itea

información técnica económica agraria

REVISTA DE LA ASOCIACIÓN INTERPROFESIONAL PARA EL DESARROLLO AGRARIO



Volumen 115

Número 4

Diciembre 2019

aida-itea.org

itea

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

2019- AÑO L Vol. 115 N.º 4 http://dx.doi.org/10.12706/itea	**DIRECCIÓN Y REDACCIÓN** Avda. Montañana, 930 50059 ZARAGOZA (ESPAÑA) Tel.: 34-976 716305 Fax.: 34-976 716335 E-mail: direccion@aida-itea.org	Depósito legal: Z-577-82 ISSN: 2386-3765 INO Reproducciones, S.A. Pol. Malpica, calle E, 32-39 (INBISA II, nave 35) 50016 Zaragoza

DIRECTOR: Albina Sanz, CITA de Aragón. España

EDITORES CIENTÍFICOS: Alfonso Abecia, Universidad de Zaragoza. España
José Manuel Alonso, CITA de Aragón. España
Javier Álvarez, Universidad de Lleida. España
Alicia Cirujeda, CITA de Aragón. España
Gabriel Pardo, CITA de Aragón. España
Guillermo Ripoll, CITA de Aragón. España
Ana Isabel Sanjuán, CITA de Aragón. España

EDITOR TÉCNICO: María Salillas, Asociación Interprofesional para el Desarrollo Agrario. España

COMITÉ DE REDACCIÓN: Jorge Álvaro, EEAD Zaragoza. España
Arancha Arbeloa, EEAD Zaragoza. España
Carlos Calvete, CITA de Aragón. España
Fernando Escriu, CITA de Aragon. España
Vicente González, CITA de Aragón. España
Cristina Mallor, CITA de Aragón. España
Javier Rodrigo, CITA de Aragón. España

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

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

https://www.aida-itea.org/index.php/revista-itea/presentacion-itea



Foto y Texto de Alberto Bernués Jal

El tractor de la foto con toda seguridad ha trabajado más horas de las esperadas antes de su reemplazo, sin embargo, todavía realizaba labores agrícolas en Sauce, Departamento de Canelones, Uruguay, en 2011. Conociendo al dueño, Alfredo Albín Ferreira, Director de Programas de Investigación de INIA Las Brujas, es muy posible que siga operativo a día de hoy.

La imagen nos retrotrae a un pasado en que los sistemas agrarios apenas empezaban a mecanizarse, eran más pequeños y ligados al territorio, más "humanos". Hoy el modelo agroindustrial predomina en países económicamente desarrollados, como Uruguay, netamente exportador de alimentos. Sin embargo, está crecientemente cuestionado por sus consecuencias ambientales, económicas, sociales, de salud pública, de gobernanza, etc. Organizaciones internacionales como IPES-Food o la misma FAO hacen un llamamiento hacia una rápida transición del modelo agroalimentario hacia la sostenibilidad, en la que la agroecología debe jugar un papel central.

Agradecimiento

Desde el Comité editorial de la Revista ITEA-Información Técnica Económica Agraria, queremos agradecer a todos los evaluadores de artículos su colaboración con la Revista ITEA. Cada artículo precisa para su publicación en una revista indexada de una evaluación "por pares", interviniendo a menudo en el proceso de evaluación un tercer evaluador. A lo largo del 2019, han colaborado en el proceso de evaluación de los artículos publicados en la Revista ITEA 50 revisores. Conocedores de que la evaluación de un artículo para su publicación es una tarea que resta al investigador tiempo de dedicación a sus trabajos de investigación y que a menudo el evaluador realiza esta revisión en su tiempo libre, hacemos pública la relación de evaluadores de artículos publicados en la Revista ITEA en el año 2019 en señal de agradecimiento, haciendo notar que algunos evaluadores desean permanecer en el anonimato, por lo que la relación no es completa.

José Alfonso Abecia Martínez
Alejandro Alarcón Zayas
Ramón Armengol
Alberto Arnau Bonachera
Olivia Barrantes Díaz
Juan J. Barriuso Vargas
William Andrés Cardona
Carmen Castañeda del Álamo
Ángel Castillo Puente
Carmen De-Pablos-Heredero
Fernando Diaz
Rosa Gallardo Cobos
Antón García
Anastacio García Martínez
Fernando Garrido Fernández
Marta Gil Farré
Herminia Alejandra Hernández-Ortega
Alberto Horcada Ibáñez
Ramón Isla Climente
Zein Kallas
Jackeline Karsten Kirinus
Gerardo López
José Manuel Lorenzo Rodríguez
Yolanda Martínez Martínez
José Miguel Pardillos Lapesa
Antonio Purroy Unanua
Virginia C. Resconi
Antonio Rouco Yáñez
Josep Rufat Lamarca
Lizbeth Salgado Beltrán
Antoni Sánchez
Miguel Ángel Sánchez-Monedero
Gabriela Sánchez-Viveros
Iria Soto
Laura M. Suz
Marta Terré
Joel Torra Farré
Carmen Valdés Solís
Ceferina Vieira Aller
M. Ángela Xabadía Palmada

Sumario

Producción Vegetal

Modelos empíricos de competencia cultivo-mala hierba. Revisión Bibliográfica.
Empirical models of weed-crop competition. Review.
D.A. Jamaica-Tenjo y J.L. González-Andújar 289

Caracterización de la respuesta adaptativa a sequía de dos cultivares de melocotonero en condiciones de aridez.
Characterization of drought-adaptive response of two peach cultivars in arid conditions.
B. Bielsa, J. García-Brunton, M.A. Sanz y M.J. Rubio-Cabetas 307

Producción Animal

Revisión de los programas de sincronización ovárica basados en el uso de hormona liberadora de gonadotropinas y prostaglandina F2α para novillas de leche y de carne.
A review of the ovarian synchronization programs based on the use of gonadotrophin releasing hormone and prostaglandin F2α for dairy and beef heifers.
A. Sanz, K. Macmillan y M.G. Colazo 326

Intensificación sostenible de la ganadería bovina tropical basada en recursos locales: alternativa de mitigación ambiental para América Latina. Revisión Bibliográfica.
Sustainable intensification of tropical cattle raising based on local resources: environmental mitigation alternative for Latin America. Review.
R.I. Parra-Cortés, M.A. Magaña-Magaña y A.T. Piñeiro-Vázquez 342

Parámetros de crecimiento y características de la canal de machos castrados de raza Holstein-Friesian sacrificados a distintas edades.
Growing parameters and carcass characteristics of Holstein-Friesian steers slaughtered at different ages.
S. Crecente, C. Calvo, M. López, N. Díaz, D. Díaz y T. Moreno 360

Revisión de la alimentación de la raza de lidia y caracterización de las principales patologías asociadas al cebo del toro en la actualidad.
Review of the lidia cattle feeding and characterization of the main problems associated to the bull fattening at present.
J.M. Lomillos y M.E. Alonso 376

Modelos empíricos de competencia cultivo-mala hierba. Revisión Bibliográfica

D.A. Jamaica-Tenjo[1,*] y J.L. González-Andújar[2]

[1] Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia, Carrera 30, Nº 45-03, Ed. 500, Bogotá, Colombia

[2] Instituto de Agricultura Sostenible (CSIC), Avda. Menéndez Pidal s/n, 14004, Córdoba, España

Resumen

Las malas hierbas son consideradas uno de los mayores problemas en la agricultura, ya que compiten con los cultivos por agua, nutrientes, luz y espacio, reduciendo sustancialmente su rendimiento. Desde un punto de vista práctico es de suma importancia poder predecir el efecto de las malas hierbas sobre el rendimiento del cultivo. Para ello se han desarrollado modelos empíricos de competencia que relacionan la pérdida del rendimiento como respuesta a la densidad o biomasa de las malas hierbas. En este trabajo se presenta una revisión de estos modelos y sus limitaciones, desde los modelos lineales, los no lineales entre los cuales se encuentra el más usado, el modelo hiperbólico, hasta propuestas recientes de modelos que pueden ser utilizados para mejorar el entendimiento de la competencia cultivo-malas hierbas en un contexto espacial.

Palabras clave: Arvenses, interferencia, lineales, no lineales, hiperbólicos, econometría espacial.

Empirical models of weed-crop competition. Review

Abstract

Weeds are considered one of the biggest problems in agriculture, as they compete with crops for water, nutrients, light and space, substantially reducing their yield. From a practical point of view, it is very important to predict the effect of weeds on crop yield. To this end, empirical models of weed-crop competition have been developed that relate the loss of yield as a response to the density or biomass of weeds. This paper presents a review of these models and their limitations, from the linear models, the nonlinear models among which is the most used, the hyperbolic model, to recent proposals of models that can be used to improve the understanding of the crop-weed competition in a spatial context.

Keywords: Interference, linear, nonlinear, hyperbolic, spatial econometrics.

Introducción

Las malas hierbas son consideradas uno de los mayores problemas en la agricultura, ya que compiten con los cultivos por agua, nutrientes, luz y espacio, reduciendo su rendimiento (Labrada *et al.,* 1996). Globalmente se estima que reducen la producción un 34% (Oerke, 2006), con algunos casos de cultivos en el que las pérdidas pueden ser hasta del 100% (Zimdahl, 2007).

* Autor para correspondencia: dajamaicat@gmail.com

Cita del artículo: Jamaica-Tenjo DA, González-Andújar JL (2019). Modelos empíricos de competencia cultivo-mala hierba. Revisión Bibliográfica. ITEA-Información Técnica Económica Agraria 115(4): 289-306. https://doi.org/10.12706/itea.2019.007

La competencia maleza-cultivo ha sido definida de diferentes formas y desde diferentes perspectivas: (1) dos plantas que comparten nicho compiten cuando los recursos que ambas necesitan son limitados (Radosevich *et al.,* 2007) (2) la reacción de una planta a los factores abióticos del entorno y a su vez, en cómo estos factores que han sido modificados afectan a otra planta adyacente (Clements *et al.,* 1929), (3) la afectación del crecimiento de una planta ocasionada por el tamaño y la proximidad de sus vecinas (Gomez y Gomez, 1984).

El conocimiento de la medida en que una infestación de malas hierbas reduce el rendimiento de los cultivos es esencial para tomar decisiones adecuadas sobre si una estrategia de control está económicamente justificada y poder anticipar futuros problemas (Renton y Chauhan, 2017). Además de esta justificación económica, también podría contribuir al establecimiento de estrategias integradas de gestión de malas hierbas que reduzcan la aplicación de herbicidas y el riesgo de desarrollo de resistencias. Por ello es de suma importancia poder predecir el rendimiento del cultivo o su reducción ocasionada por las malas hierbas. Con este objetivo se ha acudido a la modelización, adoptando dos aproximaciones. Por un lado, una aproximación mecanicista, en la cual los modelos buscan interpretar los fenómenos desde los mecanismos biológicos o fisiológicos que los causan (Kropff and van Laar, 1993; Deen *et al*., 2003). Sin embargo, estos modelos requieren no solo una gran cantidad de datos, sino también la estimación de una gran cantidad de parámetros biológicos (Holst *et al.,* 2007) lo que hace que sean difíciles de aplicar.

Por otro lado, se han desarrollado modelos empíricos (o descriptivos) de competencia (Swanton *et al.,* 2015) que relacionan la pérdida del rendimiento como respuesta a la densidad o biomasa de las malas hierbas (Rejmánek *et al.,* 1989) que, aunque no profundizan acerca de los mecanismos que los ocasionan, requieren poca información por lo que son fáciles de obtener y tienen una aceptable capacidad predictiva. Por ello son los modelos más utilizados para establecer la respuesta del cultivo a las malas hierbas (González-Andújar *et al.,* 2016) y suelen incluirse en modelos bioeconómicos (Torra *et al.,* 2010; González-Díaz *et al.,* 2015) para formar sistemas de ayuda a la toma de decisiones (Gonzalez-Andujar *et al.,* 2011).

El objetivo de este documento es realizar una revisión no exhaustiva de los modelos empíricos desarrollados a lo largo de las últimas décadas para el estudio de la competencia de las malas hierbas con el cultivo y sus limitaciones. También se exponen algunos potenciales desarrollos para mejorar su capacidad predictiva.

Los modelos empíricos de competencia

Los modelos que utilizan la densidad, biomasa o área foliar de malas hierbas como variables explicativas del rendimiento o la reducción del mismo se han utilizado con profusión en Malherbología (Zimdahl, 2004). Estos sencillos modelos han servido para dar pautas de actuación en apoyo de la investigación y del manejo.

A continuación se exponen los distintos tipos de modelos empíricos que se han desarrollado a lo largo de las últimas décadas, desde los lineales a los no lineales, de los cuales la hipérbola rectangular sigue siendo el más usado actualmente. Se terminará con la exposición de nuevos tipos de modelos que pueden suponer un importante avance en el modelado de la relación competitiva entre el cultivo y las malas hierbas.

Modelos de regresión lineal

Los modelos de regresión lineal son los más sencillos para cuantificar el rendimiento del cultivo o pérdida de rendimiento (*Y*) (ej. kg ha^{-1}) como función de la densidad (*x*) (ej. plantas m^{-2}) o biomasa (ej. gr m^{-2}) de las malas hierbas, asumiendo la competencia del cultivo con una sola especie de mala hierba y la sincronización de la emergencia de las mala hierbas y el cultivo (O'Donovan *et al.,* 1985).

Estos modelos son formas particulares o extensiones del modelo general,

$$Y = a + bx^d \quad [1]$$

donde *a* es el rendimiento en ausencia de la mala hierba, *b* es la pendiente (negativa), que indica cuán importante es el incremento de la densidad de las malas hierbas sobre el rendimiento del cultivo, *d* es un parámetro de curvatura (ver Tabla 1 para una definición de todos los componentes de los modelos definidos en el artículo).

Uno de los primeros modelos que se establecieron fue una regresión lineal simple (*d* = 1 en Eq. 1) (Dew, 1972):

$$Y = a + bx \quad [2]$$

El mismo autor comenta que la variable *x* debe ser transformada a $\sqrt{x}$ (*d* = 1/2 en Eq. 1), ya que con esta transformación el modelo se ajusta mejor a los datos, dando como resultado el siguiente modelo:

$$Y = a + b\sqrt{x} \quad [3]$$

Como ejemplo se muestra en la Figura 1 el efecto de la presencia de *Avena fatua* L. en los cultivos de cebada, trigo y lino.

Sin embargo, el modelo de la Eq. 1 asume que el cultivo y las malas hierbas emergen al mismo tiempo. Se han propuesto diferentes modificaciones al modelo para incluir la diferencia de tiempos de emergencia que existe normalmente entre el cultivo y la mala hierba. O'Donovan *et al.* (1985) proponen un mo-

Tabla 1. Elementos de las ecuaciones.
Table 1. Equation components.

a	Intercepto — pérdida de cultivo cuando x = 0
A	Pérdida de rendimiento cuando $x \to \infty$ (infinito)
b	Pendiente — tasa de decrecimiento
b_1	Tasa del efecto del tiempo en modelo lineal
b_2	Tasa de decrecimiento en función del tiempo en modelo hiperbólico
B	Parámetro de curvatura del modelo sigmoidal
d	Parámetro curvatura curvilínea
c_0	Parámetro competencia intraespecífica del cultivo
c_1	Parámetro competencia interespecífica maleza 1
c_j	Parámetro competencia interespecífica maleza j
f	Parámetro que indica la relación entre la competencia intraespecífica e interespecífica
g	Efecto competitivo de la mala hierba (simplifica la sintaxis del modelo en Eq. 13)
I	Fracción de perdida de producción por cada unidad de maleza cuando la $x \to 0$
LA_c	Promedio del área foliar por planta de cultivo

Tabla 1. Elementos de las ecuaciones (continuación).
Table 1. Equation components (continuation).

LA_w	Promedio del área foliar por planta de las malas hierbas
LAI_c	Índice de área foliar del cultivo
LAI_w	Índice de área foliar de la mala hierba
L_w	Índice de área foliar relativo
m	mínimo rendimiento
q	Coeficiente de daño relativo
s_x^2	Varianza de la densidad de malezas
T	Tiempo
TCL	Carga competitiva total
u	Error con dependencia espacial
w	Peso planta cultivo
Y	Rendimiento del cultivo
Y_L	Perdida de rendimiento
Y_{wf}	Rendimiento del cultivo sin malezas
W	Matriz de pesos calculada desde las distancias entre plantas de cultivo
W_c	Propuesta de matriz de pesos calculada desde las distancias entre plantas de cultivo
W_w	Matriz de pesos calculada desde la abundancia de maleza entre plantas de cultivo
x	Densidad/biomasa malezas
X	Vector de densidad/biomasa/cobertura de malezas
$\dot{x}$	Índice de Lloyd
$\bar{x}$	Promedio de la densidad de malezas
x_0	Densidad cultivo
x_1	Densidad maleza 1
x_i	Densidad maleza más competitiva
x_j	Densidad maleza j
α	Parámetro competencia intraespecífica autorregresiva del cultivo
Φ	Velocidad de decrecimiento del rendimiento
δ	Parámetro de la curvatura que indica en qué punto el rendimiento empieza a disminuir
γ	Parámetro indica la pendiente a la cual se acerca a la asíntota inferior
β	Vector de parámetros
ε	error
λ	Parámetro que indica el efecto interespecífico autorregresivo de las malezas
ρ	Parámetro dependencia espacial del error

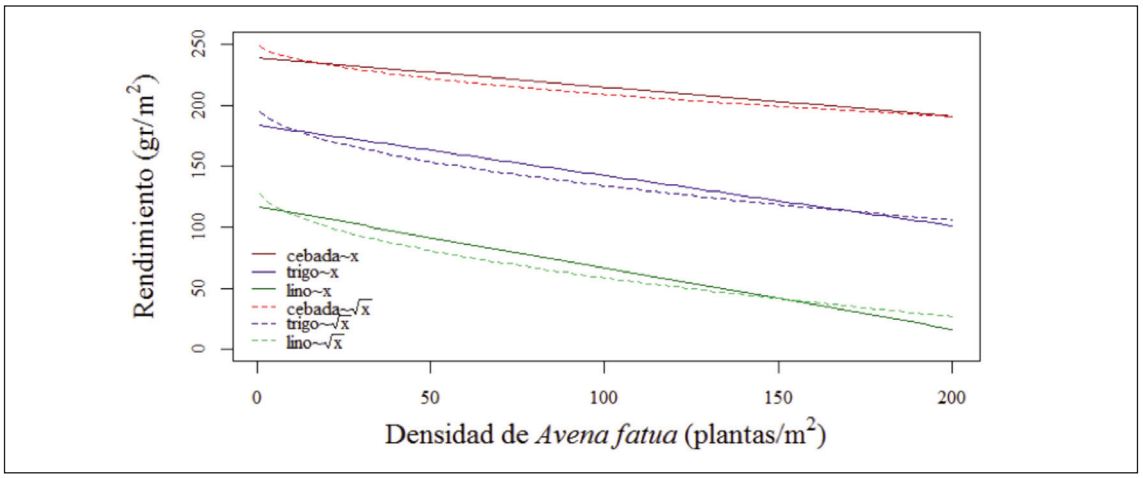


Figura 1. Gráfico de los modelos representados en las Eq. 2 y 3 para los cultivos de cebada, trigo y lino en presencia de *Avena fatua* [basado en Dew (1972)].
Figure 1. Plot of models for barley, wheat y flax from the Eq. 2 y 3.

delo de regresión múltiple que es una extensión de la Eq. 3:

$$Y = a + b\sqrt{x} + b_1 T \qquad [4]$$

Donde b_1 es un parámetro que indica el efecto de la emergencia de la mala hierbas anterior o posterior a la emergencia del cultivo y T es una variable que refleja alguna medida de tiempo (p.e. días) con valores enteros negativos en caso que la maleza emerja primero, positivos si emerge primero el cultivo y cero si emergen al mismo tiempo (volviendo a la Eq. 3).

Otra de las modificaciones que se han propuesto, es la de incluir el efecto de diferentes especies de malas hierbas, ya que el modelo presentado en la Eq. 1 considera el efecto de una sola especie sobre el cultivo. Diversos autores (Spitters, 1983; Radosevich, 1987) ampliaron el citado modelo usando la ley de rendimiento reciproco para considerar el efecto de la competencia intraespecífica y el efecto de varias especies de malas hierbas:

$$\frac{1}{W} = a + c_0 x_0 + c_1 x_1 + \ldots + c_j x_j \qquad [5]$$

En donde w es el peso (gr m^{-2}) de la planta de cultivo, c_0 es el parámetro que indica la competencia intraespecífica del cultivo, x_0 indica la densidad del cultivo, c_i (i = 1, ..., j) es un parámetro que indica la cantidad de pérdida de peso del cultivo ocasionada por cada especie de mala hierba presente (desde la especie 1 hasta la especie j).

Estos tipos de modelos lineales pueden ser suficientes para algunos problemas agronómicos con bajas densidades de infestación, en las cuales la competencia intraespecífica entre las malas hierbas no es suficientemente fuerte para alterar la linealidad de la respuesta.

Las principales limitaciones de los modelos lineales son que no pueden ser aplicados a altos valores de densidades de malas hierbas porque pueden implicar pérdidas superiores al 100%, ya que no hay una limitación al crecimiento de la recta y que estiman pérdidas de rendimiento en ausencia de malas hierbas ($Y = a$ cuando $x = 0$ en Eq. 1).

Modelos de regresión no lineales

Debido a las limitaciones del modelo lineal para explicar la relación mala hierba-cultivo, se plantearon modelos asintóticos (no lineales) que no permiten exceder el 100% de pér-

didas de rendimiento (Cousens, 1985a). La asíntota representa la existencia de competencia entre las mismas malas hierbas a medida que su densidad aumenta. Los modelos no lineales son actualmente los modelos empíricos más usados para relacionar la pérdida de rendimiento del cultivo con la densidad (o biomasa) de las malas hierbas. La forma funcional no lineal se elige mediante la representación gráfica de los datos obtenidos en los experimentos (González-Andújar *et al.,* 1993). Los modelos hiperbólicos y sigmoidal han emergido como las formas funcionales más utilizadas en la literatura malherbológica.

Modelo hiperbólico

Cousens (1985b) comparó 18 modelos que relacionaban la pérdida de rendimiento del cultivo con la densidad de las malas hierbas y llegó a la conclusión de que el modelo hiperbólico daba una adecuada descripción de la relación competitiva. Cousens (1985a) parte de las cuatro premisas biológicas que deben incluir los modelos de competencia, con lo cual se le puede dar una interpretación biológica a los parámetros:

– Si no hay malas hierbas presentes, no hay reducción del rendimiento.

– Cada individuo de mala hierba tiene un efecto negativo sobre el rendimiento del cultivo. A bajas densidades de malas hierbas estos efectos son aproximadamente aditivos.

– La pérdida de rendimiento no debe ser superior a 100%, es decir, el modelo debe tener una asíntota.

– A medida que la densidad de malas hierbas aumenta, la distancia entre estas disminuye, por lo tanto empiezan a competir entre ellas (competencia intraespecífica) y por consiguiente, el efecto de cada planta de mala hierba sobre el cultivo sea menor a medida que la densidad aumenta.

En base a esas premisas, Cousens (1985b) propone el siguiente modelo hiperbólico (Figura 2):

$$Y_L = \frac{Ix}{1+\frac{I}{A}x} \qquad [6]$$

En este modelo, Y_L representa la fracción de pérdida de rendimiento como consecuencia de la competencia; I es la fracción de pérdida de producción por cada planta de mala hierba cuando $x \to 0$; A es la pérdida de rendimiento cuando $x \to \infty$.

La anterior ecuación puede ser expresada en términos del rendimiento del cultivo *Y,* contemplando la reducción respecto al máximo rendimiento del cultivo sin malas hierbas (Y_{wf}; ej. kg ha^{-1}) de la siguiente forma (Eq. 7, Figura 3):

$$Y = Y_{wf}\left[1-\frac{Ix}{100\left(1+\frac{I}{A}x\right)}\right] \qquad [7]$$

El modelo hiperbólico ha servido como marco de referencia para incluir otros aspectos como los tiempos relativos de germinación del cultivo, el efecto de más de una especie de mala hierba, etc., que han permitido una mejora del mismo.

Una de las mayores limitaciones del modelo es la suposición de que existe una sincronización entre la emergencia del cultivo y la mala hierba. Las malas hierbas que emergen antes que el cultivo producen un mayor daño en el mismo que las que emergen posteriormente. Cousens *et al.* (1987) propusieron una modificación de la Eq. 6 para incluir la desincronización de las emergencias del cultivo y la mala hierba. Para ello modificaron el valor de I de la siguiente forma,

$$I = he^{-b_2 T} \qquad [8]$$

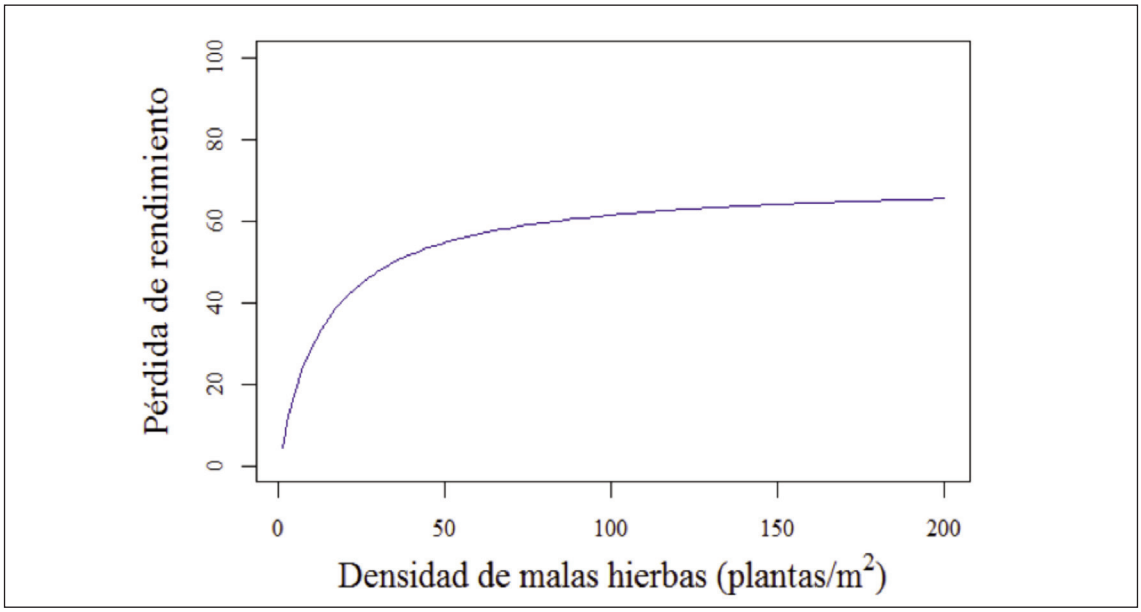


Figura 2. Modelo hiperbólico expresando la pérdida de rendimiento en función de la densidad de malas hierbas.
Figure 2. Hyperbolic model. Yield loss in response to weed density.

