ap(x) \geq 0,4$$

$$37 \leq x \leq 52$$

Si se repite dicho programa para el agricultor que realiza las funciones de comercializador, su beneficio, $B_C(x)$ se obtiene a partir de la expresión [4],

$$\begin{aligned} \text{Max } B_C(x) = {} & 48.000 \cdot \left[ P_M(x) \cdot 0,8 - R(x) - D(x) \right] \cdot \frac{g(x)}{g(52)} \cdot Ap(x) + \\ & 48.000 \cdot \left[ 1 - \frac{g(x)}{g(52)} \cdot Ap(x) \right] \cdot \left[ P_M(52) \cdot 0,8 - R(52) \right] - 5.551,6 \end{aligned} \quad [14]$$

$$\text{s.a.} \quad Ap(x) \geq 0,4$$

$$37 \leq x \leq 52$$

La evolución de los ingresos, gastos y beneficios en cada uno de los casos puede seguirse en la Figura 4. Como puede comprobarse:

1. Si la venta se realiza en el árbol, y si el primer corte se realiza en la primera semana del periodo considerado (semana 39, segunda quincena de septiembre) el agricultor obtiene unos beneficios esperados de 7.335,84 €/ha, y a partir de ahí, el agricultor aumenta sus ingresos esperados en la medida en que decida aplazar su recolección hasta la semana 44 (segunda quincena de octubre) cuando se alcanzan 9.232,56 €/

ha, a partir de la cual los ingresos descienden hasta niveles cercanos al principio.

2. Por su parte, si el productor vende su producción en el la red de Mercas, los beneficios son muy estables en torno a 14.000 €/ha. La evolución de los precios, con un descenso menos acusado, compensa aproximadamente la disminución de los costes de desverdizado y de recolección analizados.

Pese a que el beneficio es superior, hay que tener presente que de esta forma el agricultor asume un riesgo mayor ya que ha de hacer frente a dos actividades, la de recolección y la de manipulación y envasado. Los costes estimados para esta segunda actividad son los estimados para una empresa que se dedique de forma continuada a la misma, que pueden diferir de los soportados por aquellas que lo realizan de forma ocasional. Además, hay que considerar el efecto de un exceso de oferta puntual en un Merca en particular, que podría hundir los precios y con ello los beneficios de la empresa.

En cualquier caso, el objetivo del artículo no es más que la determinación del momento óptimo de recolección. El óptimo obtenido es independiente de los costes fijos considerados.

Como conclusiones del análisis de la evolución semanal de los principales costes de producción del limón y de sus precios podemos decir:

1. La evolución semanal de los precios es claramente decreciente desde el inicio de la campaña, semana 38 hasta final de año. Si la producción esperada no supera las 600.000 toneladas, puede considerarse un año anómalo y los precios tienden a crecer.

2. El agricultor que vende su cosecha en el árbol, teniendo presente la evolución de los precios y del calibre, maximiza sus beneficios en promedio si realiza la primera recolección por la semana 44 (segunda quincena de octubre) pudiendo llegar a alcanzar unos beneficios de 9.232,56 €/ha, si a los ingresos de dicho corte se le suman los de un último corte a final de campaña.

3. Si la venta se produce en la Red de Mercas, el beneficio es bastante estable a lo largo del año, no pudiéndose concluir a priori, que interese más recolectar en una semana u otra, ya que el menor precio del limón lo compensa, con unos costes de desverdizado y de recolección que decrecen con el paso de las semanas.

## Bibliografía

AILIMPO. Asociación Interprofesional de Limón y Pomelo. http://www.ailimpo.com/. Fecha de acceso, 21 de enero de 2015.

AMOPA (2006). Estudio técnico-económico de los procesos de producción agrícola y de transformación (manipulación y confección) de las principales orientaciones hortofrutícolas de la Región de Murcia. Murcia: Asociación Murciana de Organizaciones de Productores Agrarios.

Analistas Económicos de Andalucía (2011). Competencia y Cadena de Valor en la producción y distribución de Cítricos. Consejería de Economía, Innovación y Ciencia. Juta de Andalucía. Disponible en http://www.economiaandaluza.es/sites/default/files/Informe%20Sector%20C%C3%ADtricos.pdf

Axelrad G, Feinerman E (2009). Regional Planning of Wastewater Reuse for Irrigation and River Rehabilitation. Journal of Agricultural Economics 60(1): 105-131.