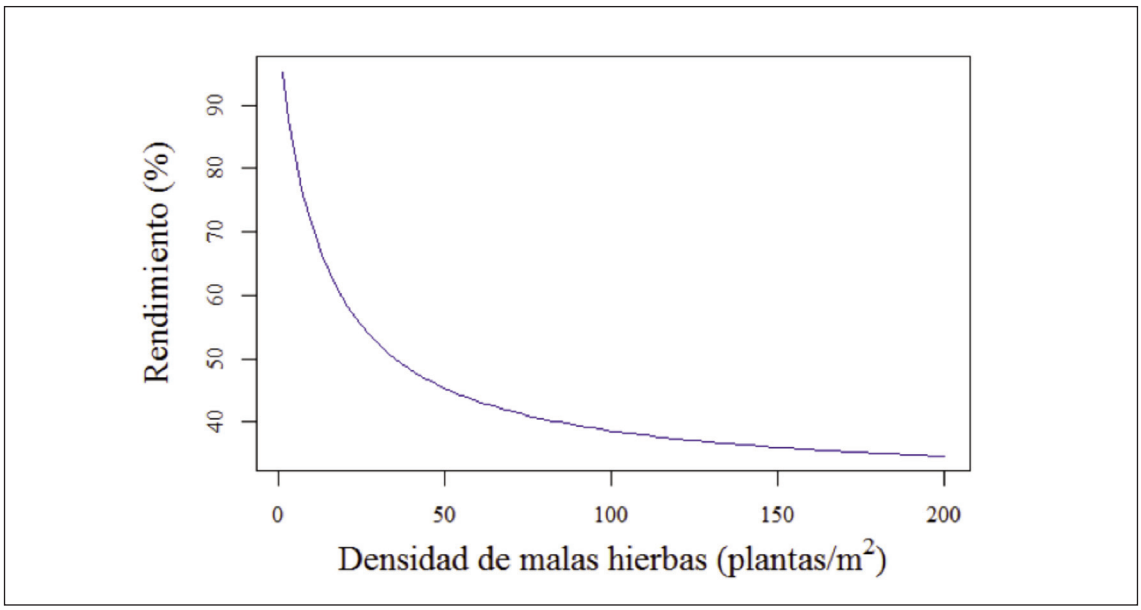


Figura 3. Modelo hiperbólico reflejando el rendimiento del cultivo en función de la densidad de malas hierbas.
Figure 3. Hyperbolic model. Yield in response to weed density.

asumiendo que *I* declina exponencialmente (*e*) con el tiempo (días o tiempo termal) (*T*) y b_2 es la tasa a la que *I* decrece. Si cultivo y mala hierba tienen sincronizadas sus emergencia ($T = 0$), tenemos que $h = I$ y volvemos a la Eq. 6.

Con este cambio la Eq. 6 queda modificada como:

$$Y_L = \frac{hx}{e^{b_2 T} + \frac{h}{A}x} \quad [9]$$

Un ejemplo de este tipo de modificación se encuentra en Bosnic y Swanton (1997). En este caso los autores modelan el rendimiento del maíz en función de la densidad de *Echinochloa crus-galli* L. (P. Beauv.) pero considerando los grados días acumulados (Mcmaster y Wilhelm, 1997) entre el momento de emergencia de la mala hierba y el cultivo. Es conocido que la temperatura es, en general, un mejor predictor de la emergencia de las malas hierbas que los días (Gonzalez-Andujar *et al.*, 2016), por ello el uso de grados días acumulados como variable explicativa parece una aproximación razonable.

$$Y = Y_{wf}\left[1 - \frac{hx}{100\left(e^{b_2 T} + \frac{h}{A}x\right)}\right] \quad [10]$$

La Figura 4 muestra un ejemplo de la aplicación de la Eq. 10 pero considerando los días de diferencia de la emergencia entre el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) y la maleza (*E. cruz-galli*) en lugar de grados días.

Un enfoque alternativo para tener en cuenta el intervalo de tiempo entre las emergencias de las malas hierbas y del cultivo es conside-

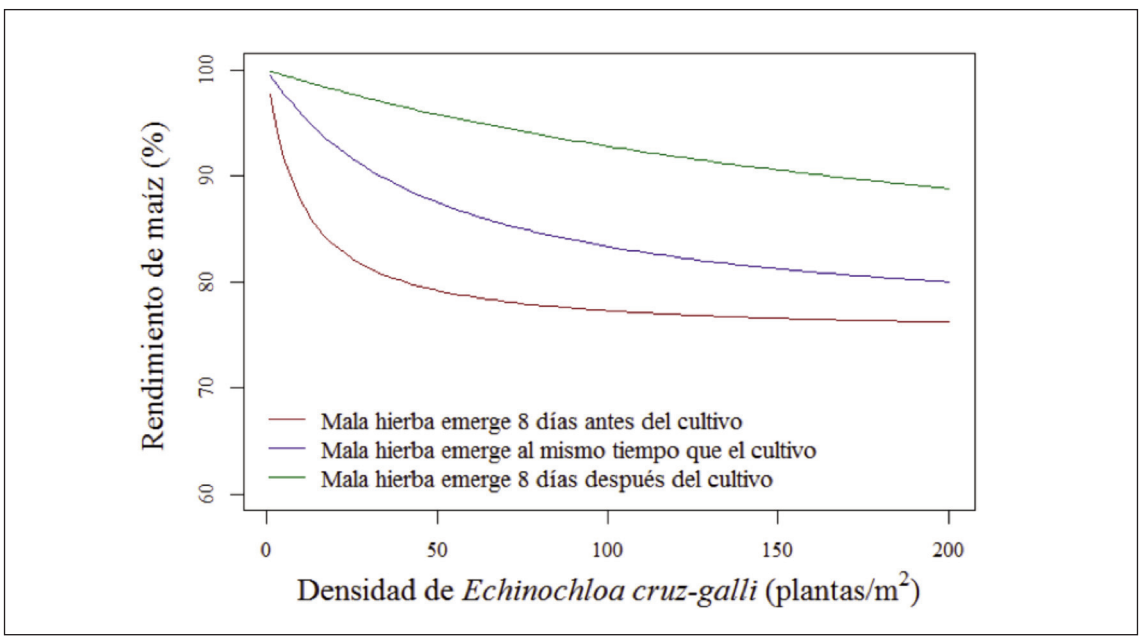


Figura 4. Cambios en el modelo hiperbólico en función de la diferencia del tiempo de emergencia entre malas hierbas y el cultivo de maíz [Modificado de Bosnic y Swanton (1997)].
Figure 4. Differences in the hyperbolic model in function of the different time of emergence between weeds and corn.

rar las diferencias de tamaño que se establece entre la mala hierba y el cultivo, en tiempos relativos de emergencia. En esta aproximación, la densidad de las malas hierbas es ponderada por su área foliar promedio (Kropff y Spitters, 1991).

$$Y_L = \frac{qL_w}{1+(q-1)L_w} \quad [11]$$

donde q es coeficiente de daño relativo definido en la Eq. 13, L_w es el índice de área foliar relativo que se expresa como:

$$L_w = \frac{LAI_w}{LAI_w + LAI_c} \quad [12]$$

donde LAI_w es el índice de área foliar de las malas hierbas y LAI_c es el índice del área foliar del cultivo.

El coeficiente de daño relativo (q) viene expresado por la siguiente ecuación:

$$q = g\frac{LA_c}{LA_w} \quad [13]$$

donde LA_c es el promedio del área foliar por planta de cultivo, LA_w es el promedio del área foliar por planta de las malas hierbas y g es el efecto competitivo de la maleza sobre el cultivo definido como:

$$g = \frac{c_1 x_0}{f + c_0 x_0} \quad [14]$$

siendo f un parámetro que da mayor o menor importancia a la relación entre la competencia intraespecífica del cultivo y la interespecífica con la mala hierba.

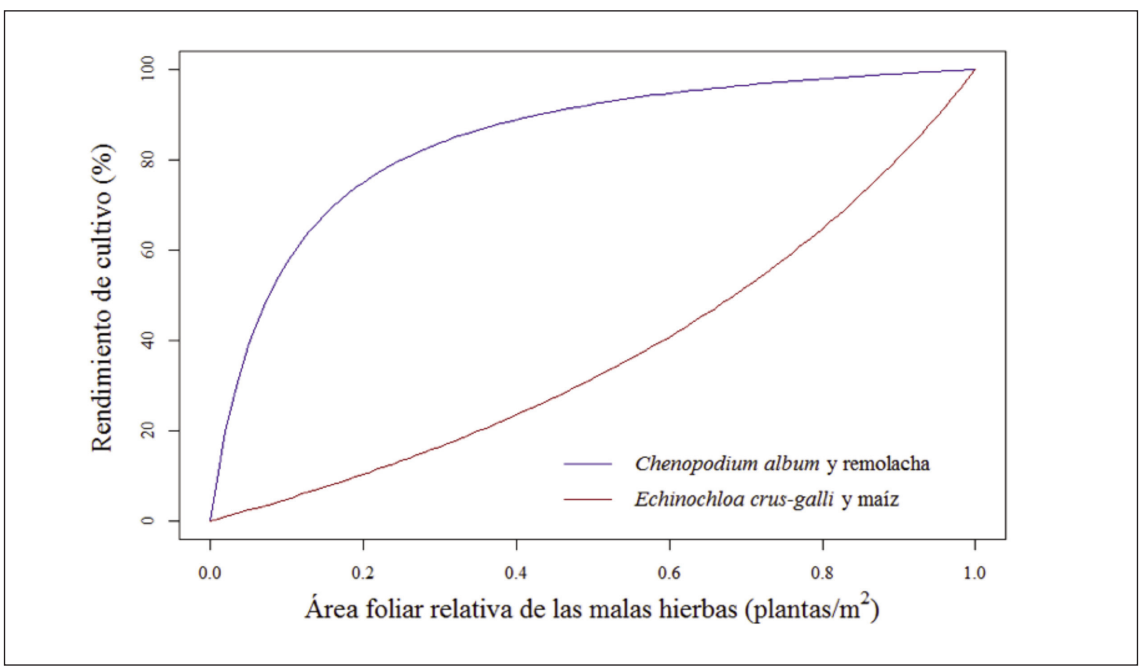


Figura 5. Curvas hiperbólicas usando el área foliar de las malas hierbas para dos escenarios de cultivo y maleza, *C. album* con remolacha y *E. crus-galli* con maíz.
Figure 5. Hyperbolic curves using leaf area of weeds in two weed-crop scenarios, C. album *with sugar-beet and* E. crus-galli *with corn.*

Un ejemplo de este modelo se expone por los mismos autores en el modelado de la competencia entre *Chenopodium album* L. y remolacha azucarera (*Beta vulgaris* L.) con un valor de *q* de 12 y entre *E. cruz-galli* y maíz con un valor de *q* de 0,46.

Una mejora del modelo hiperbólico ha sido la inclusión del efecto competitivo de más de una especie de maleza sobre el cultivo. Así, por ejemplo, Gherekhloo *et al*. (2010), definieron un índice llamado la carga competitiva total (*TCL*). Modificando la Eq. 5, se obtiene:

$$TCL = x_i + \frac{c_1}{c_i} x_1 + \ldots + \frac{c_j}{c_i} x_j \qquad [15]$$

donde x_i ($i = 1 \ldots j$) es la densidad de la maleza más competitiva, c_i es el parámetro de competencia para la especie de maleza más competitiva.

Posteriormente se incluye el *TCL* en el modelo hiperbólico de la siguiente forma:

$$Y_L = \frac{I(TCL)}{1 + \frac{I\ (TCL)}{A}} \qquad [16]$$

De esta forma los autores calcularon el *TCL* en un cultivo de trigo, en donde se encontraron tres especies de malas hierbas: *Avena ludoviciana, Convolvulus spp.* y *C. álbum* y modelaron la competencia como se muestra en la figura 6.

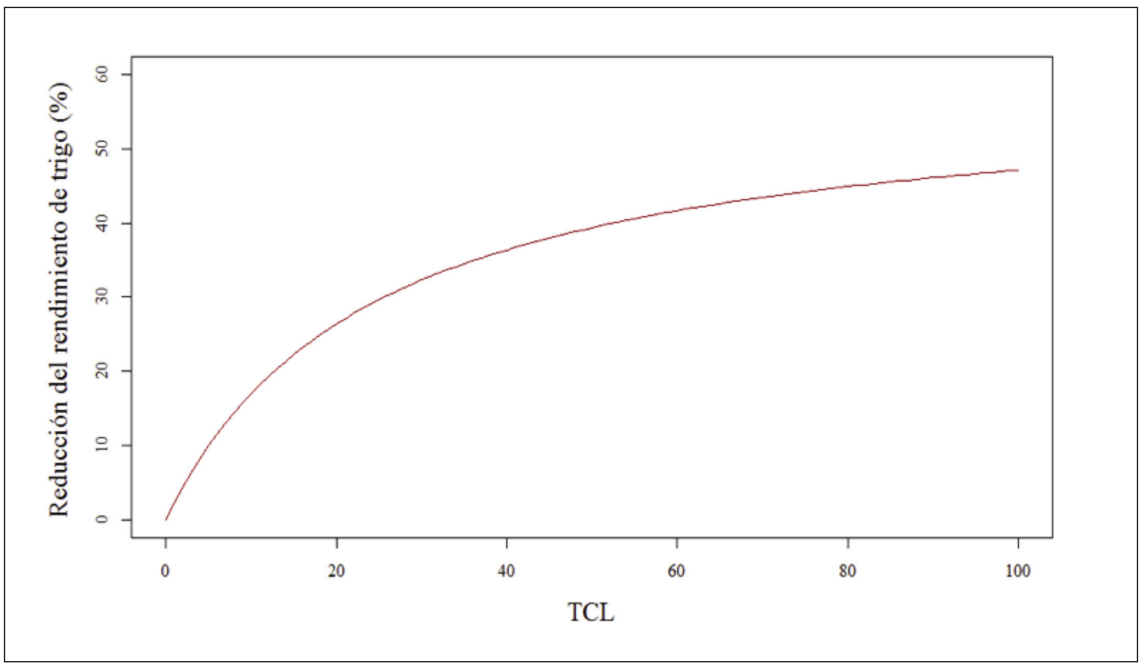


Figura 6. Curva hiperbólica de la relación entre la reducción del rendimiento de trigo y el TCL (carga competitiva total).
Figure 6. Hyperbolic curve of the relation between the yield reduction and the TCL.

Modelo sigmoidal

El modelo sigmoidal implica que a bajas densidades de malas hierbas no existe competencia con el cultivo y que por esta razón hay un "umbral" de densidad de malas hierbas en el cual no habría competencia (Cousens, 1985b; Ngouajio *et al.,* 1999). En este sentido, los modelos hiperbólico y sigmoidal son excluyentes en cuanto a la descripción de la competencia, no solo desde el punto de vista biológico en donde uno sugiere que existe competencia con la presencia de una sola planta de maleza y el otro establece un umbral de bajas densidades donde no existe competencia, sino también porque la forma de la curva es fundamental para la toma de decisiones en el control de las malas hierbas (Swanton *et al.,* 1999).

A continuación, se muestran algunas de las formas que han sido utilizadas del modelo sigmoidal:

$$Y = m + Be^{-\Phi x^2} \quad [17]$$

Donde *m*, es el rendimiento mínimo, *B* es un parámetro de curvatura y Φ es la tasa de decrecimiento.

Un ejemplo del uso de este modelo sigmoidal se encuentra en Bridges y Chandler (1987), (Figura 7), en donde se modeliza el rendimiento del algodón en función de la densidad de *Sorghum halepense* (L)Pers.

Otros modelos no lineales

Aunque los dos modelos presentados son los más populares en la literatura, especialmente el hiperbólico, otros modelos no lineales han sido propuestos. Ngouajio *et al*. (1999) presentan un modelo muy flexible que contempla la posibilidad de representar con una sola ecuación modelos hiperbólico o sigmoidal, indistintamente:

$$Y = \frac{I + A\left(\frac{L_w}{(1-L_w)\gamma}\right)^{\delta}}{1+\left(\frac{L_w}{(1-L_w)\gamma}\right)^{\delta}} \quad [18]$$

donde, γ indica la pendiente de la curva y δ es la medida de la curvatura que indica en qué punto el rendimiento empieza a disminuir.

La figura 8 presenta un ejemplo de la flexibilidad de este modelo en el cultivo de maíz. La forma sigmoidal representa una combinación del área foliar relativa conjunta de *E. crus-galli y C. album* y la forma hiperbólica representa el área foliar relativa de *C. album*

Otro modelo que ha sido utilizado es el modelo exponencial, como el presentado por Torner *et al.* (1991).

$$Y = Y_{wf}e^{-\Phi x} \quad [19]$$

A manera de ejemplo (Figura 9) se expone uno de los resultados de Ronchi y Silva (2006), en donde se relaciona la biomasa seca de arbustos de cafeto en función de la densidad de *Bidens pilosa* L.

Modelos de competencia que tienen en cuenta la distribución espacial de las malas hierbas

Las metodologías clásicas de modelado que relacionan la pérdida de rendimiento del cultivo como efecto de la abundancia de malas hierbas, consideran implícitamente que las malas hierbas están distribuidas espacialmente de forma no agregada en el cultivo (Cardina *et al.,* 1997). Sin embargo está ampliamente establecido que las malas hierbas presentan una distribución agregada (Marshall, 1988; González-Andújar y Saavedra, 2003). La no inclusión de la distribución espacial agregada de las malas hierbas en los modelos de competencia puede llevar a una predicción errónea del rendimiento y llevar a tomar decisiones de manejo equivocadas cuando se usan umbrales de acción o modelos bio-económicos (Zanin *et al.,* 1998; González-Andújar *et al.,* 2011).

Auld y Tisdell (1988) han mostrado que a medida que la distribución de las malas hier-

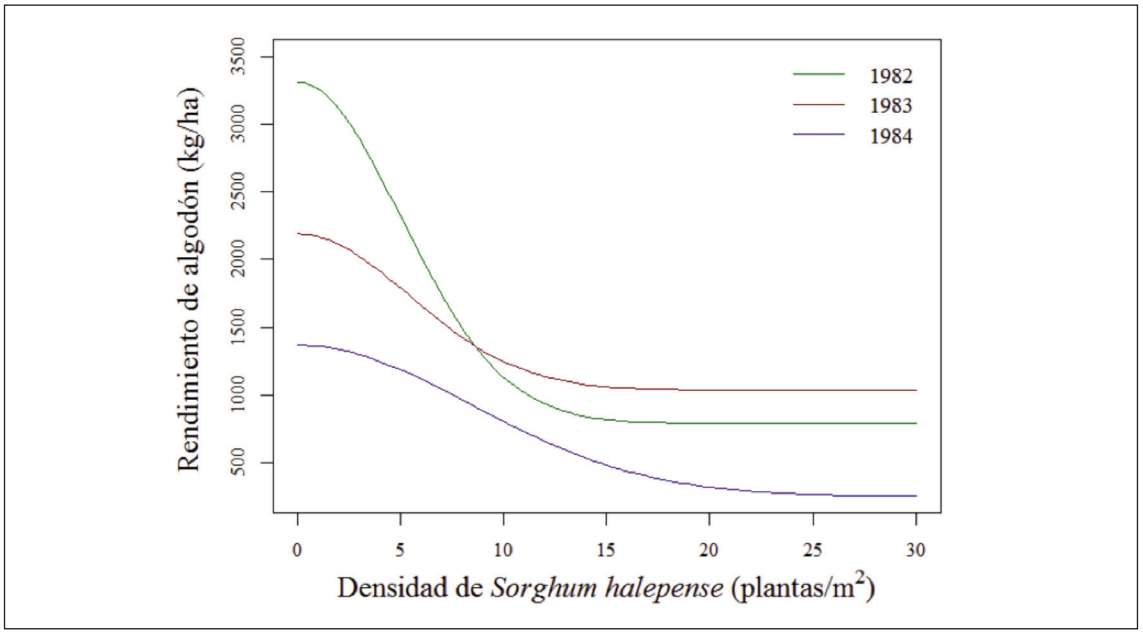


Figura 7. Curvas sigmoidales explicativas de la relación entre la densidad de *Sorghum halepense* y el rendimiento del algodón en diferentes años [Modificado de Bridges y Chandler (1987)].
Figure 7. Sigmoidal curves of the relationship between weed density and crop yield.

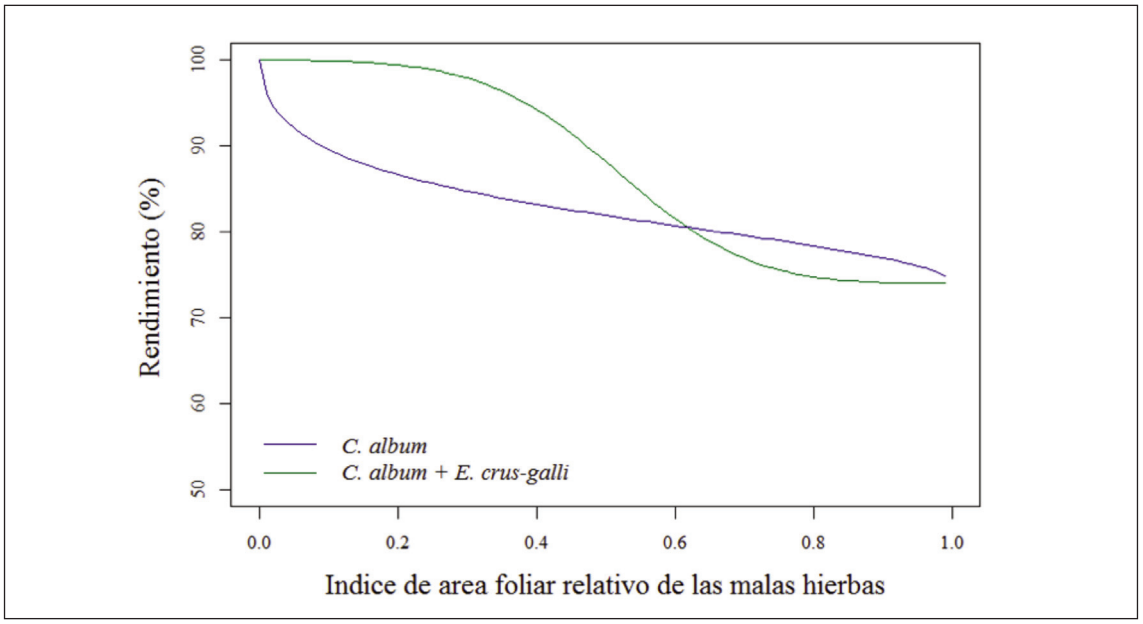


Figura 8. Ejemplo de dos curvas del modelo Eq. 21, una de forma hiperbólica para una especie y otra de forma sigmoidal para dos especies [Modificado de Ngouajio *et al.* (1999)]
Figure 8. Example of two curves of the model Eq. 21, hyperbolic for one species and sigmoid for two species.

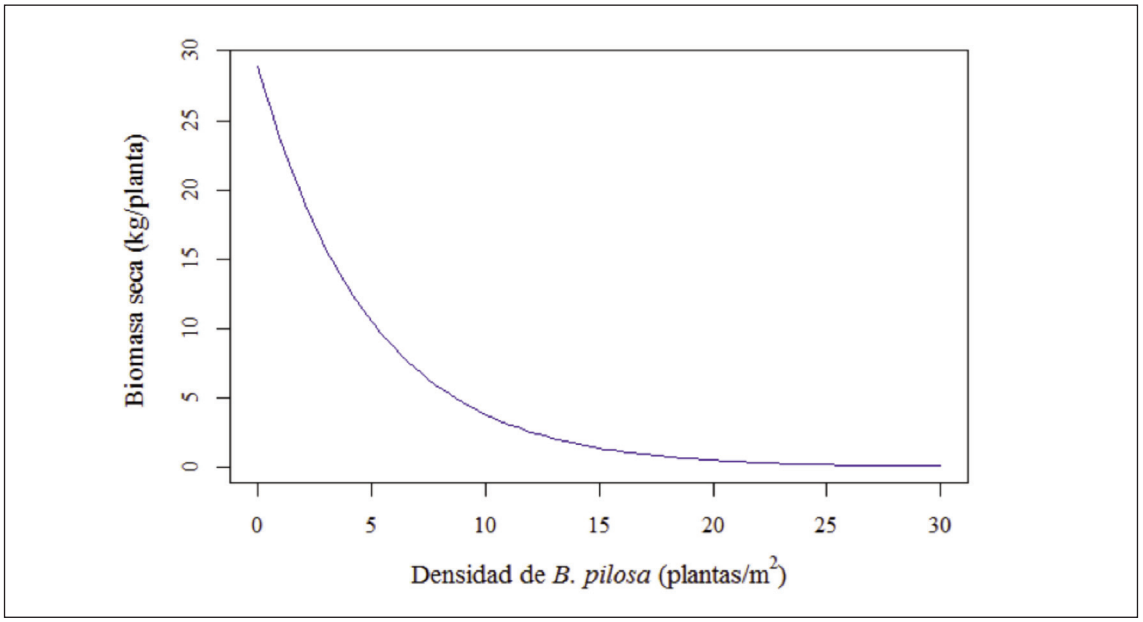


Figura 9. Curva exponencial explicativa de la relación entre la densidad de *B. pilosa* y la biomasa del cafeto [Modificado de Ronchi y Silva (2006)].
Figure 9. Exponential curve of the relationship between B. Pilosa *density and coffee tree biomass.*

bas se aleja de la uniformidad se sobreestima el daño sobre el cultivo. Norris *et al*. (2001) muestran cómo cambia la forma de la curva hiperbólica dependiendo si las malas hierbas se distribuyen de forma agregada, uniforme o aleatoria. La reducción del rendimiento del cultivo para malas hierbas con distribución espacial agregada es menor que para distribuciones uniforme y aleatoria (Fig. 10).

Se han propuesto modificaciones de los modelos de competencia para tener en cuenta la distribución espacial agregada de las malas hierbas. Algunas de ellas se basan en el uso de índices de dispersión o en índices derivados de distribuciones de frecuencias (González-Andújar y Saavedra, 2003). En este sentido, Hughes (1996), propone usar el índice de Lloyd ($\dot{x}$):

$$\dot{x} = \bar{x} + \frac{s_x^2}{\bar{x}} \qquad [20]$$

donde, $\bar{x}$ es el promedio de la densidad de malas hierbas y s_x^2 es su varianza e incluirlo en el modelo hiperbólico (Eq. 6):

$$Y_L = \frac{I\bar{x}}{1 + \frac{I}{A}\dot{x}} \qquad [21]$$

Brain y Cousens (1990) utilizan en un cultivo de trigo teniendo como maleza *Bromus sterilis* L. una aproximación similar mediante la inclusión del parámetro *k* de la distribución Binomial Negativa, que es considerado como una medida de agregación. En el mismo sentido se podría incorporar en el modelo hiperbólico índices de distancia como el índice T-cuadrado (González-Andújar y Navarrete, 1995).

La aproximación contemplada en la Eq. 21 supone la inclusión de la distribución espacial de las malas hierbas implícitamente. Es necesario el desarrollo de modelos que con-

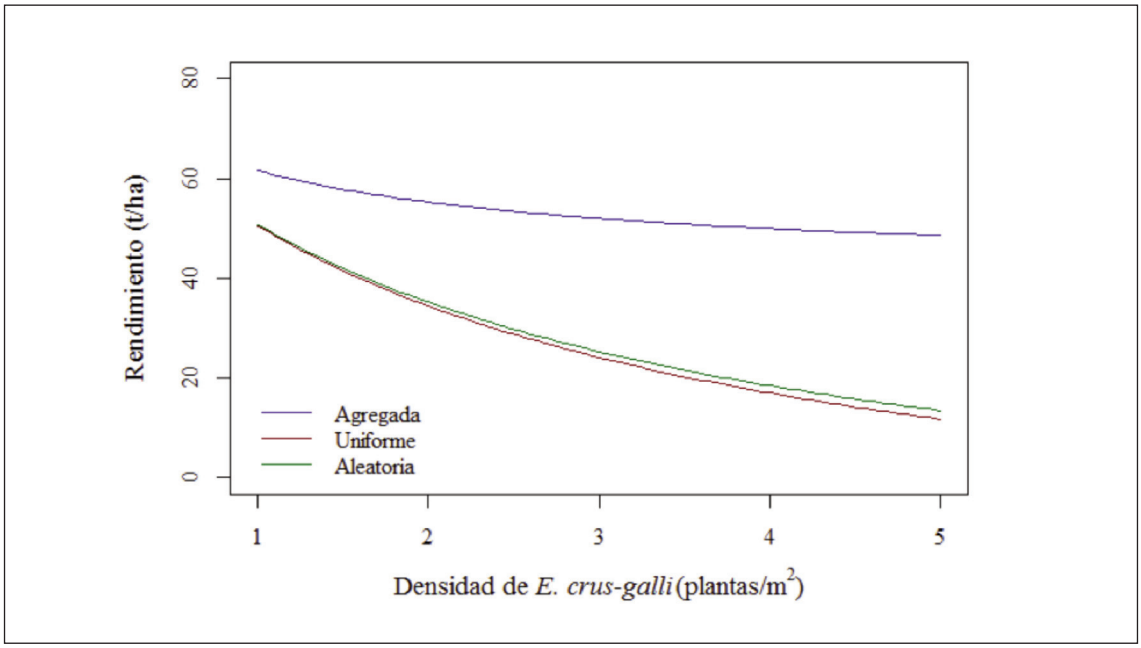


Figura 10. Diferencias de la curva hiperbólica de acuerdo a la distribución espacial de *E. crus-galli*.
Figure 10. Differences in the hyperbolic curve as the aggregation of the weeds are changed.

sideren explícitamente la distribución espacial para una aproximación más precisa a la relación competitiva maleza-cultivo y de esa forma establecer una herramienta útil para el desarrollo de la agricultura de precisión. En este sentido, una aproximación puede ser el desarrollo de modelos econométricos espaciales (Arbia, 2014), los cuales son modelos lineales que, en el contexto de la relación cultivo-malas hierbas, parten del supuesto de la existencia de autocorrelación espacial en el rendimiento de las plantas de cultivo, posiblemente también en la densidad de las malas hierbas y entre los residuos. Adaptados para estimar el rendimiento en función de la cantidad de malas hierbas se puede expresar de la siguiente forma:

$$\boldsymbol{Y} = \beta \boldsymbol{X} + \alpha \boldsymbol{W} \boldsymbol{Y} + u \quad [22]$$

$$u = \rho \boldsymbol{W} u + \varepsilon \quad [23]$$

Donde $\boldsymbol{Y}$ es un vector que representa el rendimiento; $\boldsymbol{X}$ es una matriz de variables independientes, que pueden ser medidas de abundancia de las malas hierbas (densidad, biomasa o cobertura) y de otras posibles variables bióticas o abióticas; β son parámetros que indicarían que tan competitiva es una especie. En el segundo término: α es un parámetro que cuantifica la competencia intraespecífica del cultivo, evaluado de forma autorregresiva con los rendimientos de las plantas de cultivo, esto se representa con la matriz $\boldsymbol{W}$ que pondera el efecto de cada planta de cultivo sobre sus vecinos de acuerdo a la distancia a la que se encuentran. El término del error u se considera si (Eq. 23) es diferente de cero, esto sucede si los errores tienen dependencia espacial. Si los errores son independientes se considera el error $\varepsilon \sim N(0, \sigma^2)$.

Existen cinco posibilidades dentro de este modelo de acuerdo a si las variables o el error

tienen autocorrelación o dependencia espacial, como lo expone Arbia (2014), en donde:

- $\beta = 0$ y alguna de las siguientes: α o $\rho = 0$, se conoce como modelo autorregresivo puro. En donde no habría efecto de las malas hierbas sobre el cultivo, pero si dependencia espacial del cultivo o del error.
- $\alpha = \rho \neq 0$ se conoce como el modelo de variable independiente rezagada o retardada. En donde no habría dependencia espacial de las plantas de cultivo (competencia intraespecífica), pero si efecto de las malas hierbas sobre el cultivo (modelo lineal).
- $\alpha = 0$, $\rho \neq 0$ se conoce como modelo espacial retardado. En donde existe dependencia espacial del rendimiento del cultivo y efecto de las malas hierbas.
- $\alpha \neq 0$, $\rho = 0$ se conoce como modelo espacial del error. En donde existe efecto de las malas hierbas sobre el cultivo y dependencia espacial de alguna variable no medida (error) pero no del rendimiento.
- $\alpha \neq 0$, $\rho \neq 0$ se conoce como modelo completo. En donde hay efecto de las malas hierbas y existe dependencia espacial tanto del rendimiento del cultivo como del error.

Este modelo al contemplar la dependencia espacial de las plantas de cultivo, puede describir con más precisión la relación entre densidad de malas hierbas y el rendimiento que los modelos lineales, pero también, dentro de los posibles desarrollos de este tipo de modelos existe la posibilidad de crear y ajustar una matriz de pesos perteneciente a las malas hierbas, por lo cual se tendrían que construir dos matrices ***W***: una para el cultivo $\boldsymbol{W_c}$ y otra para las malas hierbas $\boldsymbol{W_w}$.

La matriz $\boldsymbol{W_w}$ representa la cantidad de malas hierbas (densidad, biomasa o cobertura) que existe entre cada planta de cultivo y cada una de sus vecinas. Por lo que intrínsecamente también contempla las distancias entre estas y por lo tanto su distribución espacial.

Encontrar la relación entre la matriz del cultivo y la matriz de malas hierbas o ajustar un modelo usando ambas podría aportar al entendimiento de la relación entre la abundancia de las malas hierbas y el rendimiento del cultivo, teniendo en cuenta la dependencia espacial del rendimiento, de las malas hierbas y su distribución espacial.

De acuerdo con lo anterior, se proponen dos modelos:

$$\boldsymbol{Y} = \beta \boldsymbol{X} + \alpha \boldsymbol{W_c} Y + \lambda \boldsymbol{W_w} \boldsymbol{Y} + u \qquad [24]$$

o

$$\boldsymbol{Y} = \beta \boldsymbol{X} + \alpha \left(\boldsymbol{W_c} \ . \boldsymbol{W_w} \right) \boldsymbol{Y} + u \qquad [25]$$

En estos casos, $\beta \boldsymbol{X}$ se puede eliminar o se pueden incluir variables diferentes a las malas hierbas (bióticas o abióticas), incluso términos de efectos fijos como los bloques y repeticiones de un ensayo (Shukla y Subrahmanyam, 1999), y λ es un parámetro que indica el efecto interespecífico autorregresivo de las malas hierbas.

El desarrollo de este tipo de modelos requiere una gran cantidad de datos que son costosos de obtener, pero los avances en detección remota y nuevas técnicas estadísticas espaciales pueden facilitar la toma de los mismos y reducir los costes sustancialmente.

Conclusiones

Un aspecto clave de la Malherbología es el establecimiento del daño que van a producir las malas hierbas en los cultivos. Los modelos empíricos han sido una de las herramientas que más se han utilizado para predecir la reducción del rendimiento de los cultivos y han sido piezas importantes en los sistemas de ayuda a la decisión. Los modelos lineales fueron los primeros desarrollados pero pusieron de manifiesto importantes limitaciones para ser utilizados como modelos explicativos

de la relación mala hierba-cultivo. Los modelos no lineales presentan una mejor explicación de dicha relación sobre todo a media y altas densidades de infestación. En las últimas décadas el modelo hiperbólico ha emergido como el más popular, debido a que presenta un buen balance entre capacidad explicativa y simplicidad, además ha sido modificado para corregir las limitaciones que presentaba en su versión inicial como la diferencia en el tiempo de emergencia del cultivo y las malas hierbas. El auge de la agricultura de precisión ha vuelto a poner énfasis en la necesidad de conocer la distribución espacial de las malas hierbas y la necesidad de desarrollo de modelos espaciales de relación malas hierbas-cultivo que permitan establecer nuevas herramientas de ayuda a la toma de decisiones.

Agradecimientos

A la Facultad de Ciencias Agrarias, la Universidad Nacional de Colombia, Colciencias y el programa de becas para doctorados nacionales 647, por el apoyo económico para la realización de la estancia doctoral.

Al Dr. Enrique Darghan por la fundamentación en el uso agrícola de los modelos econométricos espaciales.

Referencias bibliográficas

Arbia G (2014). A primer for spatial econometrics with applications in R. Palgrave Macmillan, London, England. 230 pp. https://doi.org/10.1057/9781137317940

Auld BA, Tisdell CA (1988). Influence of spatial distribution of weeds on crop yield loss. Plant Protection Quarterly 3(2): 81.

Bosnic AC, Swanton CJ (1997). Influence of barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*) time of emergence and density on corn (*Zea mays*). Weed Science 45(2): 276-282.

Brain P, Cousens R (1990). The effect of weed distribution on predictions of yield loss. Journal of Applied Ecology 27(2): 735-742. https://doi.org/10.2307/2404315

Bridges DC, Chandler JM (1987). Influence of johnsongrass (*Sorghum halepense*) density and period of competition on cotton yield. Weed Science 35: 63-67.

Cardina J, Johnson GA, Sparrow DH (1997). The nature and consequence of weed spatial distribution. Weed Science 45(3): 364-373.

Clements FE, Weaver JE, Hanson HC (1929). Plant competition: an analysis of community function. Carnegie Institution of Washington, Washington D.C., EEUU. 340 pp.

Cousens R (1985a). A simple model relating yield loss to weed density. Annals of Applied Biology 107(2): 239–252. https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.1985.tb01567.x

Cousens R (1985b). An empirical model relating crop yield to weed and crop density and a statistical comparison with other models. The Journal of Agricultural Science 105(3): 513-521. https://doi.org/10.1017/S0021859600059396

Cousens R, Brain P, O'Donovan JT, O'Sullivan PA (1987). The use of biologically realistic equations to describe the effects of weed density and relative time of emergence on crop yield. Weed Science 35(5): 720-725.

Deen W, Cousens R, Warringa J, Bastiaans L, Carberry P, Rebel K, Riha S, Murphy C, Benjamin LR, Cloughley C, Cussans J, Forcella F, Hunt T, Jamieson P, Lindquist J, Wang E (2003). An evaluation of four crop: Weed competition models using a common data set. Weed Research 43(2): 116-129. https://doi.org/10.1046/j.1365-3180.2003.00323.x

Dew DA (1972). An index of competition for estimating crop loss due to weeds. Canadian Journal of Plant Science 52: 921-927. https://doi.org/10.4141/cjps72-159

Gherekhloo J, Noroozi S, Mazaheri D, Ghanbari A, Ghannadha MR, Vidal RA, De Prado R (2010). Multispecies weed competition and their economic threshold on the wheat crop. Planta Daninha 28(2): 239-246. http://dx.doi.org/10.1590/S0100-83582010000200002

Gomez KA, Gomez AA (1984). Statistical procedures for agricultural research. 2nd. Ed. John Wiley & Sons, Inc, EEUU. 680 pp.

González-Andújar JL, Fernández-Quintanilla C, Torner C (1993). Competencia entre la avena loca (*Avena sterilis* L) y el trigo de invierno: comparación de modelos empíricos. Investigación Agraria: Producción y Protección Vegetales 8(3): 425-430.

González-Andújar JL, Navarrete L (1995). Aplicación del índice de distancias t-cuadrado al estudio de las distribución espacial de las malas hierbas. Investigación Agraria Producción y Protección Vegetales 10(2): 295-299.

González-Andújar JL, Saavedra M (2003). Spatial distribution of annual grass weed populations in winter cereals. Crop Protection 22(4): 629-633. https://doi.org/10.1016/S0261-2194(02)00247-8

González-Andújar JL, Fernández-Quintanilla C, Bastida F, Calvo R, Izquierdo J, Lezaun JA (2011). Assessment of a decision support system for chemical control of annual ryegrass (*Lolium rigidum*) in winter cereals. Weed Research 51(3): 304-309. https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.2011.00842.x

González-Andújar JL, Chantre GR, Morvillo C, Blanco AM, Forcella F (2016). Predicting field weed emergence with empirical models and soft computing techniques. Weed Research 56(6): 415-423. https://doi.org/10.1111/wre.12223

González-Díaz L, Blanco-Moreno JM, González-Andújar JL (2015). Spatially explicit bioeconomic model for weed management in cereals: validation and evaluation of management strategies. Journal of Applied Ecology 52(1): 240-249. https://doi.org/10.1111/1365-2664.12359

Holst N, Rasmussen IA, Bastiaans L (2007). Field weed population dynamics : a review of model approaches and applications. Weed Research 47: 1-14. https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.2007.00534.x

Hughes G (1996). Incorporating spatial pattern of harmful organisms into crop loss models. Crop Protection 15(5): 407-421. https://doi.org/10.1016/0261-2194(96)00003-8

Kropff MJ, Spitters CJT (1991). A simple model of crop loss by weed competition from early observations on relative leaf area of the weeds. Weed Research 31: 97-105. https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.1991.tb01748.x

Kropff MJ, van Laar HH (1993). Modelling crop-weed interactions. CAB International Wallingford, UK. 304 pp.

Labrada R, Caseley JC, Parker C (1996). Manejo de Malezas para Países en Desarrollo. Estudio FAO Producción y Portección vegetal 120. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma, Italia. 379 pp.

Marshall E (1988). Field-scale estimates of grass weed populations in arable land. Weed Research 28(3): 191-198. https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.1988.tb01606.x

Mcmaster GS, Wilhelm WW (1997). Growing degree-days: one equation, two interpretation. Agricultural and Forest Meteorology 87: 291-300. https://doi.org/10.1016/S0168-1923(97)00027-0

Ngouajio M, Leroux G, Lemieux C (1999). A flexible sigmoidal model relating crop yield to weed relative leaf cover and its comparison with nested models. Weed Research 39(4): 329-343. https://doi.org/10.1046/j.1365-3180.1999.00150.x

Norris RF, Elmore CL, Rejmánek M, Akey WC (2001). Spatial arrangement, density, and competition between barnyardgrass and tomato: I. Crop growth and yield. Weed Science 49(1): 61-68.

O'Donovan JT, de St. Remy EA, O'Sullivan PA, Dew DA, Sharma AK (1985). Influence of the relative time of emergence of wild oat (*Avena fatua*) on yield loss of barley (*Hordeum vulgare*) and wheat (*Triticum aesitvum*). Weed Science 33: 498-503.

Oerke EC (2006). Crop losses to pests. The Journal of Agricultural Science 144: 31-43. https://doi.org/10.1017/S0021859605005708

Radosevich SR (1987). Methods to study interactions among crops and weeds. Weed Technology 1: 190-198. https://doi.org/10.1017/S089003 7X00029523

Radosevich SR, Holt JS, Ghersa CM (2007). Ecology of weeds and invasive plants: Relationship to agriculture and natural resource management. 3rd Ed. John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey, EEUU. 472 pp.

Rejmánek M, Robinson GR, Rejmánková E (1989). Weed-crop competition: experimental designs and models for data analysis. Weed Science 37(2): 276-284.

Renton M, Chauhan BS (2017). Modelling crop-weed competition: Why, what, how and what lies ahead? Crop Protection 95: 101-108. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2016.09.003

Ronchi CP, Silva AA (2006). Effects of weed species competition on the growth of young coffee plants. Planta Daninha 24(3): 415-423. https://doi.org/10.1590/S0100-83582006000300001

Shukla G, Subrahmanyam GS (1999). A Note on an exact test and confidence interval for competition and overlap effects. Biometrics 55: 273-276. https://doi.org/10.1111/j.0006-341X.1999.00273.x

Spitters CJT (1983). An alternative approach to the analysis of mixed cropping experiments. I. Estimation of competition effects. Netherland Journal of Agricultural Science 31: 1-11.

Swanton CJ, Weaver S, Cowan P, Van Acker R, Deen W, Shreshta A (1999). Weed thresholds: theory and applicability. Journal of Crop Production 2(1): 9-29.

Swanton CJ, Nkoa R, Blackshaw RE (2015). Experimental methods for crop-weed competition studies. Weed Science 63(SP1): 2-11. https://doi.org/10.1614/WS-D-13-00062.1

Torner C, González-Andújar JL, Fernández-Quintanilla C (1991). Wild oat (*Avena sterilis* L) competition with winter barley: plant density effects. Weed Research 31(5): 301-307. https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.1991.tb01770.x

Torra J, Cirujeda A, Recasens J, Taberner A, Powles SB (2010). PIM (Poppy Integrated Management): a bio-economic decision support model for the management of *Papaver rhoeas* in rainfed cropping systems. Weed Research 50(2): 127-139. https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.2010.00761.x

Zanin G, Berti A, Riello L (1998). Incorporation of weed spatial variability into the weed control decision-making process. Weed Research 38(2): 107-118. https://doi.org/10.1046/j.1365-3180.1998.00074.x

Zimdahl RL (2004). Weed-Crop Competition. A Review (Second Edi). Blackwell Publishing. 220 pp. https://doi.org/10.1002/9780470290224

Zimdahl RL (2007). Fundamentals of weed science. 3rd. Ed. Elsevier. https://doi.org/10.1016/0378-4290(95)90065-9

(Aceptado para publicación el 20 de marzo de 2019)

Caracterización de la respuesta adaptativa a sequía de dos cultivares de melocotonero en condiciones de aridez

B. Bielsa[1], J. García-Brunton[2], M.A. Sanz[3] y M.J. Rubio-Cabetas[1,*]

[1] Unidad de Hortofruticultura, Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón, Instituto Agroalimentario de Aragón – IA2 (CITA-Universidad de Zaragoza), Avda. Montañana 930, 50059 Zaragoza, España

[2] Departamento de Producción Vegetal y Agrotecnología, Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Alimentario (IMIDA), C/ Mayor s/n 30150 La Alberca, Murcia, España

[3] Área de Laboratorios de Análisis y Asistencia Tecnológica. Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA), Av. Montañana 930, 50059, Zaragoza, España

Resumen

Se evaluó la respuesta a sequía de dos cultivares de melocotonero con distinta época de maduración, 'Ufo-3' y 'Fergold', injertados sobre el patrón híbrido almendro × melocotonero, 'Garnem', en los veranos de 2015 y 2016 en Murcia, España. En poscosecha, los árboles se sometieron a 5 días sin riego y, posteriormente, a 5 días de recuperación de riego. Se evaluó el estado hídrico del árbol, el intercambio gaseoso, así como el contenido en ácido abscísico (ABA) foliar. Se comprobó un descenso del contenido hídrico del suelo (CHS), que ocasionó la reducción del potencial hídrico foliar (PHF) y el cierre estomático. Reiniciado el riego, el estado hídrico de los árboles estresados fue recuperado. Se observó una correlación negativa entre el PHF y el uso eficiente del agua intrínseco (UEAi) en 2015, indicando una posible estrategia de tolerancia mediante la cual se conservase la capacidad fotosintética, a pesar de los bajos valores de conductancia estomática (gs) y PHF. Por otra parte, la regulación del cierre estomático observada en los árboles estresados no fue provocada por la acumulación de ABA. Esta evaluación agronómica permitirá una mayor comprensión del posible efecto del patrón 'Garnem' en la adaptación fisiológica y bioquímica a la sequía y su comportamiento en recuperación bajo condiciones de campo áridas de los cultivares de melocotonero injertados.

Palabras clave: Estrés hídrico, híbrido almendro × melocotonero, intercambio gaseoso, patrón, *Prunus*, uso eficiente del agua.

Characterization of drought-adaptive response of two peach cultivars in arid conditions

Abstract

The drought response of two peach cultivars with different fruit maturation periods, 'Ufo-3' and 'Fergold', grafted onto the interspecific hybrid almond × peach rootstock 'Garnem', was evaluated during summers 2015 and 2016 in an experimental plot located at Murcia, Spain. After fruit harvest, the trees were subjected to of 5 days without irrigation, followed by a re-watering period of 5 days. The tree wa-

* Autor para correspondencia: mjrubioc@cita-aragon.es

Cita del artículo: Bielsa B, García-Brunton J, Sanz MA, Rubio-Cabetas MJ (2019). Caracterización de la respuesta adaptativa a sequía de dos cultivares de melocotonero en condiciones de aridez. ITEA-Información Técnica Económica Agraria 115(4): 307-325. https://doi.org/10.12706/itea.2019.010

ter status, the gas exchange, as well as the foliar abscisic acid (ABA) accumulation were evaluated. A decrease in soil water content (SWC) was verified, which caused the reduction of midday leaf water potential (LWP) and the induction of stomatal closure. Once irrigation was restored, the water status of stressed trees was recovered. A negative strong correlation between the LWP and the intrinsic water use efficiency (iWUE) was found only in 2015, suggesting a possible drought tolerance strategy that allowed maintaining the photosynthetic capacity, despite the low values of stomatal conductance (gs) and the LWP. On the other hand, the stomatal closure regulation observed in stressed trees is not caused by the accumulation of ABA. This agronomic evaluation will allow a better understanding of the possible effect of the 'Garnem' rootstock on the physiological and biochemical adaptation to drought and its behaviour in recovery period on arid field conditions of the grafted peach cultivars.

Keywords: Almond × peach hybrid, gas exchange, leaf water potential, *Prunus*, rootstock, water stress, water use efficiency.

Introducción

El melocotonero es una de las especies con mayor importancia dentro del género *Prunus*. España es el segundo productor a nivel mundial de melocotón, solo por detrás de China (FAOSTAT, 2018). Las principales zonas españolas productoras de melocotón son el Valle del Ebro y Murcia (MAPAMA, 2018). Estas regiones destacan a nivel edafoclimatológico por sus largos períodos secos con alta radiación y temperatura, y la semiaridez de sus suelos (Barradas *et al*., 2005), favorables para el desarrollo de diferentes estreses abióticos como la sequía. Aunque el cultivo del melocotonero actualmente se realiza en regadío, la producción de fruta se ve afectada bajo estas condiciones ambientales limitantes (Romero y Botía, 2006).

En periodos de sequía, como consecuencia de la falta de agua en el suelo, las plantas disminuyen su estado hídrico, provocando la puesta en marcha de diferentes mecanismos de respuesta en función de su estrategia: de escape, de evitación o de tolerancia al estrés (Blum, 2016). Estos mecanismos están asociados a la regulación de procesos fisiológicos y bioquímicos tales como el cierre estomático, el ajuste osmótico, la estabilidad de las membranas celulares y modificaciones en el crecimiento (Verslues *et al*., 2006; Blum, 2016). Una de las fitohormonas más importantes en estos procesos es el ácido abscísico (ABA), la cual está involucrada en la regulación del cierre estomático bajo condiciones de estrés (Kim *et al*., 2010; Tombesi *et al*., 2015). La falta de agua en el suelo, hace que aumente la acumulación de ABA en las raíces, desencadenando una señal bioquímica que provoca un aumento de ABA foliar, el cual induce el cierre estomático con el fin de mantener el estado hídrico de la planta, a costa de limitar la asimilación de carbono (Kim *et al*., 2010; Tombesi *et al*., 2015; Blum, 2016). La conductancia estomática (gs) disminuye como resultado del descenso del potencial hídrico foliar (PHF) (Romero y Botía, 2006) y, por tanto, esta disminución de la disponibilidad de CO_2 hace que la fotosíntesis se vea afectada, al igual que la transpiración (Chaves *et al*., 2009).

Uno de los factores más importantes asociados con la adaptación a la sequía en plantas es la eficiencia del uso del agua (UEA) (Blum, 2009). Las plantas tolerantes a la sequía son capaces de aumentar su UEA bajo estrés hídrico como consecuencia de la relación no lineal entre la asimilación de CO_2 en la fotosíntesis y la pérdida de agua transpirada, estando relacionado con la productividad de las plantas bajo condiciones de sequía (Medrano *et al*., 2015). Así, las plantas para ser eficientes bajo condiciones de sequía, necesitan equilibrar su intercambio gaseoso para

asimilar la máxima cantidad de CO_2 en la fotosíntesis, minimizando la pérdida de agua por transpiración y como consecuencia, maximizando el uso del agua del suelo (Blum, 2009).

Debido a que el sistema radicular de las plantas es el responsable de la absorción de agua y nutrientes, es imprescindible seleccionar patrones adaptados a condiciones de cultivo desfavorables como el estrés hídrico provocado por la sequía y la influencia de este sobre la variedad injertada en cuanto a transpiración y balance hídrico, entre otros factores. Esta influencia ha sido analizada en estudios previos bajo diferentes déficits hídricos y en distintos *Prunus* especialmente en melocotonero (García Brunton *et al*., 2004; Martinazzo *et al*., 2011; Jiménez *et al*., 2013; Rickes *et al*., 2017). En la actualidad, el principal reto en los programas de mejora en patrones es la creación de híbridos interespecíficos en los que se combinen caracteres de interés de diferentes especies de *Prunus*. Entre estas destacan las obtenciones híbridas, procedentes del cruzamiento entre el almendro 'Garfi' [*Prunus amygdalus* Batsch, syn *P. dulcis* (Mill.)] y el melocotonero 'Nemared' [*P. persica* (L.) Batsch], 'Garnem', 'Felinem' y 'Monegro', seleccionadas en el Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA) cuyas características principales son el vigor, la resistencia a nematodos y la adaptación a suelos calcáreos (Felipe, 2009), así como su tolerancia a la sequía (Bielsa *et al*., 2016, 2018a y 2018b).