Bain JM (1958). Morphological, anatomical and physiological changes in the developing fruit of Valencia orange *Citrus sinensis* (L.) Osbeck. Australian Journal of Botany 6: 1-24.

Bartolini F, Bazzani GM, Gallerani V, Raggi M, Viaggi D (2007). The impact of water and agriculture policy scenarios on irrigated farming systems in Italy: An analysis based on farm level multi-attribute linear programming models. Agricultural Systems 93(1-3): 90-114.

Bauer S, Kasnakoglu, H (1990). Nonlinear Programming Models for Sector Policy Analysis. Economic Modeling 7(3): 275-90.

Caballero P, De-Miguel MD, Fernández-Zamudio, MA (2011). Análisis y posibles actuaciones empresariales. Vida rural 328: 52-57.

Caixeta-Filho JV (2006). Orange harvesting scheduling management: a case study. Journal of the Operational Research Society 57: 637-642.

CARM (2014a). Consejería de Agricultura de la Región de Murcia. Disponible en http://www.carm.es/web/pagina?IDCONTENIDO=1396&IDTIPO=100&RASTRO=c212$m1174 Fecha de acceso: 24 de octubre de 2014.

CARM (2014b). Consejería de Agricultura de la Región de Murcia. Disponible en http://www.carm.es/web/pagina?IDCONTENIDO=1400&IDTIPO=100&RASTRO=c934$m1174,1392. Fecha de acceso: 15 de enero de 2015.

Conesa A, Brotons JM, Manera FJ, Porras I (2014). The degreening of lemon and grapefruit in ethylene atmosphere: A cost analysis. Scientia Horticulturae 179: 140-145.

FAO (2014). Food and Agriculture Organization statistical database. Disponible en: http://faostat.fao.org/site/535/DesktopDefault.aspx?PageID=535#ancor. Fecha de acceso: 15 junio 2014.

Feinerman E, Voet H (1995). Dynamic optimisation of nitrogen fertilisation of citrus and the value of information from leaf tissue analysis. European Review of Agricultural Economics 22(1): 103-118.

García J (2014). Análisis del sector del limonero y evaluación económica de su cultivo. IMIDA. Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Alimentario Consejería de Agricultura y Agua de la Región de Murcia. Murcia. España.

García J, Contreras F (2014). Análisis económico del cultivo del limonero Fino y Verna en la región de Murcia. Levante Agrícola 53(I): 47-53.

García Lidón A, Del Río JA, Porras I, Fuster MD, Ortuño A (2003). El limón y sus componentes bioactivos. Consejería de Agricultura, Agua y Medio Ambiente. Serie Técnica Nº 25. 127 pp. Murcia.

Jin HE, Chun-jie QI (2009). Empirical study on price formation and profit distribution of citrus in China, taking citrus in Yichang as an example. Journal of Northwest A&F University (Social Science Edition) 6: 36-43.

MAGRAMA (2014a). Anuario de estadística. Ministerio de Agricultura, alimentación y medioambiente. Disponible en http://www.magrama.gob.es/es/estadistica/temas/publicaciones/anuario-de-estadistica/. Fecha de acceso: 15 junio 2014.

MAGRAMA (2014b). Observatorio de precios de los alimentos. Ministerio de Agricultura, Alimentación y medioambiente. Disponible en: http://www.magrama.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticas-alimentacion/observatorio-precios/. Fecha de acceso: 15 junio 2014.

MERCASA (2014). Disponible en www.mercasa.es. Fecha de acceso: 15 junio 2014.

Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marítimo (2012). Estudio de la cadena de valor y formación de precios del sector cítrico. http://www.magrama.gob.es/es/alimentacion/servicios/observatorio-de-precios-de-los-alimentos/frescos.aspx. Fecha de acceso: 15 de junio de 2014.

O'Connell NV, Craig EK, Freeman MW, Klonsky KM, De Moura RL (2010). Sample costs to establish an orchard and produce lemons, low-volume irrigation, San Joaquin Valley. University of California, Cooperative Extension.

Ozkan B, Akcaoz H, Karadeniz F (2004). Energy requirement and economic analysis of citrus production in Turkey. Energy Conversion and Management 45 (11-12): 1821-1830.

Porras I (2014). Limonero, pomelo y lima. En: La Fruticultura del siglo XXI en España. Coordinadores: J.J. Hueso Martín; J. Cuevas González. Serie Agricultura Nº 10: 301-325. Edita Cajamar Caja Rural.

Salles M, Gomes E (2010). Optimized agricultural planning of sugarcane using linear programming. Revista Investigación Operacional 31(2): 126-132.

(Aceptado para publicación el 17 de febrero de 2015)

# PREMIOS DE PRENSA AGRARIA 2015
# DE LA
# ASOCIACIÓN INTERPROFESIONAL
# PARA EL DESARROLLO AGRARIO

La Asociación Interprofesional para el Desarrollo Agrario (AIDA) acordó en Asamblea General celebrada en mayo de 1983, instaurar un premio anual de Prensa Agraria, con el objetivo de hacer destacar aquel artículo de los publicados en ITEA que reúna las mejores características técnicas, científicas y de valor divulgativo, y que refleje a juicio del jurado, el espíritu fundacional de AIDA de hacer de transmisor de conocimientos hacia el profesional, técnico o empresario agrario. Se concederá un premio, pudiendo quedar desierto.

Los premios se regirán de acuerdo a las siguientes

## BASES

1. Podran concursar todos los artículos que versen sobre cualquier tema técnico-económico-agrario.
2. Los artículos que podrán acceder al premio serán todos aquellos que se publiquen en ITEA en el año 2015. Consecuentemente, los originales deberán ser enviados de acuerdo con las normas de ITEA y aprobados por su Comité de Redacción.
3. El jurado estará constituido por las siguientes personas:
   a) Presidente de AIDA, que presidirá el jurado.
   b) Director de la revista ITEA, que actuará de Secretario.
   c) Director Gerente del CITA (Gobierno de Aragón).
   d) Director del Instituto Agronómico Mediterráneo de Zaragoza.
   e) Director de la Estación Experimental de Aula Dei.
   f) Director del Instituto Pirenaico de Ecología.
4. El premio será anual y tendrá una dotación económica.
5. Las deliberaciones del jurado serán secretas, y su fallo inapelable.
6. El fallo del jurado se dará a conocer en la revista ITEA, y la entrega del premio se realizará con motivo de la celebración de las Jornadas de Estudio de AIDA.

# INSCRIPCIÓN EN AIDA

Si desea Vd. pertenecer a la Asociación rellene la ficha de inscripción y envíela a la siguiente dirección: **Asociación Interprofesional para el Desarrollo Agrario (AIDA). Avenida Montañana 930, 50059 Zaragoza.**

Si elige como forma de pago la domiciliación bancaria adjunte a esta hoja de inscripción el impreso de domiciliación sellado por su banco.

También puede hacer una transferencia a la cuenta de AIDA (CAI, Ag. 2, Zaragoza, nº ES66-2086-0002-12-3300254819) por el importe de la cuota anual. En ese caso, adjunte un comprobante de la transferencia.

| | | |
|---|---|---|
| Apellidos: | | Nombre: |
| NIF: | | |
| Dirección Postal: | | |
| Teléfono: | Fax: | e-mail: |
| Empresa: | | |
| Área en que desarrolla su actividad profesional: | | |

En _____ , a ___ de _____ de 20__

Firma:

**FORMA DE PAGO (CUOTA ANUAL: 42 EUROS)**

| | |
|---|---|
| | Cargo a cuenta corriente (rellenar la domiciliación bancaria) |
| | Transferencia a la cuenta de AIDA ES66-2086-0002-12-3300254819 (adjuntar comprobante) |

**DOMICILIACION BANCARIA**

Sr. Director del Banco/Caja

Muy Sr. mío,

Ruego a Vd. se sirva adeudar en la siguiente cuenta corriente (IBAN: 24 caracteres)

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | | | | |

que mantengo en esa oficina, el recibo anual que será presentado por la **Asociación Interprofesional para el Desarrollo Agrario (AIDA).**

Atentamente,

| | |
|---|---|
| En _____ , a ___ de _____ de 20__<br><br>Firmado: | Sello de la Entidad: |