En los últimos años, el desarrollo de nuevas técnicas como las *-ómicas* han facilitado la identificación de genes candidatos involucrados en los mecanismos de señalización molecular, permitiendo una mayor comprensión de la respuesta a sequía (Bielsa *et al*., 2018b). Esta información molecular, en su mayoría, está asociada a una respuesta fisiológica, que generalmente se ha obtenido en condiciones experimentales específicas y controladas. Es conocido que los árboles se comportan de forma diferente en condiciones de campo. Corroborando esta afirmación, Arndt *et al*. (2000) descubrieron un grado de tolerancia a la sequía en melocotoneros en condiciones de campo. En cambio, evidenciaron una falta de ajuste osmótico en plantas de melocotonero bajo condiciones controladas de sequía en invernadero. Así pues, comprender la respuesta fisiológica en campo es una cuestión crucial en los programas de mejora de portainjertos.

En este contexto, el objetivo de nuestro estudio fue determinar la respuesta fisiológica y bioquímica en condiciones de campo al estrés hídrico provocado por la sequía, así como, una vez restaurado el aporte hídrico, comprender su comportamiento en el proceso de recuperación de sus funciones homeostáticas. En particular, evaluamos el intercambio gaseoso y el estado hídrico de la planta, teniendo en cuenta la acumulación de ABA foliar en dos cultivares de melocotonero con diferentes épocas de maduración: la variedad de melocotón plano, 'Ufo-3' (maduración a finales de mayo), y el melocotonero de futo amarillo, 'Fergold' (maduración a principios de julio), ambos injertados en el híbrido interespecífico 'Garnem'. El experimento se llevó a cabo en poscosecha debido a que esta fase es clave para mantener la absorción de nutrientes, así como la producción de fotoasimilados que se utilizarán en el cercano período de formación y desarrollo de yemas y en la posterior floración (Timm *et al.*, 2007).

Material y métodos

Material vegetal y diseño experimental en campo

La evaluación de la respuesta a sequía se llevó a cabo en dos cultivares de melocotonero [*Prunus persica* (L.) Batsch] con diferentes necesidades de frío y épocas de maduración de fruto 'Ufo-3' (500 c.u. – maduración a finales de mayo) y 'Fergold' (750 c.u. – madu-

ración a principios de julio), injertados en el verano de 2013 sobre el patrón híbrido interespecífico almendro × melocotonero 'Garnem' [*P. amygdalus* Batsch, syn *P. dulcis* (Mill.) × *P. persica* (L.) Batsch]. En 2014, se establecieron en campo con un marco de plantación de 5 × 2,5 m en una parcela experimental localizada en las instalaciones del IMIDA en El Jimenado (Torre Pacheco, Murcia, 37° 45' 33,5" N, 1° 01' 33,5" W). El sistema de riego era por goteo automatizado, incluyendo dos líneas de irrigación por fila y cuatro goteros (caudal de riego de 2 l h^{-1}) por cada árbol. La cosecha se llevó a cabo en dos fechas distintas para cada año experimental (2015: 'Ufo-3'en los días 25 y 30 de mayo; 'Fergold' en los días 2 y 6 de julio; 2016: 'Ufo-3' en los días 22 y 27 de mayo; 'Fergold' en los días 27 junio y 1 julio) cogiendo los frutos de cada árbol y contando el número de frutos y su peso total; calculando los valores medios de cada bloque experimental de cada variable productiva y el error estándar, además de las medias de cada variedad y año. Tras dicha cosecha, el nivel de riego se redujo al 50% de su capacidad de campo (CC) ya que, una vez realizada la recolección, los requerimientos hídricos disminuyen, pudiendo así controlar el crecimiento vegetativo en poscosecha. El tiempo de riego establecido en el momento del experimento fue en 2015 de 2 h / día y en 2016 de 1,5 h / día desde las 9:00 (UTC +2) en ambos años.

El experimento de sequía se llevó a cabo con un diseño experimental aleatorio de 12 bloques completos (6 por cada experimento) con 10 repeticiones, y dos guardas por cada cultivar y bloque de tratamiento, llegando a un número total de 135 árboles, en dos años consecutivos: en 2015, del 10 al 20 de julio y en 2016, del 16 al 26 de septiembre, con el fin de evaluar si las condiciones climáticas son similares durante todos los meses del año en una zona con aridez muy alta. Se determinaron dos tratamientos de irrigación: control y estresado. Los árboles control mantuvieron el nivel de riego deficitario al 50% de su CC establecido tras la cosecha, con el régimen de riego detallado anteriormente a lo largo del experimento, mientras que los árboles pertenecientes al grupo estrés fueron sometidos a 5 días sin riego. Tras estos 5 días sin suministro de agua, el riego fue reestablecido con el mismo régimen hídrico que los árboles control. Los valores medios climáticos durante los dos periodos experimentales fueron los siguientes: temperatura media de 26,65 °C; humedad relativa de 64,3%; radiación solar de 28,66 MJ m^{-2} $día^{-1}$; sin precipitación; y evapotranspiración de referencia (ETo) de 6,12 mm $día^{-1}$ durante el periodo de 2015; y temperatura media de 21,89 °C; humedad relativa de 63,33%; radiación solar de 19,25 MJ m^{-2} $día^{-1}$; sin precipitación; y ETo de 3,70 mm $día^{-1}$ durante el periodo de 2016.

Evaluación del estado hídrico del suelo y del árbol

La humedad del suelo fue calculada mediante un sensor portátil de capacitancia (Diviner, 200, Sentek Pty. Ltd. Australia). Para ello se colocaron tubos de acceso de 1 m de profundidad a 30 cm del emisor y 20 cm de la línea portagotero, en la zona de influencia del bulbo húmedo y del sistema radicular, para cada uno de los bloques tratamiento. Las medidas se tomaron a intervalos de 10 cm hasta la profundidad máxima de 100 m entre las 12:00 y las 13:00 h (UTC +2) en los 0 y 5 días de tratamiento de estrés y a los 5 días de recuperación del estado hídrico.

El potencial hídrico foliar (PHF) fue calculado en cada bloque: tratamiento en hojas adultas del tercio medio superior de una rama mediante una cámara de presión de Scholander (Soil Moisture Equipment Corp. Santa Barbara, CA, EEUU) (Scholander *et al*., 1964) con tres repeticiones biológicas entre las 12:00 y las 13:00 h (UTC +2) en los días 0 y 5 del periodo de estrés y a los 5 días tras el periodo de recuperación.

El contenido relativo en agua en hoja (CRA) se estimó en cada bloque: tratamiento con dos repeticiones biológicas, según estudios previos (Barrs y Weatherley, 1962), en hojas recogidas a las 9:00 h (UTC +2). Brevemente, tres discos foliares de 1 cm de diámetro se pesaron (P) y, posteriormente se rehidrataron por inmersión en agua desionizada en placas *petri* durante 4 h a temperatura ambiente para alcanzar su peso en turgencia (PT). Finalmente, los discos foliares se sometieron a una temperatura de 80 °C durante 24 h en estufa para obtener el peso seco (PS). El CRA se calculó con la siguiente ecuación:

$$\text{CRA } \% = \frac{P - PS}{PT - PS} \times 100$$

Evaluación del intercambio gaseoso

Se tomaron valores de conductancia estomática (gs), fotosíntesis neta o asimilación de CO_2 (An), transpiración (E) y concentración de CO_2 intracelular (Ci) para evaluar el intercambio gaseoso foliar en cada bloque: tratamiento en hojas del tercio medio superior de la rama mediante el sistema portátil de Li-6400XT (Li-Cor Biosciences, Lincoln, NE, EEUU) teniendo en cuenta dos repeticiones biológicas (dos hojas por árbol). Además, el índice de uso eficiente del agua intrínseco (UEAi) se calculó como la relación. Las medidas se realizaron entre las 12:00 y las 13:00 h (UTC +2) los días 0 y 5 de estrés y a los 5 días de recuperación de riego.

Determinación del contenido de ácido abscísico foliar

Extracción de ácido abscísico

Las hojas se muestrearon por duplicado al inicio del experimento (día 0) para cada bloque del tratamiento control, tomando su valor como valor inicial y para cada bloque: tratamiento, control y estresado, en los días 5 de estrés y a los 5 días de recuperación, y se almacenaron a -80 °C. Después de liofilizar, se molieron homogéneamente en el triturador criogénico 6875 Freezer/Mill® High Capacity Cryogenic Grinder (SPEX®SamplePrep, INC., Reino Unido) con nitrógeno líquido. Para la extracción 5 mg de muestra pulverizada se trataron con 3 ml de una mezcla de acetona: agua:ácido fórmico (80:19:1, v/v/v) con agitación a 2000 rpm durante 30 min (Multi Reax Shaker, Heidolph Instruments, Schwabach, Alemania) y se centrifugó a 1000 ×*g* durante 15 min a 4 °C (Medifriger, Selecta, Barcelona, España) El proceso se repitió dos veces, se reunieron los extractos y se eliminó la cetona con una corriente de nitrógeno (SBHCONC/1 model; Stuart, Fisher Scientific Bioblock, Illkirch, Francia). Al extracto acuoso se le añadió el mismo volumen de dietil éter, se agitó y se separó. Se repitió dos veces y la capa orgánica se llevó a sequedad con nitrógeno. El extracto seco se redisolvió en 1 ml de metanol al 70% acidificado con 0,1% de ácido fórmico y se filtró (0,45 m, 13 mm Nylon, Sartorius).

Determinación de ácido abscísico por espectrometría de masas

Para la identificación de ácido abscísico (ABA) se utilizó el sistema UPLC-TQD (ACQUITY, Waters, Manchester, Reino Unido) equipado con una columna Excel 2 C18-AR (50 × 2,1 mm, ACE, Reino Unido) estabilizada a 40 °C. La fase móvil utilizada estuvo constituida por metanol 70% (disolvente A) y acetonitrilo 90% (AN) (disolvente B) con 0,1% de ácido fórmico. El gradiente se programó para cambiar linealmente: 0-1 min, 100% A; 1-2,5 min, 100-50% A; 2,5-2,8 min, 50% A; y 2,8-3 min, 100% A, con 2 min de equilibrio antes de la siguiente inyección. El flujo y el volumen de inyección fueron de 0,15 ml min^{-1} y 20 l, respectivamente.

Las condiciones del electrospray fueron las siguientes: modo de ionización negativo, vol-

taje capilar 3,0 kV, temperatura de la fuente 120 °C, temperatura de desolvatación 350 °C. El flujo de gas de cono se ajustó a 90 l h^{-1} y el del gas de desolvatación a 900 l h^{-1}. Como gas auxiliar y nebulizador se utilizó nitrógeno ultrapuro y como gas de colisión, argón. El voltaje del cono (V) y las energías de colisión (eV) se optimizaron para obtener la máxima señal, resultando 20V y 12 eV para [$^2H_6$]-ABA, y 15 V, 10 eV, y 12 eV para ABA.

El análisis se llevó a cabo en modo MRM (*Multiple Reaction Monitoring*), monitorizando la transición para [$^2H_6$]-ABA y ABA en *m/z* 269 → 159, 225; y 263 → 153, 219, respectivamente. Para la obtención de datos y su posterior tratamiento se utilizó el *software* MassLynx 4.1 (Waters).

Cuantificación de ABA

Para la cuantificación se utilizó el método de adición estándar. Para ello, a distintas alícuotas del extracto obtenido se le adicionó patrón de ABA en concentraciones de 0; 0,05; 0,1 y 0,25 ng μl^{-1}. Como patrón interno se adicionó 0,1 ng μl^{-1} [$^2H_6$]-ABA, preparado según Gómez-Cadenas *et al*. (2002).

Análisis estadístico

Los análisis estadísticos de los resultados obtenidos se llevaron a cabo con el paquete estadístico SPSS21 (IBM SPSS Statistics, EEUU). Primeramente, se comprobó la normalidad de todos los datos mediante el test de Kolmogorov-Smirnov. La identificación de las diferencias significativas entre los tratamientos se llevó a cabo mediante dos tipos de pruebas: (i) para los datos que presentaban una distribución normal (datos paramétricos) se realizó un análisis de la variancia de una vía (ANOVA), en el cual las diferencias significativas fueron obtenidas mediante la prueba de Duncan ($p \leq 0,05$); (ii) para los datos en los que la hipótesis de normalidad fuese descartada con un nivel de confianza del 95% (datos no paramétricos), se realizó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis ($p < 0,05$). En estas pruebas estadísticas se contemplaron cuatro variables independientes y sus interacciones: cultivar, tratamiento, día y año. Por otra parte, las diferencias significativas para las variables estudias entre los dos cultivares y entre los dos tratamientos para cada día del experimento fueron determinadas mediante la prueba *t* de Student ($p \leq 0,05$).

Para determinar la asociación entre los parámetros de intercambio gaseoso (gs, An, E, Ci), así como con el PHF el UEAi y el contenido en ABA se calculó la correlación de Pearson ($p < 0,01$) para datos paramétricos y la correlación de Spearman (Rho) para datos no paramétricos ($p < 0,01$), además de un análisis de regresión.

Resultados

Las condiciones experimentales en los años 2015 y 2016 fueron las típicas del clima Mediterráneo para la región de Murcia. Sin embargo, variables climáticas como la temperatura media, radiación solar y ETo fueron diferentes para cada año. Debido a ello, los parámetros fisiológicos presentaron variaciones significativas entre 2015 y 2016 (Tabla 1). No obstante, los resultados en las interacciones mostraron que no hubo interacción de la variable año con el resto de variables como cultivar, tratamiento y día (Tabla 1). Las únicas interacciones significativas observadas fueron entre tratamiento y día, entre cultivar y día, y entre cultivar, tratamiento y día para los parámetros de respuesta fisiológica (Tabla 1). Por tanto, las diferencias observadas entre años no tuvieron una influencia significativa en la respuesta al estrés por sequía en los dos cultivares evaluados.

Tabla 1. Significancias tras el análisis de varianza para los parámetros de estado hídrico y de intercambio gaseoso medidos a lo largo del experimento de sequía.
Table 1. Significances after analysis of variance for water status and gas exchange parameters measured during the drought experiment.

	Significancias ($p \leq 0,05$)						
	PHF	gs	An	E	Ci	CHS	CRA
Cultivar (c)	ns	*	*	*	ns	ns	ns
Tratamiento (t)	*	*	*	*	*	ns	ns
Día (d)	*	*	*	ns	*	ns	*
Año (a)	*	*	*	*	*	ns	–
t × d	*	*	*	*	*	ns	ns
c × d	ns	*	ns	*	*	ns	ns
d × a	ns	ns	ns	ns	ns	ns	–
c × t	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
t × a	ns	ns	ns	ns	ns	ns	–
c × a	ns	ns	ns	ns	ns	ns	–
c × t × d	ns	*	*	*	*	ns	ns
c × d × a	ns	ns	ns	ns	ns	ns	–
c × t × a	ns	ns	ns	ns	ns	ns	–
d × t × a	ns	ns	ns	ns	ns	ns	–
c × t × d × a	ns	ns	ns	ns	ns	ns	–

PHF = Potencial hídrico foliar, gs = Conductancia estomática; An = Fotosíntesis neta; E = Traspiración; Ci = Concentración de CO_2 intracelular; CHS = Contenido hídrico del suelo; CRA = Contenido relativo de agua. *: significativo ($p \leq 0,05$); ns: no significativo ($p > 0,05$); –: sin dato.

Efectos del estrés por sequía en el contenido de humedad del suelo y el estado hídrico del árbol

El contenido hídrico del suelo (CHS) descendió conforme avanzó el tiempo sin riego, aunque sin diferencias significativas entre tratamientos y entre cultivares (Figura 1). A los 5 días de estrés, el porcentaje de CHS acumulado en los primeros 30 cm de profundidad de suelo, en los árboles estresados del cultivar 'Ufo-3', llegó a valores mínimos del 27% en 2015 y del 26% en 2016 (Figura 1A y B). En 'Fergold', el descenso fue ligeramente superior llegando a un CHS de 30% y un 28% para el primer y segundo año, respectivamente (Figura 1A y B). La restauración del riego en los árboles estresados aumentó el CHS en ambos años (Figura 1).

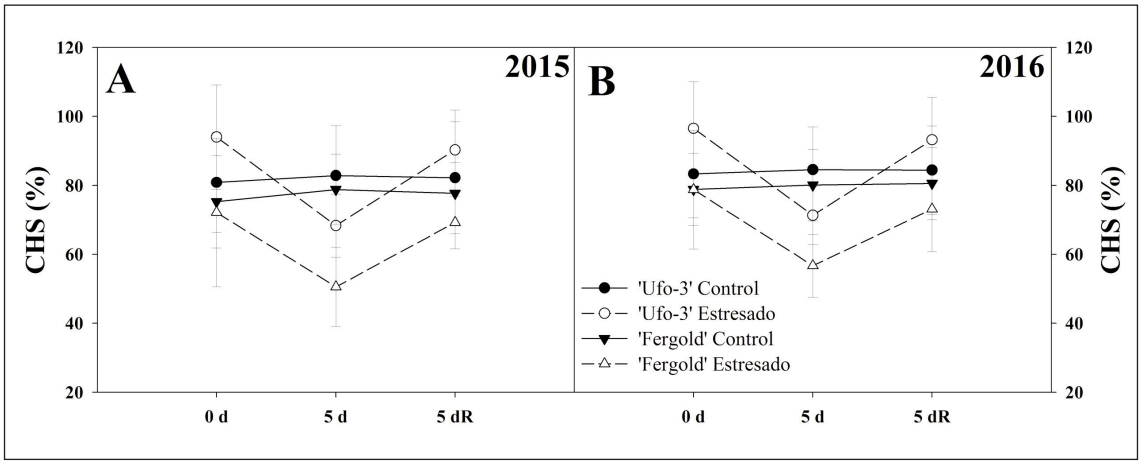


Figura 1. Evolución del contenido hídrico del suelo (CHS) acumulado en los primeros 30 cm de profundidad (A) en 2015 y (B) en 2016 a lo largo del experimento de sequía. Las barras de error representan el error estándar de la media (d = día; R = recuperación).
Figure 1. Evolution of soil water content (CHS) accumulated in the first 30 cm of depth (A) in 2015 and (B) in 2016 throughout drought experiment. Error bars represent the standard error of the mean. (d = days, R = recovery).

La sequía redujo significativamente los valores del potencial hídrico foliar (PHF) en ambos años, llegando a un mínimo de -2,3 MPa en los árboles estresados (Figura 1A y B). A los 5 días de recuperación, el PHF de los árboles estresados alcanzó valores semejantes a los registrados por su control en ambos años (Figura 1A y B). Por otra parte, dentro de cada grupo de tratamiento (control y sequía) y en cada uno de los tiempos de tratamiento (0 días, 5 días y 5 días recuperación), no se observaron diferencias significativas entre los cultivares 'Ufo-3' y 'Fergold' (Figura 1A y B).

En 2015, el contenido relativo de agua (CRA) en las hojas aumentó durante el experimento de forma similar para los tratamientos y los cultivares (Tabla 2). Sin embargo, el CRA en 'Ufo-3' fue significativamente diferente a los 5 días de recuperación con respecto a los días 0 y 5 de estrés tanto en el grupo control como estresado (Tabla 2). Mientras que en 'Fergold' se encontraron diferencias significativas entre cada uno de los tres puntos temporales (0 días, 5 días y 5 días de recuperación) del experimento en los dos tratamientos de riego (Tabla 2).

Efectos del estrés por sequía en el intercambio gaseoso

La ausencia de riego provocó diferencias en el intercambio gaseoso de los árboles. Las respuestas al estrés hídrico fueron distintas para los cultivares y el periodo de evaluación (Figura 2). Se observó un descenso significativo en los valores de conductancia estomática (gs), fotosíntesis neta (An), transpiración (E) y concentración de CO_2 intercelular (Ci) a los 5 días de estrés hídrico (Figura 2). Una vez restaurado el riego, el ascenso de estos valores en los árboles estresados fue heterogéneo. Así, los parámetros de gs y An aumentaron en ambos años, pero con diferencias significativas entre tratamientos para 2015 (Figura 2C-F). La respuesta en la tasa de E fue la más heterogénea tras 5 días de suministro

Tabla 2. Valores medios y errores estándar del contenido relativo de agua en hoja (CRA) medido en 2015 y sus diferencias estadísticas observadas entre los días del experimento (0 días, 5 días y 5 días de recuperación), dentro de cada tratamiento (control y estresado) y para cada cultivar ('Ufo-3' y 'Fergold').
Table 2. Mean values and standard errors from relative water content in leaf (RWC) measured in 2015 and its statistical differences showed among the days of the experiment (0 day, 5 days and 5 days after recovery), within each treatment (control and stressed) and within each cultivar ('Ufo-3' and 'Fergold').

Tratamiento	Cultivar	Contenido relativo de agua (CRA) (%)		
		0 d	5 d	5 dR
Control	'UFO 3'	64,50 ± 1,28 a	66,94 ± 2,11 a	91,20 ± 1,82 b
	'Fergold'	61,42 ± 1,80 a	68,07 ± 0,88 b	92,12 ± 3,71 c
Estresado	'UFO 3'	61,64 ± 1,50 a	66,84 ± 1,50 a	92,88 ± 1,46 b
	'Fergold'	65,24 ± 1,50 a	71,02 ± 1,76 b	96,69 ± 1,71 c

d = día; R = recuperación. Medias seguidas por la misma letra no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$) según la prueba de rango múltiple de Duncan.

de agua. Los árboles estresados de 'Ufo-3' alcanzaron valores de E incluso mayores significativamente que su control en ambos años (Figura 2G y H). En cambio, en los de 'Fergold' la tasa de transpiración se mantuvo en valores mínimos en 2015 y con un ligero ascenso en 2016, pero sin llegar a valores control (Figura 2G y H). Por ello, los valores de E presentaron diferencias significativas entre cultivares, además de entre tratamientos a los 5 días de recuperación (Figura 2E). Finalmente, los valores de Ci aumentaron en el periodo de recuperación tanto en 2015 como en 2016, pero sin alcanzar valores semejantes a los obtenidos el día 0 (Figura 2I y J). Se observó una alta correlación positiva entre An y gs ($r = 0,83$ en ambos años, $p < 0,01$), entre An y E ($r = 0,79$ en 2015; $r = 0,77$ en 2016, $p < 0,01$), y entre gs y Ci ($r = 0,94$ en 2015, $r = 0,91$ en 2016, $p < 0,01$) (Figura 3B-D).

El uso eficiente del agua intrínseco (UEAi) visto como la relación entre An y gs (*An/gs*), fue significativamente mayor en los árboles estresados (97,13%) que en los árboles control (74,13%) tras 5 días de exposición a la sequía en 2015 (Figura 4A). Sin embargo, en 2016 no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos después de 5 días sin riego, momento en que el ratio de UEAi alcanzó valores de 76,19% en los árboles control y de 80,69% en los árboles estresados (Figura 4B). En cambio, entre tratamientos y cultivares sí fueron encontradas diferencias significativas el día 0 en el año 2016, mostrando un valor de UEAi más bajo en 'Ufo-3' (43,04%) que en 'Fergold' (55,51%) (Figura 4B). Los árboles de ambos tratamientos, una vez reestablecido el riego en los estresados, mostraron valores de UEAi más altos que los encontrados para el día 0 en los dos años del experimento. Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas entre cultivares o tratamientos en ese punto temporal (Figura 4). Al analizar la relación entre los valores de UEAi y PHF, se observó que cuanto más negativos eran los valores de PHF, más altos eran los valores de UEAi (Figura 3A). Estos dos parámetros fisiológicos mostraron una correlación negativa significativa ($r = –0,91$; $p < 0,01$) en 2015. En cambio, esta asociación negativa, aunque significativa, fue moderada en el segundo año ($r = –0,47$; $p < 0,01$) (Figura 3A).

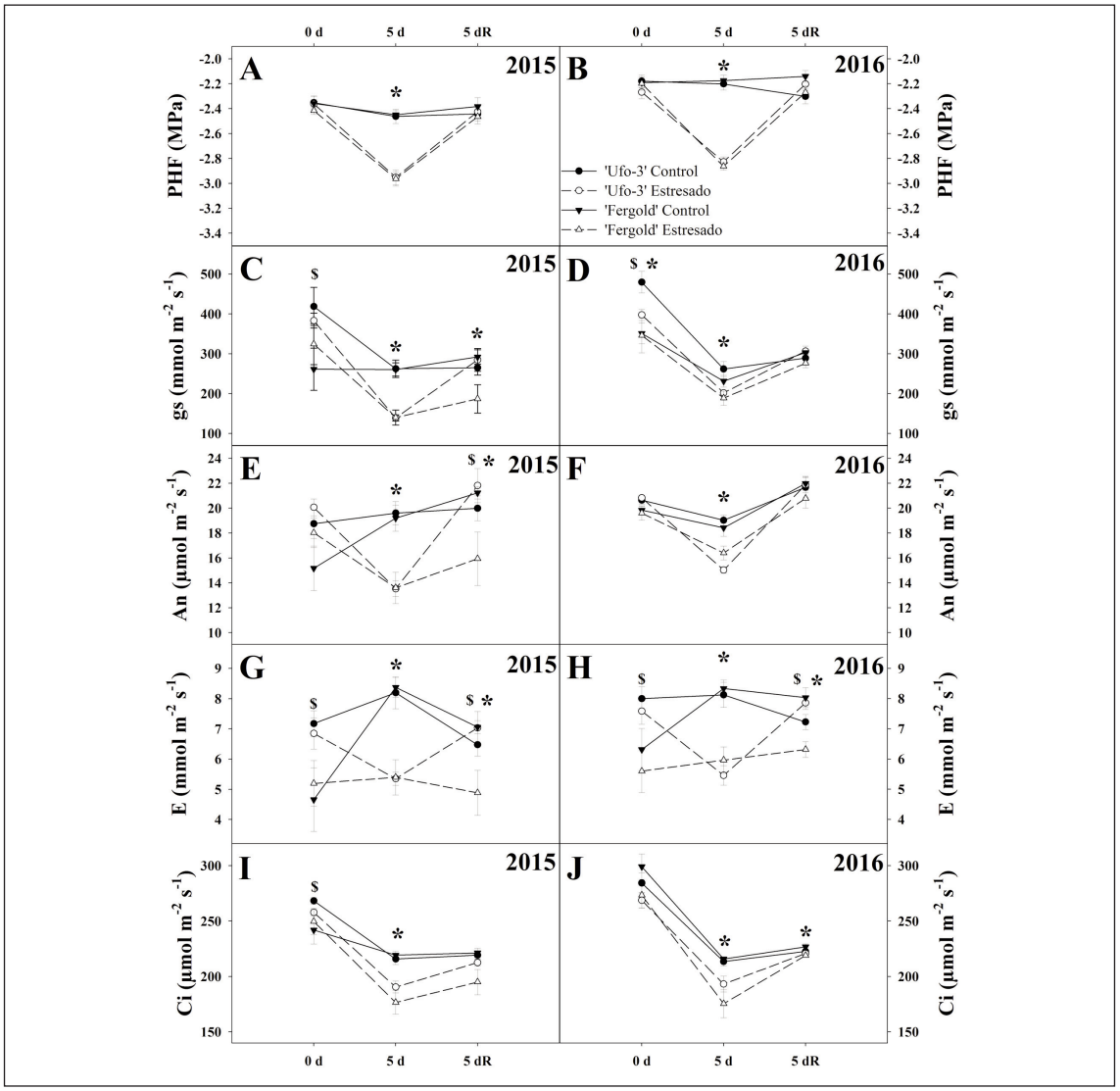


Figura 2. Evolución del (A y B) potencial hídrico foliar al mediodía (PHF), (C y D) conductancia estomática (gs), (E y F) fotosíntesis neta (An), (G y H) transpiración (E) e (I y J) concentración de CO_2 intracelular (Ci) durante el experimento de sequía en los años 2015 y 2016. Las barras de error representan el error estándar de la media. *: diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre tratamientos para cada punto temporal del experimento según la prueba *t* de Student; $: diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre cultivares para cada punto temporal del experimento según la prueba *t* de Student. d = día; R = recuperación.

*Figure 2. Evolution of (A and B) midday leaf water potential (PHF), (C and D) stomatal conductance (gs), (E and F) net photosynthesis (An), (G and H) transpiration (E) and (I and J) intracellular CO_2 concentration (Ci) during the drought experiment in the years 2015 and 2016. Error bars represent the standard error of the mean. *: significant differences ($p \leq 0.05$) between treatments for each time point of the experiment following the Student's t-test; $: significant differences ($p \leq 0.05$) between cultivars for each time point of the experiment following the Student's t-test. d = day; R = recovery.*

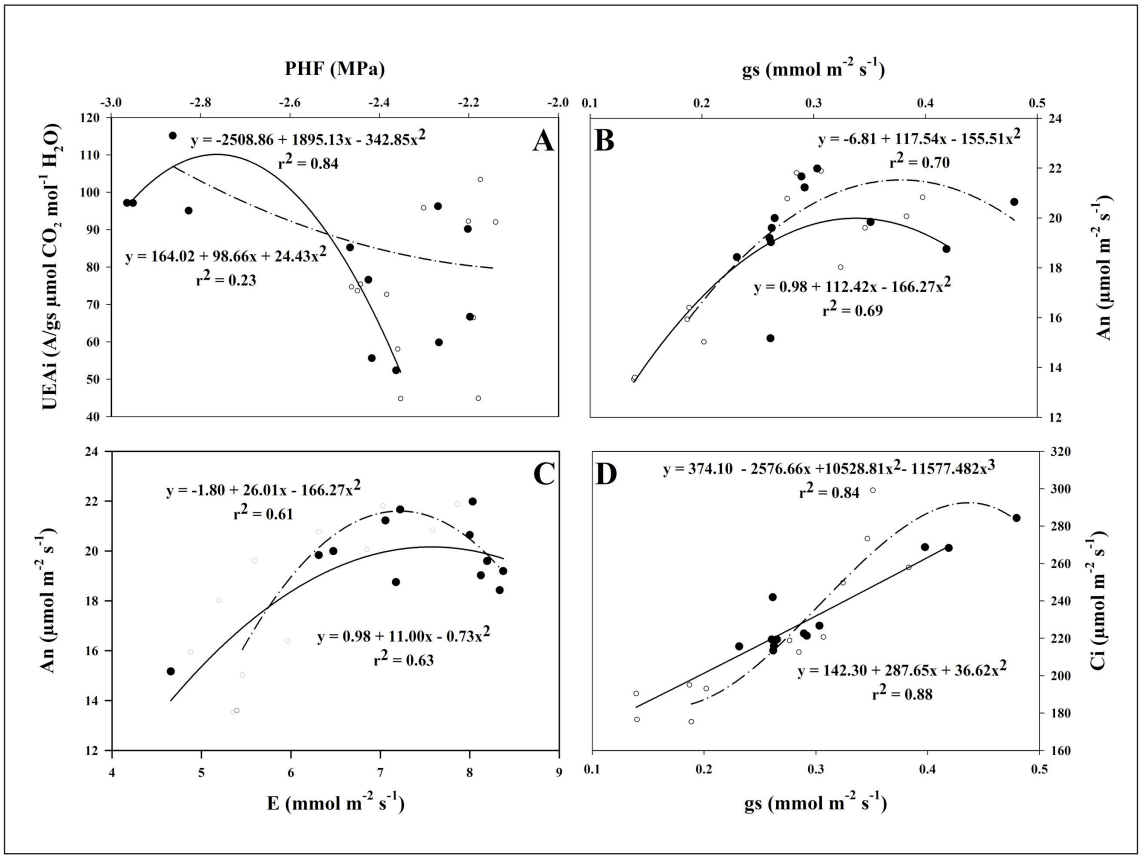


Figura 3. (A) Relación entre el uso eficiente de agua intrínseco (UEAi) y el potencial hídrico foliar (PHF); (B) relación entre fotosíntesis neta (An) y conductancia estomática (gs); (C) relación entre An y transpiración (E); y (D) relación entre la concentración de CO_2 intracelular (Ci) y gs en 2015 y 2016. Cada valor es una medida unitaria. Puntos negros: valores del grupo control; puntos blancos: valores del grupo estresado; línea sólida: curva de regresión en el año 2015; línea quebrada con puntos: curva de regresión en 2016.

Figure 3. (A) Relationship between intrinsic water use efficiency (iUEA) and leaf water potential (PHF); (B) Relationship between net photosynthesis (An) and stomatal conductance (gs); (C) Relationship between An and transpiration (E); and (D) Relationship between intracellular CO_2 concentration (Ci) and gs in both years 2015 and 2016. Each value is a single measurement. Black dots: well-watered trees; white dots: stressed trees; solid line: regression curve for year 2015; dash-dot line: regression curve for year 2016.

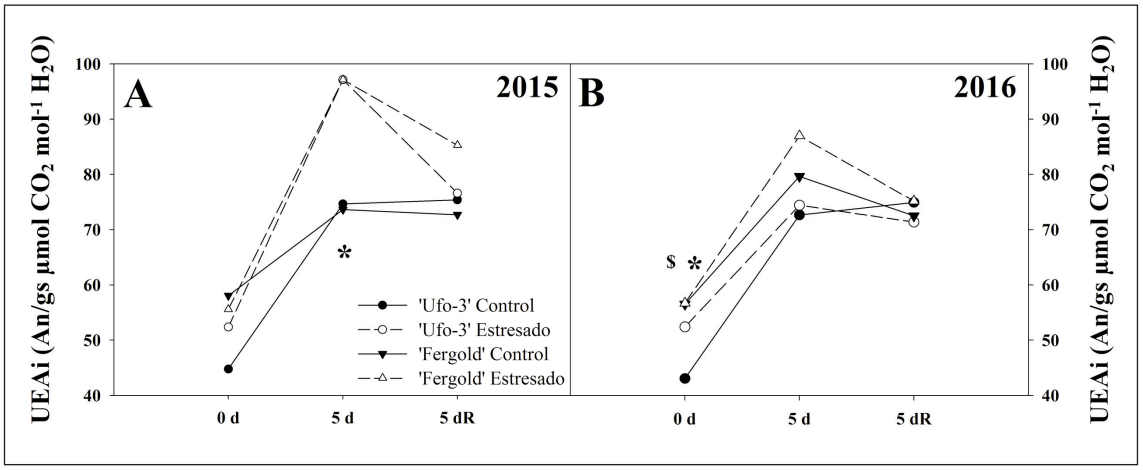


Figura 4. Evolución del uso eficiente del agua intrínseco (UEAi) en (A) 2015 y (B) 2016 durante el experimento de sequía. *: diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre tratamientos para cada punto temporal del experimento según la prueba *t* de Student; $: diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre cultivares para cada punto temporal del experimento según la prueba *t* de Student. d = día; R = recuperación.
Figure 4. Evolution of intrinsic water use efficiency (UEAi) in (A) 2015 and (B) 2016 during the drought experiment.: significant differences ($p \leq 0.05$) between treatments for each time point of the experiment following the Student's t-test; $: significant differences ($p \leq 0.05$) between cultivars for each time point of the experiment following the Student's t-test. d = day; R = recovery.*

Acumulación de ácido abscísico foliar durante el estrés

El contenido en ácido abscísico (ABA) en hojas de los árboles estudiados reveló que no existían diferencias significativas entre los tratamientos de riego (Figura 5). En los árboles control el rango de los niveles de acumulación de ABA fue entre 414,62 y 632 ng g^{-1} en 'Ufo-3', y de 450,40 y 553,49 ng g^{-1} en 'Fergold' (Figura 5). En cambio, en los árboles estresados, el contenido de ABA en 'Ufo-3' alcanzó el valor máximo de 698,11 ng g^{-1} (Figura 5), mientras que en 'Fergold' los niveles de ABA fueron menores que los valores control de 'Fergold' a los 5 días sin suministro de agua (Figura 5). Ya en el periodo de recuperación, los dos cultivares estresados mostraron niveles de ABA similares a los alcanzados en el tratamiento control (Figura 5). Al evaluar la posible correlación entre la acumulación de ABA en hojas y la respuesta fisiológica, no se encontró correlación alguna con ningún parámetro.

Discusión

Debido a que el comportamiento frente a un estrés abiótico como la sequía es diferente en función del tipo de material (plantas *vs.* árboles) y de las condiciones experimentales (controladas *vs.* campo) (Arndt *et al.,* 2000), en este estudio se evaluó la respuesta fisiológica de dos cultivares de melocotonero con diferentes necesidades de frío injertados sobre el híbrido 'Garnem' bajo condiciones de sequía durante 5 días y un periodo posterior de recuperación de 5 días, cultivados en una de las

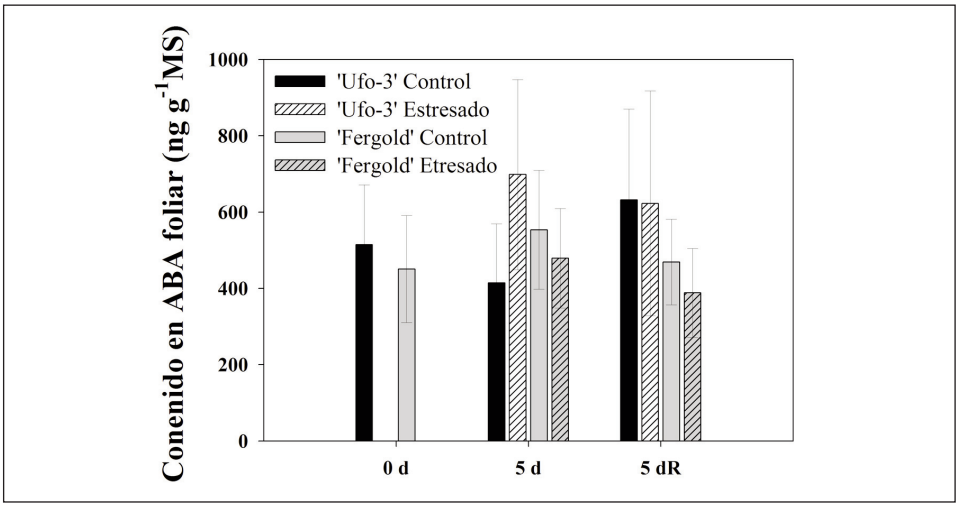


Figura 5. Contenido en ácido abscísico (ABA) foliar al inicio del experimento (0 d), a los 5 días de sequía (5 d) y al final de la fase de recuperación del estrés hídrico (5 dR) en 2015. Las barras de error representan el error estándar de la media. MS = materia seca.
Figure 5. Abscisic acid (ABA) content at the beginning of the experiment (0 d), at 5 days of drought (5 d), and at the ending of the water-stress recovery step (5 dR) 2015. Error bars represent the standard error of the mean. MS = dried weight.

regiones más áridas de España en dos años diferentes. También se analizó el papel de una de las fitohormonas más importantes en la respuesta a estrés, el ácido abscísico (ABA), y su relación con la respuesta fisiológica bajo nuestras condiciones experimentales.

La disminución de la disponibilidad de agua en el periodo de sequía revelada por el menor contenido hídrico del suelo (CHS) acumulado en los primeros 30 cm de profundidad, junto con los valores significativamente inferiores de potencial hídrico foliar (PHF) presentes en los árboles estresados ponen de manifiesto el estrés hídrico al que fueron sometidos (Figuras 1, 2A y 2B). Una tendencia similar de disminución en los valores de PHF también ha sido descrita en estudios anteriores llevados a cabo tanto en almendro, como en especies híbridas de *Prunus* (Isaakidis *et al.*, 2004; Yadollahi *et al.*, 2011), así como en melocotonero injertado sobre 'GF-677' (Mellisho *et al.*, 2011). Mientras que el mantenimiento del bulbo húmedo en el grupo control confirmó que estos árboles control conservaron su suministro hídrico durante el experimento, aunque deficitario, para controlar el crecimiento vegetativo en postcosecha. Este hecho provocó que los árboles control se comportaran como plantas derrochadoras de agua (Levitt, 1980). Es decir, con PHFs al mediodía cercanos a -2 MPa, mantuvieron sus estomas abiertos, conservando la actividad fotosintética, lo que evitó que sus funciones homeostáticas se viesen mermadas (Figuras 1 y 2). Valores similares de PHF al mediodía para el tratamiento control fueron también recogidos en un estudio anterior realizado en árboles de melocotonero injertado en el híbrido 'GF-677' sometidos a sequía en condiciones de campo (Mellisho *et al*., 2011).

El descenso del CHS en los árboles estresados fue diferente en función del cultivar. En 'Fergold' (cultivar con época de maduración de fruto más tardía) este descenso fue mayor

que en 'Ufo-3' (cultivar con época de maduración de fruto más temprana) tanto en 2015, como 2016 (Figura 1). Las diferencias en la demanda hídrica de cada cultivar, basado en sus distintas fechas de maduración de fruto, y el grado de adaptación al ambiente estresante de la zona del experimento, podrían explicar las diferencias encontradas en el CHS. 'Ufo-3' madura un mes antes que 'Fergold'. Por tanto, el consumo de agua por parte de 'Ufo-3' sería menor que por parte de 'Fergold' en el momento del experimento. Como consecuencia, el descenso en CHS sería menos pronunciado en 'Fergold'.

En cuanto al intercambio gaseoso, las diferencias significativas observadas en los árboles control en ambos años, pero más evidentes en el primer año (Figura 2), sugieren que existen otros factores que afectan al estado hídrico de la planta. Entre ellos destacan condiciones ambientales como temperatura, luz, humedad y CO_2, además del papel de diferentes fitohormonas en la regulación de procesos como el cierre estomático, generando cambios en los mecanismos de transpiración y fotosíntesis (Assmann y Shimazaki, 1999), y de aspectos morfológicos como la dimensión de la copa del árbol y la carga de frutos de cada cultivar. Sin embargo, aunque las tasas de intercambio gaseoso de estos árboles control no se mantuvieron estables durante el experimento, sí permanecieron por encima de los valores alcanzados por los árboles estresados (Figura 2). Por otra parte, cabe destacar que al evaluar el posible efecto del año (posible efecto debido a la distinta fecha de realización del experimento en cada año) en las diferentes variables analizadas, se comprobó que este no fue significativo y, por tanto, no explicaría las diferencias encontradas en el intercambio gaseoso de los árboles control.

La caída del PHF por la escasez de agua provoca un fallo hidráulico como consecuencia de un probable embolismo inducido en vasos de xilema (Brodribb *et al.,* 2016). Para evitar este fallo, la planta es capaz de regular el cierre estomático, provocando cambios en el intercambio gaseoso, controlando así las pérdidas de agua y llevando a la planta a un ajuste osmótico (Jones y Sutherland, 1991). Por tanto, la planta es capaz de adaptarse a las nuevas condiciones desfavorables de estrés. Este efecto pudo ser comprobado en nuestro experimento a través del descenso observado en los distintos parámetros relacionados con el intercambio gaseoso estudiados a los 5 días de estrés (Figura 2C-J). Los árboles estresados, para mantener sus reservas hídricas, cerraron sus estomas, provocando la caída de la conductancia estomática (gs) (Figura 2C y D). De la misma manera, el flujo de CO_2 se vio restringido, causando una reducción en la transpiración (E) (Figura 2G y H) y limitando también los procesos fotosintéticos, reflejados en el descenso de la fotosíntesis neta (An) (Figura 2E y F) (Verslues *et al.*, 2006). Resultados similares han sido encontrados en estudios anteriores en los que diferentes especies de *Prunus* como almendro (Isaakidis *et al.*, 2004; Romero *et al*., 2004; Espadafor *et al*., 2017), melocotonero (Mellisho *et al*., 2011; Rickes *et al.*, 2017) y patrones híbridos de *Prunus* (Martinazzo *et al.,* 2011; Jiménez *et al*., 2013) sometidos a estrés hídrico a largo plazo han mostrado un descenso significativo en los parámetros estudiados relacionados con el intercambio gaseoso. La relación existente entre el cierre de estomas y la caída de las tasas de intercambio gaseoso quedó confirmada en la alta correlación encontrada entre los valores de gs, An, E y Ci (Figura 3B-D), al igual que en estudios anteriores realizados en almendro para diferentes déficits de riego (Romero *et al*., 2004; Romero y Botía, 2006).

Pasados los 5 días tras el restablecimiento del sistema de riego en el grupo estresado, tanto el estado hídrico como las tasas de intercambio gaseoso alcanzaron valores similares que los árboles del grupo control, a excepción de los valores de gs, An y E en 'Fergold'

(Figura 2C, E, G y H). Las diferencias encontradas en los valores de gs, An y E en el día 5 de recuperación entre los árboles control y estresados de 'Fergold' podría indicar un daño irreversible en el aparato fotosintético durante el periodo de estrés, el cual no le permitiría recuperar la absorción de CO_2 de la misma manera que a 'Ufo-3' (Romero *et al.*, 2004). La mejor recuperación del estado hídrico, así como de sus funciones fotosintéticas en el cultivar 'Ufo-3' injertado sobre 'Garnem' con respecto a 'Fergold', representaría una estrategia de tolerancia al estrés seguida por este cultivar como respuesta a sequía (Romero *et al*., 2004). Estudios previos han demostrado una tendencia similar en las tasas de intercambio gaseoso una vez restaurado el régimen de riego. Así, Rickes *et al.* (2017) observaron que las plantas de melocotonero injertado en diferentes patrones de *Prunus* ya alcanzaba valores similares a los de las plantas control, salvo para una de las combinaciones de patrón/variedad en la que el valor de An se mantuvo un 25% por debajo de los valores control. Esta falta de recuperación inmediata en las tasas de intercambio gaseoso también fue observada en almendro sometido a sequía en condiciones de campo, donde a los 15 días de recuperación los valores de gs, E y An seguían por debajo de los control (Romero *et al.*, 2004).

Al analizar la relación entendida como uso eficiente del agua intrínseco (UEAi), se observó que el UEAi fue significativamente mayor en los árboles estresados que en los control a los 5 días de estrés (Figura 4). Los árboles con disponibilidad de agua no necesitan regular sus recursos. Por tanto, en condiciones ambientales adversas, en lugar de cerrar sus estomas para conservar sus reservas hídricas, los mantienen abiertos continuando con su actividad fotosintética, a expensas del gasto hídrico en la transpiración, lo que se traduce en un efecto negativo en su UEA. En cambio, los árboles sin recursos hídricos en este estudio, a pesar de disminuir su PHF, trataron de hacer más eficiente su reserva hídrica mediante el cierre de estomas y evitar las pérdidas por transpiración, a costa de reducir su capacidad fotosintética (Figuras 1 y 2) y, por tanto, aumentado su UEAi (Figura 4). Este tipo de comportamiento es propio de plantas con una estrategia de tolerancia a la sequía (Blum, 2009). La correlación negativa encontrada entre el UEAi y el PHF (Figura 3A) corroboraría este comportamiento en nuestro estudio. Estos resultados coinciden con estudios previos en vid (Medrano *et al.*, 2015) y en diferentes patrones de *Prunus* (Jiménez *et al.*, 2013). En el primer año, se observó un aumento progresivo del contenido relativo de agua (CRA) en los árboles estresados (Tabla 2), al contrario que en estudios anteriores donde el porcentaje de CRA se ve reducido en plantas sometidas a sequía (Romero *et al.*, 2004; Bolat *et al.*, 2014). Al no poseer datos de CRA en el segundo año, este comportamiento no pudo ser corroborado en nuestro estudio. Aunque bien es cierto que existen estudios anteriores donde al evaluar la respuesta a sequía en cultivares de melocotonero injertados sobre el híbrido 'GF-677', encontraron niveles de CRA en los árboles estresados superiores a su control (Mellisho *et al.*, 2011). Resultados similares se obtuvieron en el almendro 'Ramillete' injertado sobre 'Atocha' (Torrecillas *et al.*, 1996), sugiriendo que este comportamiento es una característica de plantas xerofíticas como el almendro. En nuestro experimento, los cultivares estudiados injertados sobre el híbrido almendro × melocotonero 'Garnem' podrían compensar su absorción de agua y evitar la pérdida como estrategia de evitación de la sequía por efecto del patrón sobre la variedad. Esto permitiría un mejor ajuste osmótico y el mantenimiento de un alto contenido de agua a pesar de los bajos valores de PHF observados en los árboles estresados en nuestro estudio (Verslues *et al.*, 2006). Aunque, como ya se ha mencionado, es una hipótesis que tendría que ser corroborada en estudios posteriores.

En nuestro estudio, observamos niveles de ABA altos en los árboles control a lo largo de todo el experimento (Figura 5), los cuales podrían deberse a los bajos valores de PHF presentes en estos árboles control (Figura 2A y B). Sin embargo, este contenido en ABA foliar no estaría implicado en la regulación del cierre estomático ya que este no se dio. Hecho confirmado con los valores encontrados en las tasas de intercambio gaseoso (Figura 2C-J). Las diferencias entre las concentraciones de ABA entre los árboles control y los estresados no fueron significativas (Figura 5), sugiriendo que el nivel de estrés experimentado durante los 5 días sin riego no fue percibido como severo por los árboles estresados. Son numerosos los estudios realizados hasta el momento en cuanto a la relación entre el contenido en ABA y la respuesta a estrés por sequía en diferentes especies (Forner-Giner *et al.*, 2011; de Ollas *et al.*, 2013; Seiler *et al.*, 2014; Zandalinas *et al.*, 2016). Sin embargo, la mayoría de ellos se han llevado a cabo con plantas en maceta y condiciones controladas en invernadero, no en campo. Los resultados obtenidos en nuestro estudio en relación al contenido de ABA, junto con la falta de correlación entre la respuesta bioquímica y la fisiológica, sugieren una clara diferencia en el comportamiento en función de las condiciones de cultivo y ambientales, maceta en invernadero frente a árboles en campo. Un entorno seco y árido como la región de Murcia, donde los árboles con suministro de agua alcanzaron valores de PHF ya cercanos a -2 MPa (Figura 2A y B), crea una respuesta fisiológica rápida en árboles sin disponibilidad de agua, pero un periodo de 5 días sin riego no es suficiente para desencadenar una respuesta bioquímica en la que esté implicado el ABA.

Conclusiones

Los dos cultivares de melocotonero, 'Ufo-3' y 'Fergold' injertados sobre el híbrido 'Garnem', bajo condiciones de campo y sin suministro de agua durante 5 días, pusieron en marcha diversos mecanismos de respuesta fisiológica que permitieron realizar una estrategia de evitación a la sequía. Esta respuesta se ve reflejada en los bajos valores de potencial hídrico foliar (PHF) y las bajas tasas de intercambio gaseoso encontradas, que conllevan a la conservación del contenido relativo de agua en hoja (CRA). Todo ello tiene como consecuencia que estos árboles estresados sean capaces de realizar un ajuste osmótico, que permitió preservar la homeostasis de las células. Así, los árboles estresados fueron capaces de dar un uso más eficiente a la escasa reserva hídrica que poseía el suelo. Con todo ello, se puede afirmar que los dos cultivares mostraron adaptabilidad a la sequía resultante de su estrategia de evitación. Cabe señalar que debido a la menor capacidad fotosintética observada en 'Fergold' una vez restaurado el riego, se puede considerar que esta adaptabilidad es mayor en el cultivar 'Ufo-3'. La falta de variabilidad encontrada en el contenido de ácido abscísico (ABA) foliar de los árboles estresados frente al contenido de ABA en los árboles control, ponen de manifiesto que el ABA no estuvo implicado en la regulación estomática llevada a cabo por los árboles estresados.

Agradecimientos

Este estudio ha sido subvencionado por el Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (RTA2014-00062). B. Bielsa es beneficiaria de una beca predoctoral FPI-INIA. También, agradecer al Dr. Pascual Romero Azorín (IMIDA – Murcia) su contribución en la toma de datos fisiológicos durante el experimento.

Referencias bibliográficas

Arndt SK, Wanek W, Clifford SC, Popp M (2000). Contrasting adaptations to drought stress in field-grown *Ziziphus mauritiana* and *Prunus persica* trees: water relations, osmotic adjustment and carbon isotope composition. Australian Journal of Plant Phisiology 27: 985-996. https://doi.org/10.1071/PP00022

Assmann SM, Shimazaki K (1999). The multisensory guard cell. Stomatal responses to blue light and abscisic acid. Plant Physiology 119(3): 809-815. https://doi.org/10.1104/pp.119.3.809

Barradas VL, Nicolás E, Torrecillas A, Alarcón JJ (2005). Transpiration and canopy conductance in young apricot (*Prunus armenica* L.) trees subjected to different PAR levels and water stress. Agricultural Water Management 77(1-3): 323-333. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2004.09.035

Barrs HD, Weatherley PE (1962). A re-examination of the relative turgidity technique for estimating water deficits in leaves. Australian Journal of Biological Sciences 15(3): 413-428. https://doi.org/10.1071/BI9620413

Bielsa B, Leida C, Rubio-Cabetas MJ (2016). Physiological characterization of drought stress response and expression of two transcription factors and two LEA genes in three *Prunus* genotypes. Scientia Horticulturae 213: 260-269. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.11.006

Bielsa B, Bassett C, Glenn DM, Rubio-Cabetas MJ (2018a). Assessing field *Prunus* genotypes for drought responsive potential by carbon isotope discrimination and promoter analysis. Agronomy 8:42. https://doi.org/10.3390/agronomy8040042

Bielsa B, Hewitt S, Reyes-chin-wo S, Dhingra A, Rubio-Cabetas MJ (2018b). Identification of water use efficiency related genes in 'Garnem' almond-peach rootstock using time-course transcriptome analysis. PLoS One 13(10): e0205493. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0205493.