# NORMAS PARA LOS AUTORES (2015)

La revista ITEA es una publicación internacional indexada en las bases de datos de revistas científicas. La revista se publica en español en 4 números (marzo, junio, septiembre y diciembre) por año. De acuerdo con los fines de la Asociación Interprofesional para el Desarrollo Agrario (AIDA), ITEA publica artículos que hagan referencia a la Producción vegetal, Producción animal, Economía agroalimentaria. Se aceptan contribuciones en formato de artículo de investigación, de revisión o de nota técnica. El envío de un artículo implicará que el mismo no haya sido publicado o enviado para publicar en cualquier otro medio de difusión o lenguaje, y que todos los coautores aprueben dicha publicación. Los derechos sobre todos los artículos o ilustraciones publicados serán propiedad de ITEA, que deberá recibir por escrito la cesión o copyright, una vez aceptado el artículo. La publicación de un artículo en ITEA no implica responsabilidad o acuerdo de ésta con lo expuesto, significando solamente que el Comité de Redacción lo considera de suficiente interés para ser publicado.

## 1. Envío de manuscritos y evaluación

Los manuscritos originales, en español, se enviarán a través de la página web de AIDA (http://www.aida-itea.org/). Para ello, los autores deberán registrarse en la aplicación, y seguir las indicaciones pertinentes. El manuscrito se enviará como un único documento Word, incluyendo las tablas y figuras al final del mismo. Los autores deberán incluir una carta de presentación en la que figure el título, los autores y un listado con 4 revisores (nombre completo, dirección postal y correo electrónico), que no deberán estar en conflicto de intereses con los autores o el contenido de manuscrito, en cuyo caso el Comité Editorial podrá negarse a colaborar con dichos revisores.

Los manuscritos que no cumplan las normas para autores serán devueltos para su rectificación. El editor correspondiente remitirá el manuscrito a 2 revisores que conocerán la identidad de los autores, no así al contrario. En caso de que las evaluaciones de los 2 revisores difieran significativamente, el manuscrito podrá ser enviado a un tercer revisor. Una vez aceptados por el editor, los manuscritos serán revisados por el editor técnico.

Los autores deberán modificar el manuscrito teniendo en cuenta las modificaciones sugeridas por los editores y revisores. La decisión final se comunicará a los autores, que, en caso de solicitarse, estarán obligados a modificar el artículo en el plazo de 3 meses desde su comunicación, antes de que sea aceptado definitivamente. Los manuscritos revisados se enviarán a través de la página web de AIDA. Los autores deberán enviar el manuscrito corregido indicando los cambios realizados (por ejemplo, con la función de control de cambios activada), y deberán adjuntar una carta de respuesta a los evaluadores y editores con los cambios realizados. En caso de desacuerdo, los autores deberán justificarlo debidamente al editor. Una vez recibidas las pruebas de imprenta del manuscrito, los autores deberán devolver dicho manuscrito corregido en el plazo de 1 semana. Si el editor no recibe una respuesta por parte de los autores tras 6 meses el artículo será rechazado.

## 2. Preparación del manuscrito

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

Los manuscritos incluirán en la primera página:

- Título: lo más conciso posible. No incluirá abreviaturas ni fórmulas químicas (excepto símbolos químicos para indicar isótopos). El formato del título será en negrita y formato tipo oración.
- Apellido de los autores, precedido de las iniciales del nombre, e indicando con un asterisco el autor para correspondencia. En caso de que pertenezcan a distintas instituciones, indicar a cada autor con números superíndices diferentes. Si un autor desea aparecer con dos apellidos, éstos deberán unirse con un guión.
- Nombre y dirección postal profesional de los autores. Si se quiere poner la dirección actual, deberá indicarse con una letra minúscula como superíndice.
- Correo electrónico del autor a quien se va a dirigir la correspondencia

Ejemplo:

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

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

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

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

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

*Autor para correspondencia: jsmith@edi.uk

El manuscrito incluirá a continuación:

- Resumen, que deberá tener un máximo de 250 palabras, e incluirá brevemente los objetivos del trabajo, el material y métodos, los resultados más relevantes y las conclusiones. Se evitará el uso de abreviaturas.
- Palabras clave, un máximo de 6, evitando las ya incluidas en el título.
- En Inglés: Título del artículo, Resumen, Palabras clave.
- Apartados de los artículos de investigación: Introducción, Materiales y métodos, Resultados, Discusión y Referencias bibliográficas (ver especificaciones en el siguiente apartado), tablas y figuras. Los resultados y discusión se pueden presentar de manera conjunta.

**Las notas técnicas,** referidas a trabajos experimentales de extensión reducida, no excederán de 2.000 palabras, incluidas Tablas y/o Figuras, y deberán incluir la traducción al inglés del Título del artículo, Resumen, Palabras clave, título de tablas y pie de figuras.

## 3. Apartados del manuscrito

El formato de títulos de los apartados será en negrita, pero el de los subapartados no.

- **Introducción**: deberá explicar la finalidad del artículo. El tema se expondrá de la manera más concisa posible, indicando al final los objetivos del trabajo.
- **Material y métodos**: deberá aportar la información necesaria que permita la réplica del trabajo, incluyendo el nombre del fabricante de productos o infraestructuras utilizadas. Los manuscritos deberán incluir una descripción clara y concisa del diseño experimental y de los análisis estadísticos realizados. Se indicará el número de individuos, valores medios y medidas de variabilidad.
- **Resultados**: los resultados se presentarán en Tablas y Figuras siempre que sea posible. No se repetirá en el texto la información recogida en las Figuras y Tablas. Se recomienda presentar el valor de significación para que el lector pueda tener la mayor información.
- **Discusión**: deberá interpretar los resultados obtenidos, teniendo en cuenta además otros trabajos publicados. Finalizará indicando las conclusiones a las que han llegado los autores del manuscrito, así como las posibles implicaciones prácticas que de ellas puedan derivarse.
- **Agradecimientos**: podrá mencionarse el apoyo prestado por personas, asociaciones, instituciones y/o fuentes de financiación del trabajo realizado.

- **Referencias bibliográficas**: sólo se citarán aquellas referencias relacionadas con el trabajo o que contribuyan a la comprensión del texto. Como máximo se podrán utilizar 60 citas en los artículos de investigación. En las revisiones podrán figurar las citas que sean necesarias. En el manuscrito, se mantendrá el orden cronológico en caso de citar varios autores. Las referencias en el texto deben hacerse siguiendo los siguientes ejemplos:
  * un autor (Padilla, 1974)
  * dos autores (Vallace y Raleigh, 1967)
  * más de 3 autores: (Vergara *et al*., 1994)

Los nombres de entidades u organismos que figuren como autores, por ejemplo Dirección General de la Producción Agraria (DGPA), deberán citarse completos en la Bibliografía la primera vez. Las referencias múltiples se harán según se indica en el siguiente ejemplo: (Martínez et al., 1971 y 1979). Se añadirá una letra al año de publicación para identificar artículos del mismo autor y del mismo año (2012a, b). La cita podrá formar parte de la frase en el texto, como sigue "como indicaban Gómez *et al*. (1969)".

Al final del trabajo se citarán en orden alfabético por autor todas las referencias utilizadas en el texto. Se podrán citar trabajos "en prensa", siempre que el documento haya sido aceptado para su publicación. En casos excepcionales, se aceptarán menciones como "Comunicación personal" o "Resultados no publicados", aunque no constarán entre las referencias bibliográficas. Se indican a continuación ejemplos de cita bibliográfica (artículo, libro, capítulo de libro, acta de Congreso, fuente electrónica, documento de trabajo, documento legal).

Artículo

– Blanc F, Bocquier F, Agabriel J, D'Hour P, Chilliard Y (2006). Adaptative abilities of the females and sustainability of ruminant livestock systems. A review. Animal Research 55: 489-510.

Capítulo de libro

– Verlander JW (2003). Renal physiology. En: Textbook of Veterinary Physiology (Ed. JG Cunningham), pp. 430-467. W.B. the Saunders Company, an Elsevier imprint.

Libro

– AOAC (1999). Official Methods of Analysis, 16th. Ed. AOAC International, MD, USA. 1141 pp.

Acta de congreso

– Bispo E, Franco D, Monserrat L, González L, Pérez N, Moreno T (2007). Economic considerations of cull dairy cows fattened for a special market. Proceedings of 53rd International Congress of Meat Science and Technology, 5-10 agosto 2007, Beijing, China, pp. 581-582.

Fuente electrónica

– FAO (2011). Food and Agriculture Organization statistical database. Disponible en http://faostat.fao.org/default.aspx (30 enero 2012).

Documento oficial

– MARM (2009). Anuario de estadística agroalimentaria y pesquera 2007. Subsecretaría General Técnica, Ministerio de Medio Ambiente, Medio rural y Marino, 937 pp.

En la pagina web de AIDA se puede descargar el fichero de estilo de endnote "ITEA.ens".