Blum A (2009). Effective use of water (EUW) and not water-use efficiency (WUE) is the target of crop yield improvement under drought stress. Field Crops Research 112(2-3): 119-123. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2009.03.009

Blum A (2016). Stress, strain, signaling, and adaptation - Not just a matter of definition. Journal of Experimental Botany 67(3): 562-565. https://doi.org/10.1093/jxb/erv497

Bolat I, Dikilitas,M, Ercisli S, Ikinci A, Tonkaz T (2014). The effect of water stress on some morphological, physiological, and biochemical characteristics and bud success on apple and quince rootstocks. Scientific World Journal. 2014: 769732. http://dx.doi.org/10.1155/2014/769732

Brodribb TJ, Bienaimé D, Marmottant P (2016). Revealing catastrophic failure of leaf networks under stress. Proceedings of the National Academy of Sciences 113(17): 4865-4869. https://doi.org/10.1073/pnas.1522569113

Chaves MM, Flexas J, Pinheiro C (2009). Photosynthesis under drought and salt stress: Regulation mechanisms from whole plant to cell. Annals of Botany 103(4): 551-560. https://doi.org/10.1093/aob/mcn125

Espadafor M, González-Dugo V, Orgaz F, Testi L, López M, Fereres E (2017). Water relations in almond trees under moderate water deficits. Acta Horticulturae 1150: 113-118. https://doi.org/10.1093/aob/mcn125

FAOSTAT (2018). Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistics Division. Disponible en: http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC (Consultado: 4 junio 2018)

Felipe AJ (2009). 'Felinem', 'Garnem', and 'Monegro' almond × peach hybrid rootstocks. HortScience 44(1): 196-197. https://doi.org/10.21273/HORTSCI.44.1.196

Forner-Giner MA, Rodríguez-Gamir J, Primo-Millo E, Iglesias DJ (2011). Hydraulic and Chemical Responses of Citrus Seedlings to Drought and Osmotic Stress. Journal of Plant Growth Regulation 30(3): 353-366. https://doi.org/10.1007/s00344-011-9197-9

García Brunton J, Rincón L, Sáez J (2004). The response of 'Catherine' cultivar peach trees grafted on sixteen rootstocks under four irrigation levels. Acta Horticulturae 658: 145-150. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2004.658.20

Gómez-Cadenas A, Pozo OJ, García-Augustín P, Sancho JV (2002). Direct analysis of abscisic acid

in crude plant extracts by liquid chromatography-electrospray/tandem mass spectrometry. Phytochemical analysis 13(4): 228-234. https://doi.org/10.1002/pca.640

Isaakidis A, Sotiropoulos T, Almaliotis D, Therios I, Stylianidis D (2004). Response to severe water stress of the almond (*Prunus amygdalus*) 'Ferragnès' grafted on eight rootstocks. New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science 32(4): 355-362. https://doi.org/10.1080/01140671.2004.9514316

Jiménez S, Dridi J, Gutiérrez D, Moret D, Irigoyen JJ, Moreno MA, Gogorcena Y (2013). Physiological, biochemical and molecular responses in four *Prunus* rootstocks submitted to drought stress. Tree physiology 33(10): 1061-1075. https://doi.org/10.1093/treephys/tpt074

Jones HG, Sutherland RA (1991). Stomatal control of xylem embolism. Plant, Cell and Environment 14(6): 607-612. https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.1991.tb01532.x

Kim T-H, Böhmer M, Hu H, Nishimura N, Schroeder JI (2010). Guard cell signal transduction network: advances in understanding abscisic acid, CO_2, and Ca^{2+} signaling. Annual Review of Plant Biology 61(1): 561-591. https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-042809-112226

Levitt J (1980). Responses of Plants to Environmental Stresses. Vol. II. Water, Radiation, Salt and Others Stresses. Academic Press, New York, pp. 395-434.

MAPAMA (2018). Anuario de Estadística. Avance 2017. Disponible en: http://www.mapama.gob.es/estadistica/pags/anuario/2016-Avance/avance/AvAE16.pdf (Consultado: 4 junio 2018).

Martinazzo EG, Perboni AT, Farias ME, Bianchi VJ, Bacarin MA (2011). Photosynthetic activity in the rootstock of hybrid peach trees submitted to water restriction and flooding. Brazilian Journal of Plant Physiology 23(3): 231-236. http://dx.doi.org/10.1590/S1677-04202011000300007

Medrano H, Tomás M, Martorell S, Flexas J, Hernández E, Rosselló J, Pou A, Escalona JM, Bota J (2015). From leaf to whole-plant water use efficiency (WUE) in complex canopies: Limitations of leaf WUE as a selection target. The Crop Journal 3(3): 220-228. https://doi.org/10.1016/j.cj.2015.04.002

Mellisho CD, Cruz ZN, Conejero W, Ortuño MF, Rodríguez P (2011). Mechanisms for drought resistance in early maturing cvar Flordastar peach trees. The Journal of Agricultural Science 149(5): 609-616. https://doi.org/10.1017/S0021859611000141

de Ollas C, Hernando B, Arbona V, Gómez-Cadenas A (2013). Jasmonic acid transient accumulation is needed for abscisic acid increase in citrus roots under drought stress conditions. Physiologia Plantarum 147: 296-306. https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2012.01659.x

Rickes LN, Klumb EK, Silva CDS, Bacarin MA, Bianchi VJ (2017). Water deficit affects gas exchange in peach trees cultivar 'Chimarrita' grafted onto different rootstocks. Irriga 22(1): 140-153. https://doi.org/10.15809/irriga.2017v22n1p140-153

Romero P, Navarro JM, García F, Botía Ordaz P (2004). Effects of regulated deficit irrigation during the pre-harvest period on gas exchange, leaf development and crop yield of mature almond trees. Tree Physiology 24(3): 303-312. https://doi.org/10.1093/treephys/24.3.303

Romero P, Botía P (2006). Daily and seasonal patterns of leaf water relations and gas exchange of regulated deficit-irrigated almond trees under semiarid conditions. Environmental and Experimental Botany 56(2): 158-173. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2005.01.012

Scholander PF, Hammel HT, Hemmingsen EA, Bradstreet ED (1964). Hydrostatic Pressure and Osmotic Potential in Leaves of Mangroves and Some Other Plants. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 52(1): 119-25.

Seiler C, Harshavardhan VT, Reddy PS, Hensel G, Kumlehn J, Eschen-Lippold L, Rajesh K, Korzun V, Wobus U, Lee J, Selvaraj G, Sreenivasulu N (2014). Abscisic acid flux alterations result in differential abscisic acid signaling responses and impact assimilation efficiency in barley under terminal drought stress. Plant Physiology 164(4): 1677-16796. https://doi.org/10.1104/pp.113.229062

Timm LC, Tavares VEQ, Reisser C, Moro M (2007). Manejo de irrigação na cultura de pessegueiro: manual técnico. Ed. Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, Brazil. 110 pp.

Tombesi S, Nardini A, Frioni T, Soccolini M, Zadra C, Farinelli D, Poni S, Palliotti A (2015). Stomatal closure is induced by hydraulic signals and maintained by ABA in drought-stressed grapevine. Scientific Reports 5: 12449. https://doi.org/10.1038/srep12449

Torrecillas A, Alarcón J, Domingo R, Planes J, Sánchez-Blanco M (1996). Strategies for drought resistance in leaves of two almond cultivars. Plant Science 118: 135-143. https://doi.org/10.1016/0168-9452(96)04434-2

Verslues PE, Agarwal M, Katiyar-Agarwal S, Zhu J, Zhu J-K (2006). Methods and concepts in quantifying resistance to drought, salt and freezing, abiotic stresses that affect plant water status. The Plant Journal 45(4): 523-39. https://doi.org/10.1111/j.1365-313X.2005.02593.x

Yadollahi A, Arzani K, Ebadi A, Wirthensohn M, Karimi S (2011). The response of different almond genotypes to moderate and severe water stress in order to screen for drought tolerance. Scientia Horticulturae 129: 403-413. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.04.007

Zandalinas SI, Rivero RM, Martínez V, Gómez-Cadenas A, ArbonaV (2016). Tolerance of citrus plants to the combination of high temperatures and drought is associated to the increase in transpiration modulated by a reduction in abscisic acid levels. BMC Plant Biology 16(1): 105. https://doi.org/10.1186/s12870-016-0791-7

(Aceptado para publicación el 8 de abril de 2019)

Revisión de los programas de sincronización ovárica basados en el uso de hormona liberadora de gonadotropinas y prostaglandina F2α para novillas de leche y de carne

A. Sanz[1,2], K. Macmillan[1] y M.G. Colazo[1,*]

[1] Livestock Systems Section, Alberta Agriculture and Forestry, Edmonton, Alberta, Canada
[2] Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA). Instituto Agroalimentario de Aragón–IA2 (CITA-Universidad de Zaragoza), Zaragoza, España

Resumen

La inseminación artificial lleva décadas implantada en las explotaciones de vacuno de leche, no tanto en el vacuno de carne. Los protocolos de sincronización ovárica que permiten realizar la inseminación artificial a tiempo fijo son muy interesantes, debido a que no dependen exclusivamente de la detección de celos, por lo que se han convertido en una herramienta muy útil para planificar y mejorar la eficiencia reproductiva de las explotaciones comerciales. El ganadero que quiera implementar estas técnicas reproductivas en su explotación deberá asesorarse por un especialista, que le recomiende los protocolos más adecuados para cada tipo de animal y para cada rebaño, teniendo en cuenta que los resultados obtenidos en novillas han sido más variables que en las vacas adultas. En este trabajo se revisan los protocolos de sincronización ovárica basados en el uso de hormona liberadora de gonadotropinas (GnRH) y prostaglandina F2α (PGF) utilizados en novillas, así como los diversos ajustes que se han ido proponiendo, para tratar de unificar y mejorar las tasas de preñez.

Palabras clave: Recría, vacuno, reproducción, tratamientos, inseminación artificial a tiempo fijo.

A review of the ovarian synchronization programs based on the use of gonadotrophin releasing hormone and prostaglandin F2α for dairy and beef heifers

Abstract

Artificial insemination has been utilized in dairy cattle for decades, but the adoption of this technique has been low in the beef industry. Ovarian synchronization protocols that allow for timed artificial insemination are attractive because estrus detection is not required, becoming a very useful tool to improve the overall reproductive efficiency of commercial herds. Producers should seek advice from a specialist, who can recommend the most appropriate protocols for each category of animal and for each herd, taking into account that the results obtained in heifers have been more variable than in adult cows. In this publication, we review the ovarian synchronization protocols based on gonadotrophin releasing hormone (GnRH) and prostaglandin F2α (PGF) for dairy and beef heifers, as well as several modifications that have been proposed, to enhance pregnancy rates.

Keywords: Rearing, cattle, reproduction, timed artificial insemination.

* Autor para correspondencia: marcos.colazo@gov.ab.ca

Cita del artículo: Sanz A, Macmillan K, Colazo MG (2019). Revisión de los programas de sincronización ovárica basados en el uso de hormona liberadora de gonadotropinas y prostaglandina F2α para novillas de leche y de carne. ITEA-Información Técnica Económica Agraria 115(4): 326-341. https://doi.org/10.12706/itea.2019.002

Introducción

La eficiencia reproductiva de las novillas de recría es fundamental, puesto que su mantenimiento representa un elevado coste para la explotación antes de que paran un ternero y generen beneficios a la explotación. Las novillas inician la pubertad y comienzan a mostrar celos cuando su peso ronda el 45% (novillas de leche) o 55% de su peso adulto (novillas de carne), por lo que este factor no es un limitante a la hora de tener un primer parto a una edad temprana (dos años de edad).

La incorporación de la inseminación artificial (IA), ya sea para grupos selectos de animales o en el total del rebaño, mejora indudablemente las tasas de fertilidad de la explotación, puesto que, a las ventajas fisiológicas inherentes a los distintos tratamientos hormonales, hay que añadir que exige el cumplimiento de una serie de requisitos mínimos, como son la observación rutinaria de los animales y el registro continuado de sus rendimientos técnicos e incidencias sanitarias. El ganadero debe asesorarse por un especialista, que le recomiende los protocolos más adecuados para cada animal y cada rebaño. Otros requisitos imprescindibles a la hora de incorporar la IA en una explotación son: revisar los animales (ciclicidad y estado de carnes); la higiene en todos los procedimientos; la planificación del programa, productos, manga de manejo, etc.; el manejo de los animales sin estrés (evitar perros, gritos, vacunar o desparasitar durante el tratamiento o el mes siguiente, etc.); realizar diagnósticos de gestación para controlar el éxito de la IA, etc. Si se garantizan estos requisitos y la destreza del técnico o veterinario con el procedimiento de IA, el éxito está asegurado.

A pesar de su mayor coste económico, los protocolos para la inseminación artificial a tiempo fijo (IATF) se han extendido en gran medida en los últimos años, debido principalmente a que no es necesaria la detección de celos para llevar a cabo la IA. La detección de celos es el mayor factor limitante del éxito de los programas de IA, y en especial en las explotaciones extensivas. De ahí la idoneidad de los protocolos de IATF tanto para las novillas de leche como para las de carne. Además, se ha demostrado que los protocolos de IATF mejoran la eficiencia de la inseminación y reducen el intervalo entre el inicio de la época reproductiva y la primera IA, en comparación con la eficiencia obtenida al inseminar a las novillas que exhiben celo utilizando un protocolo de sincronización del estro (Silva *et al.*, 2015).

Tratamientos que sincronizan el crecimiento folicular y la ovulación

Para poder realizar la IA de un grupo de animales a un tiempo determinado, y sin necesidad de detectar celo, es imprescindible sincronizar la función ovárica de las novillas, es decir, el crecimiento de los folículos presentes en los ovarios, la regresión del cuerpo lúteo (CL) y la ovulación. En general, los tratamientos que se utilizan para sincronizar la función ovárica se basan en el uso de estradiol o de hormona liberadora de gonadotropinas (GnRH), en ambos casos generalmente acompañado de un progestágeno. En la actualidad, el estradiol ya no está disponible para su uso en animales productores de alimentos en muchos países (Europa, USA, etc.), quedando restringida su aplicación a América del Sur y México (Canadá por ejemplo no tiene ninguna preparación de estradiol disponible en el mercado veterinario, obteniéndose únicamente con una prescripción médica). Por ello, en esta revisión nos centraremos en los tratamientos basados en el uso de la GnRH. Esta hormona induce la liberación de la hormona luteinizante (LH), la ovulación (en animales con un folículo dominante ≥10 mm de diámetro) y la emergencia de una nueva ola folicular dos días más

tarde (Martínez *et al.*, 1999). En 1995, Pursley *et al.* demostraron que el tratamiento con una prostaglandina F2α (PGF) 6 o 7 días después de la primera GnRH y la aplicación de una 2ª dosis de GnRH entre las 36 y 48 horas después de la PGF permitía hacer una IATF entre 16 y 20 horas después de la administración de la 2ª GnRH. Este protocolo que combina el uso de GnRH y PGF para realizar una IATF se denomina Ovsynch. La mayoría de los protocolos de IATF que se utilizan hoy en día son variaciones del protocolo Ovsynch; por ejemplo, el protocolo Cosynch es una modificación del Ovsynch, utilizado más frecuentemente en vacuno de carne, en el que la 2ª dosis de GnRH se administra a la vez que se realiza la IATF, para reducir de 4 a 3 el número de manejos de los animales, y por tanto el coste del manejo reproductivo (Geary *et al.*, 2001).

Tal y como recoge la bibliografía, las tasas de preñez obtenidas por IA en vacas lecheras tratadas con los protocolos Ovsynch de 7 días (7-d) han sido similares a las obtenidas en las vacas inseminadas a celo visto (38 *vs.* 39%), no así en las novillas de leche (35 *vs.* 74%, para Ovsynch e IA a celo visto; Pursley *et al.*, 1997). Estos autores justificaron los peores resultados obtenidos en novillas debido al bajo porcentaje de ovulaciones detectadas después de la primera dosis de GnRH, así como a la aparición posterior de un folículo dominante que no sería lo suficientemente maduro como para responder a la segunda inyección de GnRH (Pursley *et al.*, 1997). Los resultados obtenidos por diversos autores con estos protocolos Ovsynch y Cosynch de 7 días, tanto en novillas de carne como de leche, han sido muy variables, e incluso contradictorios, por lo que se han ido estudiando diversos ajustes al protocolo clásico de 7 días, para tratar de unificar y mejorar los resultados de preñez en novillas. Se resumen a continuación las modificaciones propuestas más destacadas.

Incorporación de una progesterona a los protocolos Ovsynch/Cosynch de 7 días

Las primeras investigaciones realizadas con objeto de sincronizar los ciclos estrales en ganado vacuno ya proponían el uso de implantes subcutáneos del progestágeno norgestomet (Spitzer *et al.*, 1976), para prevenir el estro y la ovulación. Posteriormente, numerosos estudios han confirmado que la colocación de un dispositivo intravaginal con progesterona (CIDR, Cue-Mate®, DIB, PRID, etc.) ayuda a reducir la incidencia de celos prematuros. Martínez *et al.* (2002) observaron que la incorporación de un CIDR entre la primera GnRH y la administración de PGF del protocolo Cosynch 7-d aumentaba la tasa de preñez a la IATF (68 *vs.* 39%) en novillas de carne. Estos resultados fueron confirmados posteriormente por Lamb *et al.* (2006), en un estudio que aglutinaba los resultados de 2.075 novillas de carne, procedentes de 12 explotaciones. Por su parte, DeJarnette *et al.* (2004) reportaron que la incorporación de un dispositivo intravaginal con progesterona en un protocolo tipo Ovsynch fue más efectivo en vacas de carne primíparas que en multíparas.

Richardson *et al.* (2002) realizaron un estudio para analizar las características de la expresión de celo previa a la IA, así como la tasa de preñez en novillas de leche y de carne sincronizadas usando una PGF precedida de una dosis de GnRH, con o sin CIDR. Los autores observaron que la adición del CIDR mejoró la proporción de animales que mostraban celo, tanto en las novillas de leche (79 *vs.* 74%, con o sin CIDR, $P < 0,05$) como de carne (91 *vs.* 83%, con o sin CIDR, $P < 0,05$). Con respecto a la fertilidad, la inclusión del CIDR también aumentó la tasa de preñez en las novillas lecheras (46 *vs.* 35%, con o sin CIDR, $P < 0,05$) y en las novillas de carne (53 *vs.* 49%, con o sin CIDR), aunque esta última diferencia no

fue estadísticamente significativa. Aunque puede encontrarse algún resultado no concluyente, en general, la inclusión de un dispositivo con progesterona en los protocolos de sincronización basados en el uso de GnRH y PGF en novillas se ha asociado a una reducción de las ovulaciones tempranas, y finalmente, a una mejora de la tasa de preñez.

Duración del tratamiento con progesterona en los protocolos Ovsynch/Cosynch

En 2008, Bridges *et al.* demostraron que reducir la duración del CIDR de 7 a 5 días, en un protocolo Cosynch + CIDR con IA a 60 o 72 horas, aumentaba la tasa de preñez en vacas de carne (60 *vs.* 70%, respectivamente), debido probablemente a que el folículo dominante/ovulatorio se beneficiaría del soporte adicional de gonadotrofinas y de un tiempo extra para crecer y desarrollarse. Otros autores también han relacionado las ventajas del protocolo de 5 días (5-d) (menor incidencia de folículos persistentes, menor período de dominancia folicular y mayor duración del proestro) con un aumento de la tasa de preñez en vacas de carne (Whittier *et al.*, 2013). Por su parte, Wilson *et al.* (2010), comparando un protocolo Cosynch 7-d + CIDR (IATF 66 horas después de la retirada del CIDR) frente a un Cosynch 5-d + CIDR (IATF 72 horas tras la retirada del CIDR), no observaron diferencias en la tasa de preñez en función del tratamiento, quedando finalmente preñadas el 67% de las vacas de carne. A raíz de estos resultados, los autores indicaron que la tasa de preñez quizá depende más de programar adecuadamente la IATF en relación con el proestro, que del momento de la retirada del CIDR o del desarrollo folicular. Es importante mencionar que el protocolo estándar de 5 días incluye una dosis extra de PGF que por lo general se administra entre 6 y 24 horas después de la primera dosis.

En cuanto a las novillas, hay pocos estudios publicados que comparen protocolos de sincronización basados en el uso de la GnRH y la PGF, combinados con una progesterona mantenida durante 7 o 5 días. Nuestro grupo realizó un estudio para comparar los protocolos Cosynch 7-d y 5-d en novillas lecheras (Colazo y Ambrose, 2011), usando una única dosis de PGF en ambos protocolos, en el que se obtuvo una tasa de preñez a la IATF similar en ambos protocolos (58 *vs.* 59%, para 7 y 5 días, respectivamente), en línea con los resultados obtenidos más tarde por Lopes *et al.* (2013) (36 *vs.* 45%, para 7 y 5 días). Estos últimos autores estimaron un coste económico 7$ superior para cada novilla en el caso del protocolo 7-d, sobre todo debido a costes de semen, recría y remplazo. Posteriormente, Ahmadzadeh *et al.* (2015) también describieron una tendencia a mejorar la tasa de preñez en novillas de carne con el protocolo de 5-d + CIDR, frente al protocolo convencional de 7-d + CIDR (53 *vs.* 64%, para 7 y 5 días, P = 0,07).

Por tanto, la reducción de la duración del CIDR de 7 a 5 días en los protocolos de sincronización ha mejorado, o al menos no ha disminuido, la tasa de preñez en novillas de carne y de leche. Sin embargo, el coste de la terapia hormonal incluida en el protocolo estándar de 5-d es superior al de 7-d, de ahí que se hayan investigado otras modificaciones del protocolo de 5-d con el objetivo de disminuir el coste, manteniendo un alto porcentaje de preñez, para despertar el interés de los ganaderos de explotaciones comerciales.

Eliminación de la segunda dosis de PGF de los protocolos Ovsynch/Cosynch de 5 días

En los protocolos Ovsynch y Cosynch clásicos se administra una GnRH inicial para inducir la ovulación y el inicio de una nueva onda folicular. En el caso de los protocolos de 5 días, esta GnRH da lugar a un CL 2 días más joven

al momento de administrar la PGF, comparado con los protocolos de 7 días. El nuevo CL que se forma tras la GnRH inicial puede no responder a un único tratamiento de PGF administrado 5 días después. De ahí que los autores que desarrollaron este protocolo se plantearan la necesidad de administrar una segunda dosis de PGF para garantizar la luteólisis (Bridges *et al*., 2008). Sin embargo, Rabaglino *et al.* (2010) examinaron el Cosynch 5-d + CIDR con 1 o 2 dosis de PGF en novillas lecheras, pero no encontraron diferencias significativas en la tasa de preñez a la IATF (53 *vs.* 59%, para 1 o 2 dosis de PGF, respectivamente), concluyendo que un solo tratamiento con PGF sería suficiente para inducir la luteólisis en novillas sometidas a un Cosynch 5-d acompañado de un dispositivo de progesterona.

En el estudio realizado por nuestro equipo en el que se compararon los protocolos Cosynch de 7 y 5 días, se usó una única dosis de PGF en ambos protocolos (Colazo y Ambrose, 2011), alcanzando las novillas lecheras una tasa de preñez de 59% a la IATF, independientemente del protocolo aplicado. A pesar de administrarse una sola dosis de PGF en el protocolo de Cosynch 5-d, el 96% de las novillas presentaron regresión luteal. Estos resultados confirmaron que la segunda dosis de PGF no sería necesaria, por lo que podría eliminarse del protocolo, reduciendo así el número de manejos necesarios y el coste del protocolo de sincronización. Un estudio posterior que comparaba el uso de 1 o 2 dosis de PGF en novillas lecheras en un protocolo Cosynch 5-d tampoco detectó diferencias en la tasa de preñez a la IATF (Kasimanickam *et al.*, 2014), apoyando la teoría de que la segunda PGF no es necesaria en novillas lecheras.

Otros estudios, sin embargo, han reportado una tendencia a mejorar la tasa de preñez en el lote de novillas de carne que había recibido dos dosis de PGF 6 horas después de la retirada del dispositivo de progesterona (Peterson *et al.*, 2011). En la misma línea, Lima *et al.* (2013) observaron que la luteólisis de los CL recién formados aumentaba con una segunda PGF, aunque no tenía efecto sobre los CL más antiguos, concluyendo que el protocolo Ovsynch/Cosynch 5-d en novillas lecheras requeriría 2 dosis de PGF (Lima *et al.*, 2013). En todo caso, estos autores describieron que solo el 34% de las novillas ovularon con la primera dosis de GnRH, dando lugar a un nuevo CL en el momento de retirar el CIDR, lo que indicaría que la 2ª PGF no sería necesaria en el 66% de los animales.

Eliminación de la primera dosis de GnRH de los protocolos Ovsynch/Cosynch

Como hemos señalado anteriormente, la GnRH inicial incluida en los protocolos Ovsynch/Cosynch solo es realmente efectiva para inducir la ovulación cuando se administra en presencia de un folículo dominante ≥10 mm de diámetro. En 2006, Lamb *et al.* (2006) describieron que la respuesta a la GnRH administrada al colocar el CIDR en un protocolo Cosynch 7-d era bastante limitada en el caso de las novillas, mejorando únicamente un 3-4% la tasa de preñez frente a los lotes que no recibieron la GnRH inicial. Por lo tanto, nuestro grupo se planteó la hipótesis de que la GnRH inicial no sería necesaria en novillas, lo que reduciría el coste del protocolo, en particular el de 5 días, ya que sin el uso de la GnRH inicial no sería tampoco necesario administrar una segunda PGF. Para comprobar dicha hipótesis, se realizaron varios estudios en novillas, aplicando un protocolo Cosynch 5-d con (+) o sin (–) la GnRH inicial y con una sola dosis de PGF (Tabla 1). En el primer ensayo, realizado en novillas de leche (Colazo y Ambrose, 2011), únicamente un 25% de las novillas ovularon tras la GnRH inicial, obteniéndose finalmente una mayor tasa de preñez en las novillas que no ovularon a la primera GnRH (65 *vs.* 45%, para novillas sin o

Tabla 1. Programa diario de tratamientos para los protocolos Cosynch 7-d, Cosynch 5-d estándar (+GnRH y 2 PGF) y Cosynch 5-d modificado (–GnRH y 1 PGF).
Table 1. Daily injection schedule of the 7-d Cosynch, standard 5-d Cosynch (+GnRH & 2 PGF) and modified 5-d Cosynch (–GnRH & 1 PGF) protocols.

Protocolo	Mar	Mie	Jue	Vie	Sab	Dom	Lun	Mar	Mie	Jue
Cosynch 7-d	(AM) GnRH +DIP4							(AM) PGF –DIP4		(PM) GnRH IATF
Cosynch 5-d +GnRH 2 PGF		(AM) GnRH +DIP4					(AM) PGF -DIP4	(AM) PGF		(AM) GnRH IATF
Cosynch 5-d modificado –GnRH 1 PGF		(AM) +DIP4					(AM) PGF –DIP4			(AM) GnRH IATF

+DIP4: inserción del dispositivo intravaginal que contiene progesterona.

–DIP4: retirada del dispositivo intravaginal que contiene progesterona.

GnRH: hormona liberadora de gonadotropina.

PGF: prostaglandina F2α.

IATF: inseminación artificial a tiempo fijo.

con ovulación tras la GnRH inicial, respectivamente). Además, no se observaron diferencias significativas debidas a la GnRH inicial sobre la tasa de preñez (68 *vs.* 71%, para los lotes +GnRH y –GnRH, respectivamente). Estos resultados se han confirmado en estudios posteriores, aplicando el mismo protocolo en novillas de leche y de carne (Macmillan *et al.*, 2017; Colazo *et al.*, 2018a; Tabla 2). En otro estudio reciente, realizado en novillas de carne (López-Helguera *et al.*, 2018), tampoco encontramos diferencias significativas en la tasa de preñez a la IATF debidas al uso de la dosis inicial de GnRH (56 *vs.* 55%, para los lotes +GnRH y –GnRH, respectivamente), en línea con las tasas de preñez obtenidas por otros equipos en novillas de carne, al estudiar la inclusión o no de la GnRH al inicio de un protocolo de sincronización (51 *vs.* 55%) (Cruppe *et al.*, 2014).

Lima *et al.* (2013), por su parte, observaron una mayor tasa de preñez en novillas lecheras tratadas con un protocolo con GnRH y dos dosis de PGF, frente al protocolo sin GnRH y con una única dosis de PGF (62 *vs.* 53%, respectivamente). Sin embargo, Kasimanickam *et al.* (2014) no encontraron ningún efecto de la GnRH inicial sobre la fertilidad de novillas lecheras (51 *vs.* 54%), pero sí en novillas de carne (60 *vs.* 50%), utilizando un protocolo con 1 PGF. En este estudio, se observó que el uso de la GnRH inicial aumentaba la tasa de preñez cuando el folículo era ≥8 mm, en comparación con el protocolo sin GnRH (70 *vs.* 47%), lo que sugiere que un folículo dominante no eliminado en el momento de la inserción de CIDR dará lugar a un oocito envejecido y reducirá la fertilidad en novillas de carne. Estos resultados podrían explicar, al menos en parte, los resultados contradictorios que recoge la bibliografía en los estudios realizados con novillas.

Los estudios anteriores demuestran que las tasas de preñez obtenidas aplicando un pro-

Tabla 2. Comparación de la tasa de preñez (%) entre las diferentes modificaciones de los protocolos Cosynch 5-d en novillas de carne y de leche.
Table 2. Comparison of pregnancy per AI among different modifications of the 5-d Cosynch protocols in beef and dairy heifers.

Estudios (tasas de preñez, %)	n	+GnRH 2 PGF	+GnRH 1 PGF	–GnRH 1 PGF	P *
Colazo y Ambrose, 2011[1]	56	–	68	71	>0,10
Cruppe *et al.* 2014[2]	823	–	51	55	>0,10
Lima *et al.* 2013, Exp. 1[1]	1106	59	–	54	<0,05
Lima *et al.* 2013, Exp. 2[1]	2144	62	–	53	<0,05
Kasimanickam *et al.* 2014[1]	1137	55	54	51	>0,10
Kasimanickam *et al.* 2014[2]	1018	58	60	50	<0,05
Macmillan *et al.* 2017[1 a]	317	–	57	66	=0,08
López-Helguera *et al.* 2018, General[2]	1068	–	56	55	>0,10
López-Helguera *et al.* 2018, Cíclicas[2]	852	–	57	62	>0,10
López-Helguera *et al.* 2018, Acíclicas[2]	216	–	48	35	<0,05
Colazo *et al.* 2018a, Cíclicas[2]	667	–	–	59	–
Colazo *et al.* 2018a, Cíclicas[2 b]	664	–	–	48	–
Colazo *et al.* 2018a, Acíclicas[2]	275	–	36	–	–

GnRH: hormona liberadora de gonadotropina. PGF: prostaglandina F2α.

[1] Novillas lecheras, [2] Novillas de carne. [a] 50% IA Semen sexado, [b] Semen sexado.

* Los valores P indican una diferencia significativa (<0,05), una tendencia a la diferencia (0,05 < P < 0,10) o ninguna diferencia (>0,10) entre los valores de tasa de preñez.

tocolo Cosynch 5-d sin GnRH inicial y con una sola dosis PGF han sido aceptables, tanto en novillas de carne como de leche, confirmando que la GnRH inicial es prescindible y podría evitarse este coste de los protocolos. Aunque los resultados de cada protocolo Cosynch 5-d sobre la fertilidad pueden ser variables, será importante que los veterinarios y los productores tengan en cuenta la mano de obra y el coste que conlleva cada tratamiento, a la hora de elegir el protocolo adecuado para cada explotación.

Manejo de novillas acíclicas

La falta de ciclicidad es un problema relativamente frecuente en los sistemas de pastoreo, tanto en novillas de carne como de leche. Es factible pensar que las novillas que no están cíclicas al comienzo de la época reproductiva tengan una fertilidad menor y más probabilidad de quedar vacías al final de la época reproductiva. Lamb *et al.* (2006) detectaron un 10% de novillas no cíclicas al inicio de un protocolo Cosynch 7-d, aunque estos autores no

encontraron diferencias significativas en la tasa final de preñez en función de la ciclicidad inicial (57 *vs.* 59%, para novillas púberes e impúberes, respectivamente), quizá debido a que el CIDR o la GnRH aplicados, o ambos, indujeron la ovulación y el reinicio de la ciclicidad.

En nuestro estudio de 2018 (López-Helguera *et al*.) se observó que un 21% de las novillas de carne no estaban cíclicas (226/1062), oscilando esta proporción de 8 a 27% entre los tres rebaños incluidos en el estudio. Las novillas que estaban acíclicas al inicio del tratamiento presentaron una menor probabilidad de quedar gestantes a la IA que las que estaban cíclicas (41 *vs.* 59%). En este estudio, se compararon además los protocolos +GnRH y –GnRH con 1 PGF y, aunque no hubo ningún efecto sobre la fertilidad de las novillas cíclicas, el protocolo +GnRH sí que mejoró la tasa de preñez en las novillas acíclicas (48 *vs.* 35%, para +GnRH y –GnRH, respectivamente). También se observó que un tercio de las novillas acíclicas no recuperaron la ciclicidad después de la sincronización e IA, y aquéllas que se preñaron a la IATF tuvieron más probabilidades de perder la gestación (6 *vs.* 3%). Al final de la época reproductiva (tras 2 rondas de IA y servicio natural durante 45 días más), la proporción de novillas vacías fue mayor dentro del grupo de las que no estaban ciclando al inicio del protocolo de sincronización (7 *vs.* 3%). En novillas lecheras se han obtenido resultados similares, observando mayores tasas de preñez si las novillas estaban cíclicas al inicio de un protocolo Cosynch 5-d modificado (35 *vs.* 59%, para acíclicas y cíclicas) (Colazo *et al.*, 2018a). En la misma línea, los resultados de varios estudios realizados en Canadá, que aglutinan datos de más de 4000 IATF en novillas sometidas a un protocolo de sincronización de estradiol más progesterona de 7 días, mostraron que la fertilidad obtenida en la IA inicial fue un 10-15% inferior en las novillas acíclicas en comparación con las que estaban cíclicas al inicio de los tratamientos (Colazo, Resultados no publicados).

De todos estos resultados se desprenden dos posibles aplicaciones prácticas que los veterinarios y productores pueden utilizar para mejorar la fertilidad en novillas acíclicas. En primer lugar, los veterinarios podrían realizar ecografías ováricas antes de iniciar un protocolo IATF para identificar a las novillas acíclicas, y asignarles el protocolo +GnRH. En segundo lugar, los productores podrían asignar todas las novillas al protocolo +GnRH, manejo que favorecerá a las novillas acíclicas y no tendrá ningún efecto negativo sobre las cíclicas. La primera opción aumentaría los costes veterinarios, pero disminuirá la cantidad de GnRH utilizada, ayudando además a identificar novillas problemáticas, lo que mejorará aún más la fertilidad general del protocolo. Sin embargo, nuestros resultados ponen en tela de juicio si merece la pena usar protocolos de sincronización e IATF en novillas acíclicas, puesto que, aunque los protocolos que incluyen progestágenos favorecerán la ciclicidad en algunas novillas acíclicas y aumentarán sus posibilidades de quedar preñadas, la menor fertilidad y el mayor riesgo de perder la gestación afectarán negativamente a la rentabilidad de la implementación del programa de sincronización.

Utilización de semen sexado

El semen sexado puede ser muy útil para inseminar novillas, puesto que se reduce el riesgo de que las vacas primíparas sufran partos distócicos, y a su vez permite aumentar la tasa de mejora genética en el rebaño. Sin embargo, las tasas de preñez que se obtienen con semen sexado son inferiores a las del semen convencional, debido fundamentalmente a la menor concentración de espermatozoides, al daño que éstos sufren durante el proceso de selección y a la menor

duración de la fertilidad óptima en el tracto reproductivo de la hembra (Seidel, 2014). Como la duración de la fertilidad óptima se reduce con el uso de semen sexado, es fundamental que la ovulación se produzca lo más cerca del momento de la IATF. Aunque en nuestro estudio de 2011 (Colazo y Ambrose) no se analizó el efecto del tipo de semen, se observó que el 75% de las novillas de leche que recibieron el protocolo de 5 días sin GnRH inicial ovularon en las 24 horas siguientes a la IATF, siendo esta tasa de ovulación mayor que la del protocolo con GnRH inicial, por lo que el protocolo de 5 días sin GnRH podría ser beneficioso en caso de usar semen sexado.

En este sentido, Macmillan *et al.* (2017) compararon los protocolos + y –GnRH usando semen convencional o sexado en novillas de leche. Aunque la diferencia no fue estadísticamente significativa, se observó una mayor tasa de preñez en el caso de semen sexado combinado con el protocolo –GnRH en comparación con el protocolo +GnRH (60 *vs.* 50%, respectivamente). Estos resultados sugieren que el protocolo Cosynch 5-d sin GnRH podría ser el método de elección para aplicar en novillas cuando se usa semen sexado, ya que el momento de la IA es más próximo a la ovulación cuando la IATF se realiza a las 72 horas de la retirada del dispositivo de progesterona. Otra opción para mejorar la tasa de preñez en novillas en el caso de utilizar semen sexado podría ser realizando la inseminación solamente a aquellos animales que a la IATF muestren estro después de una detección corta de celos.

Inclusión de la detección de celo en los protocolos Ovsynch/Cosynch

Aunque los protocolos de IATF no precisan la detección de celo, podría resultar interesante vigilar los celos de las novillas durante un periodo corto de tiempo tras la retirada del CIDR y antes de la IA, para tratar de mejorar la tasa de preñez. En el estudio de Colazo y Ambrose (2011), la tasa de preñez fue superior en las novillas lecheras que ovularon dentro de las 24 horas posteriores a la IATF, sugiriendo que dichos animales ovularon después de una liberación endógena de LH. Estudios posteriores han descrito mejoras en las tasas de preñez de los lotes de novillas que habían expresado celo, desde un 18% en novillas de carne (Ahmadzadeh *et al.*, 2015) hasta un 27% en vacas de carne (Richardson *et al.*, 2014), frente a los lotes de animales que no lo habían mostrado.

Colazo y Mapletoft (2017), trabajando en novillas de leche, incluyeron tres controles visuales de celos al día, durante 30 minutos cada uno. Los autores observaron un menor intervalo de tiempo entre la IA y la ovulación, y menos variable, en las novillas que fueron inseminadas a celo visto en comparación con las inseminadas a tiempo fijo (16 ± 0,7 *vs.* 21 ± 1,3 horas), que estuvo asociado a una mayor tasa de preñez, especialmente en las novillas inseminadas con semen convencional (75 *vs.* 64%, para novillas inseminadas a celo visto o a tiempo fijo). Los resultados de este ensayo mostraron que las novillas observadas en celo antes de la IATF con semen sexado tuvieron numéricamente el doble de probabilidades de quedarse gestantes frente a las que no expresaron celo, sin embargo, la diferencia entre los lotes no fue estadísticamente significativa.

Además, se ha observado que un 25-30% de las novillas que se sincronizan con un protocolo de 5 días sin GnRH inicial presentan celos entre las 36 y 48 horas después de la retirada del dispositivo de progesterona y un 80-90% de esas novillas ovulan antes de la IATF (Colazo y Ambrose, 2011; Colazo y Mapletoft, 2017). Por ello, nos hemos planteado la hipótesis de si el uso de una detección corta de celos antes de la IATF para la identifi-

cación de animales idóneos para una IA temprana (56-60 horas después de la retirada del CIDR) aumentaría los porcentajes de preñez. En este sentido, Macmillan *et al.* (2017) realizaron una detección de celo a las 36 y 48 horas de la retirada del CIDR. Las novillas que mostraron celo se inseminaron a las 60 horas de la retirada del CIDR, frente a las que no expresaron celo, que se inseminaron a las 72 horas (IATF). La tasa de preñez de las novillas inseminadas a celo visto tendió a ser superior que la del lote IATF (68 *vs.* 58%, P = 0,08). La tasa de celo, a su vez, fue mayor en las novillas sincronizadas con el protocolo –GnRH (22 *vs.* 14%, –GnRH y +GnRH, respectivamente). Esto podría explicar por qué la tasa de preñez global tendió a ser mayor en el protocolo -GnRH, en comparación con el protocolo +GnRH (66 *vs.* 57%), y por qué la tasa de gestación fue numéricamente superior para el semen sexado en el protocolo –GnRH, como se ha mencionado en el apartado anterior.

En otro estudio, realizado en novillas de carne (Colazo *et al.*, 2018a), se utilizaron parches Estrotect™ (colocados en la base de la cola, que indican que la novilla fue montada por otras novillas si la superficie plateada aparece raspada y pasa a tener un color visible) para detectar celo entre la retirada del CIDR y la IATF, aunque todas las novillas recibieron una IATF a las 72 horas de la retirada del CIDR. En función de la superficie de Estrotect™ frotada, se asignaba una puntuación a los parches de 0 (sin cambio de color), 1 (≤ 50% de cambio de color), 2 (>50% de cambio de color) y 3 (perdido). En general, la tasa de preñez fue superior en las novillas con una puntuación de 2 (61%) y 3 (59%), frente a las novillas con una puntuación de 0 (32%) o 1 (33%). Aunque la tasa de preñez tendió a ser mayor al usar semen convencional (52 *vs.* 48%, P = 0,07), la mayor tasa de preñez que se obtuvo en aquéllas que mostraron un parche con una puntuación de 2 o 3 fue tanto con el semen convencional como con el sexado. Por lo tanto, la incorporación de parches para la detección de celos permitiría seleccionar a la IATF qué animales se inseminan con semen sexado y cuáles con semen convencional para así mantener una buena tasa de preñez global.

Por ello, recientemente se han realizado dos ensayos para analizar el posible beneficio de usar los parches Estrotect™ para identificar novillas idóneas para una IA temprana (56 horas tras la retirada del CIDR) con el objetivo de mejorar las tasas de preñez obtenidas con semen sexado (Colazo *et al.*, 2018b). En el primer ensayo, aquellas novillas que no recibieron una IA temprana fueron inseminadas a las 72 horas con una administración de GnRH a las 56 horas o concurrente con la IATF. En el segundo ensayo, a las novillas que no recibieron una IA temprana se les aplicó una IATF a las 72 u 80 horas. En dichos estudios se ha observado que la identificación de animales idóneos para una IA temprana (56 horas) mejoró los porcentajes globales de preñez (63 vs. 55%), y que la IATF en el resto de los animales (aquéllos no inseminados a las 56 horas) se podría realizar a las 72 u 80 horas de la retirada del dispositivo de progesterona. Aunque retrasar la IATF a las 80 horas aumentó un 6% la tasa de preñez, la diferencia no fue estadísticamente significativa. Sin embargo, la administración de GnRH a las 56 horas con IATF a las 72 horas no mejoró los porcentajes de preñez. En este ensayo, la detección de celo mediante el uso de parches ha sido muy útil para mejorar la tasa global de preñez con semen sexado, y a su vez podría disminuir el número de tratamientos con GnRH en los animales que exhiben celo previo a la IATF.

De los resultados anteriores se desprende la recomendación práctica de utilizar semen sexado únicamente en las novillas cuyos parches Estrotect™ muestren una puntuación de 2 o 3, inseminando con semen convencional el

resto de novillas, con el objetivo de aumentar la efectividad del semen sexado. Otra posible aplicación del uso de los parches sería para decidir el momento idóneo de realizar la IA. Retrasar el momento de la inseminación especialmente en las novillas que muestran parches con una puntuación de 0 o 1 a las 72 horas de la retirada del CIDR puede mejorar la tasa global de preñez en los rebaños. Además, la identificación de novillas en celo, ya sea antes o después de la IATF programada, permite eliminar los tratamientos con GnRH en el momento de la IA, y reducir por tanto el coste del protocolo de sincronización. A pesar del aumento de los costes de mano de obra y/o veterinarios, la incorporación de la detección de celo de las novillas en los protocolos de sincronización mejorará las tasas globales de preñez de los rebaños, especialmente en el caso de que se utilice semen sexado.

Administración de eCG en los protocolos Ovsynch/Cosynch

Aunque los programas de sincronización que combinan el uso de GnRH y PGF normalmente alcanzan resultados reproductivos óptimos, las tasas de preñez pueden verse alteradas en el caso de animales comprometidos metabólicamente (subnutrición, baja condición corporal, anestro posparto y vacas primíparas en crecimiento). En estas situaciones, el uso de la gonadotropina coriónica equina (eCG, originalmente denominada gonadotropina sérica de yegua gestante, PMSG) ha cobrado importancia, y especialmente en América del Sur. Esta glicoproteína presenta doble actividad tipo hormona foliculoestimulante (FSH) y LH, por lo que administrada unas horas antes de la ovulación estimula el crecimiento folicular, aumenta el tamaño del folículo preovulatorio e incrementa las concentraciones plasmáticas de progesterona tras la ovulación, lo que explica que diversos trabajos hayan asociado la aplicación de 300 o 400 UI de eCG en el momento de retirar la progesterona en un protocolo de sincronización con mayores tasas de preñez en vacas tratadas durante el anestro posparto, criando a sus terneros (Baruselli *et al.*, 2004; Bó *et al.*, 2007).

Sin embargo, hay muy pocos estudios en Canadá y USA que se hayan centrado en el uso de la eCG en protocolos de sincronización en novillas, y los resultados existentes no son del todo concluyentes. En un estudio realizado con vacas y novillas de carne, en el que se aplicó un protocolo de 7 días que combinaba GnRH y PGF, la administración de eCG el día 7 tendió a mejorar la tasa de preñez, aunque únicamente en las vacas primíparas, animales con necesidades energéticas importantes (Small *et al.*, 2009). En este trabajo, el uso de eCG no indujo un aumento del diámetro del folículo preovulatorio, como sí describió previamente Bó *et al.* (2007).

Por su parte, Menchaca *et al.* (2013), sincronizando animales de carne con un dispositivo intravaginal de progesterona acompañado de estradiol, obtuvieron una mejora en la tasa de preñez al usar eCG, siendo esta mejora estadísticamente significativa solo en las hembras que no presentaron un CL en el momento de la inserción de la progesterona (65 *vs.* 51%, para vacas con o sin eCG; 44 *vs.* 32%, para novillas con o sin eCG). Otros estudios no han podido mejorar las tasas de preñez mediante el uso de eCG en novillas de carne (Small *et al.*, 2010), debido según los autores a que la mayoría de animales del ensayo presentaban folículos preovulatorios con un diámetro ≥10 mm en el momento de la IA, por lo que no tendrían comprometida la fertilidad.

Es importante señalar que algunos de los estudios que han observado mejores tasas de preñez al incorporar la eCG en los protocolos de sincronización de novillas incluían el uso de estradiol en dichos protocolos, y trabajaban además con animales con bajo estado

corporal. En este sentido, nuestro grupo ha analizado el efecto de incorporar 300 UI de eCG en el momento de retirar el CIDR en dos protocolos de sincronización corta (Colazo, Resultados no publicados), el Cosynch 5-d modificado (–GnRH inicial y 1 PGF) y el J-synch, un protocolo de 6 días que incluye benzoato de estradiol (Re *et al.*, 2013). En este estudio, la administración de eCG ha aumentado la tasa global de estro en un 7% (68 *vs.* 75%, sin o con eCG; P < 0,05). Además, se ha detectado una mejora significativa de la tasa de preñez al incluir la eCG, aunque esta mejoría solo se ha observado en las explotaciones 2 y 3 del estudio (Tabla 3), no en la explotación 1, resultado que podría deberse al hecho de que las novillas de esta última explotación no tuvieran comprometida su fertilidad al inicio del ensayo, como muestra su mayor tasa de preñez (59 *vs.* 48 *vs.* 43%, para las explotaciones 1, 2 y 3, respectivamente, P < 0,001), en línea con la hipótesis de que la eCG sería útil únicamente en los animales que están comprometidos metabólicamente. El aumento detectado en la tasa de preñez al incorporar la eCG se ha observado además en los dos protocolos utilizados en este estudio (Cosynch modificado y J-synch), como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Tasas de celo y de preñez en novillas de carne, en función del tipo de protocolo (Pr) (Cosynch 5-d modificado *vs*. J-synch), de la inclusión o no de eCG (eCG) y de la explotación (Ex).
Table 3. Estrus and pregnancy rate in beef heifers, according to the type of protocol (Pr) (modified 5-d Cosynch vs. J-synch), the inclusion or not of eCG (eCG) and the herd (Ex).

	Cosynch 5-d		J-synch		P *		
	-eCG	+eCG	-eCG	+eCG	Pr	eCG	Ex
Tasa de celo, %							
Explotación 1 (n = 400)	61	73	67	67	>0,10	<0,05	<0,01
Explotación 2 (n = 550)	69	77	77	84			
Explotación 3 (n = 200)	64	80	69	67			
Global (n = 1.150)	65	77	69	73			
Tasa de preñez #, %							
Explotación 1 (n = 400)	58	55	65	56	<0,05	>0,10	<0,001
Explotación 2 (n = 550)	38	50	43	57			
Explotación 3 (n = 200)	32	45	49	51			
Global (n = 1.150)	44	51	52	56			

eCG: gonadotropina coriónica equina.

* Los valores P indican una diferencia significativa (<0,05), una tendencia a la diferencia (0,05 < P < 0,10) o ninguna diferencia (>0,10) entre los valores de tasa de preñez. # Interacción significativa eCG x Ex (P < 0,05).

Resincronización mediante el uso de los protocolos Ovsynch/Cosynch

Es razonable pensar que si se consigue reducir el intervalo de tiempo entre la IA y la resincronización disminuirá el número de días vacíos de las novillas y aumentará por tanto la tasa general de preñez. En este sentido, Sinedino *et al.* (2014) analizaron los resultados obtenidos al realizar una resincronización temprana (iniciada 28 días tras la 1ª IA, en vacas diagnosticadas no preñadas por sus niveles de PAG) o tardía (iniciada 46 días tras la 1ª IA, en vacas diagnosticadas no preñadas por palpación rectal). Para ello, después de realizar la 1ª IA (y asignar las vacas al azar al grupo temprano o tardío), las vacas que mostraban celo eran inseminadas ese mismo día. Estos autores inseminaron a celo visto un menor número de vacas vacías en el lote de resincronización temprana, antes del protocolo de resincronización asignado. Este lote de resincronización temprana presentó un menor intervalo entre inseminaciones, tanto en las realizadas a celo visto (22 *vs.* 28 días) como a tiempo fijo (35 *vs.* 55 días), pero la tasa final de preñez y el número de días abiertos fueron similares a los observados en el lote de resincronización tardía.

En nuestro estudio con novillas lecheras (Macmillan *et al.*, 2017), se compararon 2 protocolos de resincronización con intervalos entre servicios de 35 o 42 días, analizando los protocolos con y sin GnRH en cada inseminación. En este estudio, se obtuvo una tasa de preñez acumulada del 81% después de 2 inseminaciones y del 97% después de 4. Los grupos de resincronización de 35 y 42 días entre servicios presentaron una tasa de preñez similar (54 *vs.* 60%), aunque se inseminaron más novillas a celo visto en el grupo de resincronización de 42 días que en el de 35 días (23 *vs.* 8%, respectivamente; P = 0,05), debido probablemente a que este protocolo finalizó cuando se esperaba que las novillas mostraran celo natural, 2 ciclos estrales después de la IA inicial.

En sistemas de producción de carne con una época de servicios corta, un intervalo entre servicios de hasta 35 días podría considerarse largo. Sin embargo, si la primera IA se realiza el primer día de la época reproductiva y 35 días después la segunda IA, es posible alcanzar tasas de preñez del 80% después de dos servicios en un período de 35 días. Además, si las novillas se mantienen con toros de repaso durante un ciclo estral extra, es factible conseguir una tasa de preñez acumulada del 90% al finalizar una época reproductiva de 63 días.

Conclusiones

De los estudios incluidos en esta revisión sobre los distintos protocolos de sincronización ovárica basados en el uso de GnRH y PGF utilizados en novillas de leche y de carne, se puede concluir que los protocolos Ovsynch y Cosynch de 7 días han mostrado resultados aceptables, aunque muy variables. Para tratar de unificar y mejorar las tasas de preñez, se han propuesto diversas modificaciones, como es la inclusión de un dispositivo intravaginal de progesterona, que se ha asociado a una reducción de las ovulaciones tempranas, y finalmente, a una mejora de la tasa de preñez. La reducción del protocolo Cosynch de 7 a 5 días, combinado con una progesterona, permite alcanzar tasas de preñez aceptables en novillas, e incluso mejorar las obtenidas con los protocolos clásicos de 7 días, aunque a un mayor coste de aplicación. Para reducir este coste, manteniendo un alto porcentaje de preñez, se han analizado otros ajustes, tratando de adaptar los protocolos a las necesidades de cada tipo de animal y de cada explotación. Se han observado mayores tasas de preñez en el protocolo Cosynch de 5 días con una GnRH inicial y dos dosis de PGF, especialmente en lotes con novillas cíclicas y acíclicas. Sin embargo, se han observado resultados similares en novillas cíclicas con el

protocolo sin GnRH y con 1 sola PGF, lo que reduciría el trabajo y el coste asociados a su administración. También se han obtenido buenos resultados con el protocolo sin GnRH en el caso de utilizar semen sexado, especialmente si se realiza detección de celo en las novillas (mediante control visual o parches Estrotect™). Además, es posible aumentar el número de novillas inseminadas a celo visto si se respeta un intervalo de resincronización más largo, que finalice coincidiendo con el ciclo estral natural de las novillas. La detección de novillas con una puntuación de 0 en sus parches permitirá ajustar mejor el momento óptimo de IA, siendo recomendable en estos casos retrasarla para que tengan tiempo suficiente para entrar en celo y ovular lo más cerca de la inseminación. Finalmente, será imprescindible tener en cuenta los objetivos productivos del ganadero, la mano de obra disponible y los costes de los servicios veterinarios y de los tratamientos, antes de elegir el protocolo de sincronización más adecuado para cada explotación y cada tipo de animal.