- **Tablas y Figuras**: su número se reducirá al mínimo necesario, y los datos no deberán ser presentados al mismo tiempo en forma de tabla y de figura. Se recomienda un tamaño de 8 o 16 cm. Se incluirán en el mismo documento, pero en hojas separadas al texto, y señalando su emplazamiento aproximado. Las tablas y figuras llevarán numeración diferente y deberán estar citadas en el texto. Sus encabezamientos deberán redactarse de modo que el sentido de la ilustración pueda comprenderse sin necesidad de acudir al texto. Los encabezamientos y pies de figuras deberán aparecer en español e inglés (en cursiva).

Para el diseño de las tablas no se usarán tabulaciones. No se utilizarán líneas verticales entre columnas ni horizontales entre filas. Sólo se separarán con líneas horizontales los títulos.

Ejemplo de tabla:

Tabla 3. Tarjetas de productos hipotéticos expuestos a los encuestados

*Table 3. Hypothetical products cards shown to those surveyed*

| Nº Tarjeta | Precio | Tipo de carne | Origen | Sistema |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 22 €/kg | Lechal | Nacional | Convencional |
| 2 | 22 €/kg | Cebo | Extranjero | Ecológico |
| 3 | 18 €/kg | Lechal | CLM | Ecológico |
| 4 | 18 €/kg | Ternasco | Extranjero | Convencional |
| 5 | 18 €/kg | Cebo | Nacional | Convencional |
| 6 | 14 €/kg | Lechal | Extranjero | Convencional |
| 7 | 14 €/kg | Cebo | CLM | Convencional |
| 8 | 22 €/kg | Ternasco | CLM | Convencional |
| 9 | 14 €/kg | Ternasco | Nacional | Ecológico |

Fuente: Diaz *et al.* (2013)

Las figuras se presentarán con la mayor calidad posible. Se podrán presentar en blanco y negro o en color. Los dibujos, gráficos, mapas y fotografías se incluirán como figuras. Para mayor claridad en las gráficas se recomienda el uso, en primer lugar, de líneas continuas; en segundo lugar, de puntos; y en último lugar, de rayas. Se recomienda el uso de símbolos □, ■, ○, ■, ▲, Δ, ◊, ♦, +, y ×. No utilizar líneas de división horizontales en el gráfico. Incluir barras de error cuando no entorpezcan la interpretación de la figura. En los ejes figurarán las unidades de las medidas referidas (entre paréntesis o separadas por coma). El número de la figura y su leyenda se indicarán en la parte inferior de la misma. Si las figuras se confeccionan con un programa distinto de los del paquete Office deberán ser de una calidad de 300 píxeles por pulgada o superior o escalable. Se enviarán las fotografías por separado como archivos de imagen (jpg, tiff o similar) con una resolución final de al menos 300 píxeles por pulgada.

## 4. Normas de estilo

- Se aplicará el Sistema Internacional de Unidades.
- Los decimales se indicarán en español con una coma (,) y en inglés con un punto (.).
- Las abreviaturas se definirán la primera vez que se citen en el texto.
- Las frases no podrán comenzar con una abreviatura o un número.
- Los nombres latinos de géneros, especies y variedades se indicarán en cursiva y los nombres de cultivares entre comillas simples (p. ej. 'Sugar Baby').
- Los nombres de hormonas o productos químicos comenzarán con minúsculas (sulfato de metilo, en vez de Sulfato de Metilo).
- Las fórmulas químicas se nombrarán según las normas IUPAC (p. ej. H2SO4 en vez de SO4H2) y los nombres comerciales comenzarán con mayúscula (p.ej. Foligón).
- Las llamadas en nota a pie de página o cuadro deberán ser las menos posibles y, en todo caso, se indicarán mediante números correlativos entre paréntesis (p. ej. (1), (2), evitando el uso de asteriscos, letras o cualquier otro signo).
- Los niveles de significación estadística no necesitan explicación (* = P<0,05; ** = P<0,01; ***= P<0,001; NS = no significativo).

Volumen 111
Número 4
Diciembre 2015

# itea

información técnica económica agraria

www.aida-itea.org

REVISTA DE LA ASOCIACIÓN INTERPROFESIONAL PARA EL DESARROLLO AGRARIO

Calidad de Revistas Científicas Españolas
FECYT | FUNDACIÓN ESPAÑOLA PARA LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA | 2014