Agradecimientos

Los estudios de los autores incluidos en este artículo se han financiado con el apoyo de Alberta Agriculture and Forestry, Vetoquinol NA Inc., Estrotect Inc., Intervet Canada Corp., Alta Genetics, ganaderos colaboradores de leche y carne de Alberta (Canadá), y proyectos INIA RTA2013-059, INIA RZP2017-001 (España). Albina Sanz ha recibido una Subvención para Estancias de movilidad del Ministerio español de Ciencia, Innovación y Universidades (PRX18/00097).

Referencias bibliográficas

Ahmadzadeh A, Gunn D, Hall JB, Glaze JB Jr (2015). Evaluation of treatment with a 5-day *versus* 7-day controlled internal drug-release insert on reproductive outcomes of beef heifers using a modified timed-artificial insemination protocol. The Professional Animal Scientist 31: 270-277.

Baruselli PS, Reis EL, Marques MO, Nasser LF, Bó GA (2004). The use of hormonal treatments to improve reproductive performance of anestrus beef cattle in tropical climates. Animal Reproduction Science 82-83: 479-486.

Bó GA, Cutaia L, Peres LC, Pincinato D, Maraña D, Baruselli PS (2007). Technologies for fixed-time artificial insemination and their influence on reproductive performance of *Bos indicus* cattle. En: Reproduction in Domestic Ruminants VI (Eds. Juengel JL, Murray JF and Smith MF), pp. 223-236. Nottingham University Press.

Bridges GA, Helser LA, Grum DE, Mussard ML, Gasser CL, Day ML (2008). Decreasing the interval between GnRH and PGF2α from 7 to 5 days and lengthening proestrus increases timed-AI pregnancy rates beef cows. Theriogenology 69: 843-851.

Colazo MG y Ambrose DJ (2011). Neither duration of progesterone insert or initial GnRH treatment affected pregnancy per timed-insemination in dairy heifers subjected to a Co-Sync protocol. Theriogenology 76: 578-588.

Colazo MG y Mapletoft RJ (2017). Pregnancy per AI in Holstein heifers inseminated with sex-selected or conventional semen after estrus detection or timed-AI. Canadian Veterinary Journal 58: 365-370.

Colazo MG, Whittaker P, Macmillan K, Bignell D, Boender G, de Carvalho Guimaraes R, Mapletoft RJ (2018a). Evaluation of a modified GnRH-based timed-AI protocol associated with estrus detection in beef heifers inseminated with sex-selected or conventional semen. Theriogenology 118: 90-95.

Colazo MG, Macmillan K, Mapletoft RJ (2018b). Modifications of a 5-d GnRH-based timed-AI protocol to optimize fertility in Holstein heifers inseminated with sex-selected semen. 10th International Ruminant Reproduction Symposium (IRRS), 16-20 Septiembre 2018, Foz do Iguazu, Brazil. Abstract 97.

Cruppe LH, Day ML, Abreu FM, Kruse S, Lake SL, Biehl MV, Cipriano RS, Mussard ML, Bridges GA (2014). The requirement of GnRH at the beginning of the five-day Co-synch + controlled internal drug release protocol in beef heifers. Journal of Animal Science 92: 4198-4203.

DeJarnette JM, House RB, Ayars WH, Wallace RA, Marshall CE (2004). Synchronization of estrus in postpartum beef cows and virgin heifers using combinations of melengestrol acetate, GnRH, and PGF2 alpha. Journal of Animal Science 82: 867-877.

Geary TW, Whittier JC, Hallford DM, MacNeil MD (2001). Calf removal improves conception rates to the Ovsynch and Co-synch protocols. Journal of Animal Science 79: 1-4.

Kasimanickam RK, Firth P, Schuenemann GM, Whitlock BK, Gay JM, Moore DA, Hall JB, Whittier WD (2014). Effect of the first GnRH and two doses of PGF2α in a 5-day progesterone-based Co-Synch protocol on heifer pregnancy. Theriogenology 81: 797-804.

Lamb GC, Larson JE, Geary TW, Stevenson JS, Johnson SK, Day ML, Ansotegui RP, Kesler DJ., DeJarnette JM, Landblom DG (2006). Synchronization of estrus and artificial insemination in replacement beef heifers using gonadotropin-releasing hormone, prostaglandin F2α, and progesterone. Journal of Animal Science 84: 3000-3009.

Lima FS, Ribeiro ES, Bisinotto RS, Greco LF, Martinez N, Amstalden M, Thatcher WW, Santos JEP (2013). Hormonal manipulations in the 5-day timed artificial insemination protocol to optimize estrous cycle synchrony and fertility in dairy heifers. Journal of Dairy Science 96: 7054-7065.

Lopes G Jr, Johnson CR, Mendonça LG, Silva PR, Moraes JG, Ahmadzadeh A, Dalton JC, Chebel RC (2013). Evaluation of reproductive and economic outcomes of dairy heifers inseminated at induced estrus or at fixed time after a 5-day or 7-day progesterone insert-based ovulation synchronization protocol. Journal of Dairy Science 96: 1612-1622.

López-Helguera I, Whittaker P, Behrouzi A, Mapletoft RJ, Colazo MG (2018). Effect of initial GnRH and time of insemination on reproductive performance in cyclic and acyclic beef heifers subjected to a 5-d Co-synch plus progesterone protocol. Theriogenology 106: 39-45.

Macmillan K, Loree K, Mapletoft RJ, Colazo MG (2017). Short communication: optimization of a timed artificial insemination program for reproductive management of heifers in Canadian dairy herds. Journal of Dairy Science 100: 4134-4138.

Martínez MF, Adams GP, Bergfelt D, Kastelic JP, Mapletoft RJ (1999). Effect of LH or GnRH on the dominant follicle of the first follicular wave in heifers. Animal Reproduction Science 57: 23-33.

Martínez MF, Kastelic JP, Adams GP, Cook RB, Olsen WO, Mapletoft RJ (2002). The use of progestins in regimens for fixed-time artificial insemination in beef cattle. Theriogenology 57: 1049-1059.

Menchaca A, Núñez R, Wijma R, García Pintos C, Fabini F, de Castro T (2013). How fertility can be improved in fixed-time AI programs in beef cattle. In Proceedings X Symposium on Animal Reproduction (ed. GA Bó and M Caccia), Institute of Animal Reproduction Cordoba (IRAC), Córdoba, Argentina. pp. 103-134.

Peterson C, Alkar A, Smith S, Kerr S, Hall JB, Moore D, Kasimanickam R (2011). Effects of one *versus* two doses of prostaglandin F2 alpha on AI pregnancy rates in a 5-day progesterone-based, CO-Synch protocol in crossbred beef heifers. Theriogenology 75: 1536-1542.

Pursley JR, Mee MO, Wiltbank MC (1995). Synchronization of ovulation in dairy cows using PGF2alpha and GnRH. Theriogenology 44: 915-923.

Pursley JR, Wiltbank MC, Stevenson JS, Ottobre JS, Garverick HA, Anderson LL (1997). Pregnancy rates per artificial insemination for cows and heifers inseminated at a synchronized ovulation or synchronized estrus. Journal of Dairy Science 80: 295-300.

Rabaglino MB, Risco CA, Thatcher MJ, Lima F, Santos JEP, Thatcher WW (2010). Use of a five-day progesterone-based timed AI protocol to determine if flunixin meglumine improves pregnancy per timed AI in dairy heifers. Theriogenology 73: 1311-1318.

Re M, de la Mata JJ, Bó GA (2013). Synchronization of ovulation in dairy heifers using a shortened estradiol-based protocol that provides for a lengthened proestrus. Reproduction, Fertility and Development 26: 118.

Richardson AM, Hensley BA, Marple TJ, Johnson SK, Stevenson JS (2002). Characteristics of estrus before and after first insemination and fertility of heifers after synchronized estrus using GnRH, PGF2α, and progesterone. Journal of Animal Science 80: 2792-2800.

Richardson BN, Hill S, Stevenson JS, Djira GD, Perry GA (2014). Meta-analysis of the effect of estrus expression before fixed-time AI on conception rates in beef cattle. Journal of Animal Science 92 (Suppl. 2): 701.

Seidel GE Jr (2014). Update on sexed semen technology in cattle. Animal 8: 160-164.

Silva TV, Lima FS, Thatcher WW, Santos JEP (2015). Synchronized ovulation for first insemination improves reproductive performance and reduces cost per pregnancy in dairy heifers. Journal of Dairy Science 98: 7810-7822.

Sinedino LDP, Lima FS, Bisinotto RS, Cerri RLA, Santos JEP (2014). Effect of early or late resynchronization based on different methods of pregnancy diagnosis on reproductive performance of dairy cows. Journal of Dairy Science 97: 4932-4941.

Small JA, Colazo MG, Kastelic JP, Erickson NE, Mapletoft RJ (2010). Effects of presynchronization and eCG on pregnancy rates to GnRH-based, fixed-time artificial insemination in beef heifers. Canadian Journal of Animal Science 90: 23-34.

Small JA, Colazo MG, Kastelic JP, Mapletoft RJ (2009). Effects of progesterone pre-synchronization and eCG on pregnancy rates to GnRH-based, timed-AI in beef cattle. Theriogenology 71: 698-706.

Spitzer JC, Miksch ED, Wiltbank JN (1976). Synchronization following norgestomet and 5 or 6 mg EV. Journal of Animal Science 43: 305 (Abstr.).

Whittier WD, Currin JF, Schramm H, Holland S, Kasimanickam RK (2013). Fertility in Angus cross beef cows following 5-day CO-Synch + CIDR or 7-day CO-Synch + CIDR estrus synchronization and timed artificial insemination. Theriogenology 80: 963-969.

Wilson DJ, Mallory DA, Busch DC, Leitman NR, Haden JK, Schafer DJ, Ellersieck MR, Smith MF, Patterson DJ (2010). Comparison of short-term progestin based protocols to synchronize estrus and ovulation in postpartum beef cows. Journal of Animal Science 88: 2045-2054.

(Aceptado para publicación el 11 de enero de 2019)

Intensificación sostenible de la ganadería bovina tropical basada en recursos locales: alternativa de mitigación ambiental para América Latina. Revisión Bibliográfica

R.I. Parra-Cortés, M.A. Magaña-Magaña* y A.T. Piñeiro-Vázquez

Tecnológico Nacional de México/I.T-Conkal. División de Estudios de Posgrado e Investigación. Avenida Tecnológico s/n Conkal, Yucatán, México. C.P: 97345

Resumen

La demanda presente y futura de alimentos ocasionada por el crecimiento de la población requiere de un mayor grado de intensificación de los sistemas productivos, pero en el caso de la ganadería su desarrollo ha implicado cambios en el uso del suelo y deterioros ambientales. Por lo tanto, la producción de carne y leche debe no superar los límites de uso de los recursos naturales y mitigar el deterioro ambiental ocasionado. El principal efecto asociado a la actividad ganadera es la emisión de gases de efecto invernadero, misma originada por la deforestación para el establecimiento de áreas de pastoreo y cultivos forrajeros, así como de la fermentación entérica de los ganados. Esta problemática requiere un análisis de la interacción ganadería-ambiente y la validación de herramientas tecnológicas idóneas para la mitigación del deterioro ambiental. En este sentido, este documento brinda información sobre alternativas de intensificación sostenible de los sistemas de producción bovina, enfatizando en sistemas pastorales de países en vías de desarrollo. Los objetivos de este artículo de revisión, son: a) realizar una síntesis comparativa de las emisiones de gases de efecto invernadero atribuidas a la intensificación de la ganadería bovina en países desarrollados y en vías de desarrollo y, b) proponer como elementos básicos de los sistemas silvopastorales la integración de árboles, arbustos y razas locales para la mitigación de los deterioros ambientales en zonas tropicales de América Latina.

Palabras clave: Bovino criollo, cambio climático, productividad, silvopastoral, sostenibilidad.

Sustainable intensification of tropical cattle raising based on local resources: environmental mitigation alternative for Latin America. Review

Abstract

The present and future demand for food caused by population growth require a greater degree of intensification of production systems, but in the case of livestock, its development has involved changes in land use and environmental deterioration. Therefore, the production of meat and milk must not exceed the limits of the use of natural resources and mitigate the environmental deterioration caused. The main effect associated with livestock activity is the emission of greenhouse gases, the same origination of deforestation for the establishment of grazing areas and forage crops, as well as the enteric fermentation of cattle. This problem requires an analysis of the interaction, between livestock, and the

* Autor para correspondencia: drmmagana@gmail.com

Cita del artículo: Parra-Cortés RI, Magaña-Magaña MA, Piñeiro-Vázquez AT (2019). Intensificación sostenible de la ganadería bovina tropical basada en recursos locales: alternativa de mitigación ambiental para América Latina. Revisión Bibliográfica. ITEA-Información Técnica Económica Agraria 115(4): 342-359. https://doi.org/10.12706/itea.2019.003

environment and the validation of suitable technological tools for the mitigation of environmental deterioration. In this sense, this document provides information on alternatives for sustainable intensification of livestock production systems, emphasizing pastoral systems in developing countries. The objectives of this review article are: a) to conduct a comparative synthesis of greenhouse effect gas emissions attributed to the intensification of cattle ranching in developed and developing countries and, b) to propose as basic elements of the silvopastoral systems the integration of trees, shrubs and local breeds for the mitigation of environmental deterioration in tropical areas of Latin America.

Keywords: Creole bovine, climate change, productivity, silvopastoral, sustainability.

Introducción

En 2017, la población mundial alcanzó una cifra cercana a los 7.500 millones de personas y se espera para el 2050 supere los 9.700 millones (FAO, 2018). El crecimiento demográfico hace que las naciones se preocupen por garantizar la seguridad alimentaria, el uso sostenible de los recursos y la disponibilidad de medios de vida en las comunidades. En la actualidad los países desarrollados han logrado mantener los volúmenes de alimentos que requieren sus habitantes, resultado de la estabilidad en la oferta de insumos productivos y el uso de combustibles fósiles. Sin embargo, cerca de 821 millones de personas sufren inseguridad alimentaria (FAO, 2018).

La demanda de alimentos en los países desarrollados se ha asociado con el cambio en las preferencias de los consumidores, condición favorecida por el aumento en el poder adquisitivo. Estos cambios han provocado la intensificación tecnológica, biológica y química de la producción de alimentos, así como una mayor presión sobre los recursos naturales (Sadowski y Baer-Nawrocka, 2018). En los países en vías de desarrollo, la demanda de alimentos ha promovido la cría de ganado, situación conocida como la "revolución ganadera" (Thornton, 2010; Wright *et al*., 2012).

La actividad ganadera ante las presiones de la demanda de alimentos se ha intensificado en diversas partes del mundo, a través de incrementos en la capacidad de carga animal por unidad de superficie, el uso de piensos y el mérito genético de las razas (Bava *et al*., 2014). No obstante, la ganadería intensiva ha demandado el uso a gran escala de recursos naturales como suelo, agua y combustibles fósiles (De Vries y De Boer, 2010). Así mismo la cría de ganado se ha asociado a diversos deterioros en los ecosistemas tales como deforestación, erosión del suelo, pérdida de biodiversidad, eutrofización y emisiones de gases (Steinfeld *et al*., 2006).

La ganadería es una de las fuentes de emisión continua y acumulativa de gases de efecto invernadero (GEI), mismos que son responsables en cierta medida del cambio climático y el calentamiento global contribuyendo entre el 14,5 y 15% de las emisiones totales de GEI (Gerber *et al*., 2013; Gerssen-Gondelach *et al*., 2017). Mientras tanto, el cambio climático ocasiona en la actividad ganadera problemas de escasez de recursos naturales, perdida de la biodiversidad y deterioro en la salud de los animales, estos últimos relacionados con la disminución de alimentos, la incidencia de plagas, reaparición de enfermedades y estrés calórico (Rojas-Downing *et al*., 2017).

El proceso de intensificación de la actividad ganadera debe responder al aumento estimado de 100% en la demanda de alimentos para el año 2050 (FAO, 2018) y, de no ser reorientado con principios sostenibles, éste continuará generando deterioros ambientales. Frente a este escenario, la ganadería además de contribuir con la oferta de alimentos,

debe mitigar los daños ecológicos presentes y evitar el incremento de los deterioros futuros (Steinfeld *et al*., 2006). Por esta exigencia, los sistemas de producción ganaderos en los países en vías de desarrollo deberán ser cada vez más intensivos, eficientes y sostenibles (McDermott *et al.*, 2010).

La información sobre alternativas eficaces para encontrar la armonía entre la ganadería, su proceso de intensificación y los ecosistemas es escasa ante la creciente demanda de alimentos. La generación de dicha información requiere el previo estudio de la interacción ganadería-ambiente y la posterior validación de herramientas tecnológicas idóneas para la mitigación de los deterioros ambientales en cada región del mundo. En respuesta a la necesidad de información sobre esta temática, los objetivos de este artículo son: a) elaborar una síntesis comparativa de los antecedentes del comportamiento de las emisiones de GEI atribuidas a la intensificación de la ganadería bovina en países desarrollados y en vías de desarrollo; y b) proponer como elementos básicos en los sistemas silvopastorales la integración de árboles, arbustos y razas locales, como alternativa para la mitigación de GEI en zonas tropicales de América Latina.

Aspectos generales sobre la intensificación de los sistemas de producción ganadera

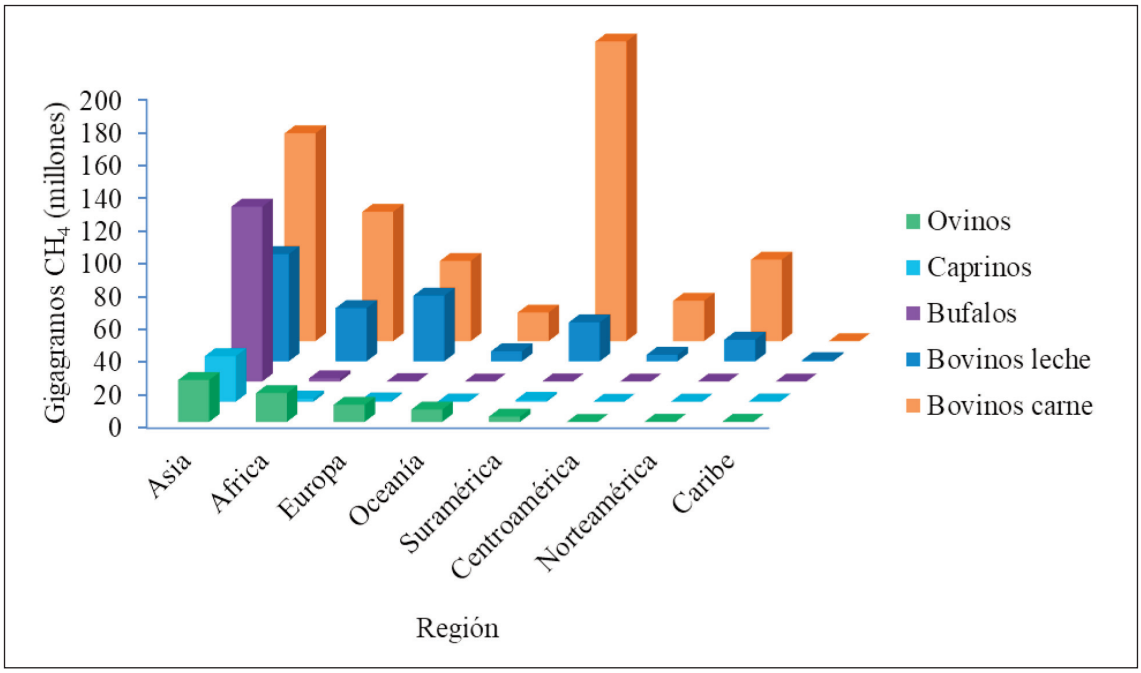
En términos generales y según sus características e interacciones con el entorno, los sistemas de producción ganadera pueden ser clasificados en pastorales, mixtos (cría de ganado y cultivos) o industriales (Seré *et al.*, 1996). Se considera que los sistemas más intensivos en el uso de los recursos naturales, capital y mano de obra son los industriales, condición que les permite alcanzar mayores rendimientos productivos y menores pérdidas energéticas. Entretanto, los sistemas pastorales donde se desarrolla la cría de los rumiantes se clasifican en extensivos en áreas marginales, extensivos en áreas con alto potencial y pastorales intensivos (Steinfeld *et al*., 2006).

Un sistema de producción ganadero puede ser considerado como intensivo cuando el hombre al hacer aprovechamiento de los recursos disponibles, realiza cambios tecnológicos y ejerce una gestión avanzada de las empresas, de tal manera que logra incrementar la producción, la productividad y la calidad de los productos (Carswell, 1997; Bebe *et al*., 2002; Udo *et al*., 2011). Consecuentemente, se alcanza un mayor nivel de intensificación en un sistema de producción ganadera, si éste presenta cambios tecnológicos endógenos o la transición hacia otro tipo de sistema más intensivo (Gerssen-Gondelach *et al.*, 2017). No obstante, los cambios relacionados con la intensificación de la actividad ganadera han ocasionado importantes costos ambientales y sociales.

Mientras suceden los deterioros ambientales se presenta una reasignación de los recursos naturales, ejemplo de esto es el aprovechamiento del 70% de la superficie agrícola mundial para la crianza de ganado y el cultivo de forrajes. Por lo tanto, al modificarse las coberturas nativas de los ecosistemas a la ganadería se le atribuyen cambios en el uso del suelo relacionados con la deforestación y la emisión de GEI (Steinfeld *et al*., 2006; Gerber *et al*., 2013; Herrero *et al*., 2013).

Entre los GEI se encuentran el dióxido de carbono (CO_2), el metano (CH_4) y el óxido nitroso (N_2O), éstos medidos en términos de unidades equivalentes de dióxido de carbono ($CO_{2\text{-eq}}$) y señalados como los principales responsables del calentamiento global. Actualmente se estima que los sistemas de producción ganadera emiten entre el 14,5 y 15% de los GEI, de esta cifra entre el 60 y 80 % corresponde a cambios en la cobertura del suelo (Gerber *et al*., 2013; Gerssen-Gondelach *et al*., 2017).

La cría de rumiantes se considera como una fuente de CH_4 y N_2O, gases que provienen de la fermentación entérica, la deposición de excretas, la fertilización nitrogenada de los pastos y el uso de estiércoles como abonos orgánicos (O'Mara, 2011), en consecuencia los sistemas de producción orientados a la obtención de carne y leche bovina son las mayores fuentes de GEI; problemática más acentuada en las regiones tropicales (Figura 1).



Fuente: Elaboración propia basado en información de FAO (2018).

Figura 1. Emisiones de CH_4 a partir de la fermentación entérica en rumiantes domésticos (2016).
Figure 1. Emissions of CH_4 from enteric fermentation in domestic ruminants (2016).

En estudios realizados se ha estimado que al producir un kilogramo de carne bovina en sistemas intensivos se emite entre 9,9 y 36,4 $CO_{2\text{-eq}}$ de GEI, mientras que en sistemas extensivos las emisiones presentan un rango entre 12 a 44 $CO_{2\text{-eq}}$ (Pelletier *et al*., 2010; Capper y Hayes, 2012). Por su parte, en la producción de un kilogramo de leche bovina se reportó que las emisiones de GEI presentan un rango entre 1,0 a 1,6 kg $CO_{2\text{-eq}}$ (Beauchemin *et al*., 2009). La variación en las cifras observadas es atribuida al nivel tecnológico de los sistemas de producción ganadera, así como a metodologías aún no estandarizadas para la medición de gases atmosféricos a nivel mundial (Bertrand y Barnett, 2011; Derner *et al*., 2017).

Según Herrero *et al*. (2013), las emisiones de GEI provenientes de la actividad ganadera son menores en la mayoría de los países desarrollados, esto atribuido a la mejora en las prácticas de alimentación y a la calidad nutricional de los productos alimenticios ofreci-

dos a los animales; mientras que en países en vías de desarrollo de las zonas tropicales, la intensidad de las emisiones de GEI es elevada como resultado del suministro de forrajes con limitada calidad nutricional y a la cría de animales con baja conversión alimenticia. Por lo tanto, en el trópico mediante alternativas idóneas para la alimentación de los rumiantes es posible intensificar sus sistemas de producción y mitigar sus correspondientes emisiones de GEI (Thornton, 2010).

Un cambio endógeno, orientado hacia intensificación de la ganadería tropical, es la optimización en el manejo de las praderas y la mejora de la calidad nutricional de los forrajes (Eckard *et al.*, 2010; Hristov *et al.*, 2013). No obstante, en zonas tropicales predominan pastizales de escasa calidad nutricional, razas de ganado con baja conversión alimenticia y riesgos asociados con la variabilidad climática, factores que condicionan la producción ganadera, favorecen las emisiones de GEI e influyen sobre las estrategias de gestión de los sistemas de producción.

Se ha demostrado que una forma para mitigar las emisiones de GEI provenientes de la fermentación entérica es la inclusión de granos en la alimentación de rumiantes, ya que éstos reducen la producción de ácido acético en el rumen y consiguen un descenso en las cantidades emitidas de CH_4 (Valencia-Salazar *et al*., 2018). Otra forma para mitigar las emisiones de GEI en condiciones de pastoreo es la selección de rumiantes con menores requerimientos energéticos, mayor conversión alimenticia y ciclos productivos menos prolongados; cualidades que le confieren al sistema una mayor productividad por unidad de superficie, principio en el que se sustenta la intensificación de la ganadería (Steinfeld *et al*., 2006; Beauchemin *et al*., 2009).

Ante el dilema de aumentar la producción mundial de alimentos y a su vez proteger el ambiente, emerge como respuesta la *"agricultura sostenible"*, definida por la Plataforma de la Iniciativa de Agricultura Sostenible (SAI, 2018), como la producción eficiente de productos inocuos y de alta calidad obtenidos a partir de procesos que preservan el entorno natural, las condiciones sociales y económicas de las comunidades y que salvaguardan la salud y bienestar de todas las especies agrícolas. En la actualidad desarrollar la agricultura de manera sostenible se torna en uno de los retos más importantes para la sociedad y los sistemas de producción agropecuarios (Goss *et al*., 2017). En lo particular, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, así como el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, han promovido en zonas tropicales programas de ganadería sostenible para lograr una mejor interacción entre los sistemas de producción y el ambiente.

Finalmente, en la búsqueda de alternativas que armonicen la relación entre la intensificación de los agroecosistemas y el ambiente se desarrolló el concepto de *"intensificación sostenible"*, el cual es definido por Milera (2013) como "el incremento de la producción a partir de la misma área de tierra, al tiempo que se reducen los efectos negativos para el medio ambiente, se aumenta la contribución al capital natural y el flujo de servicios ambientales que constituyen un objetivo estratégico medioambiental". Avances en la aplicación de los principios y fundamentos teórico-prácticos asociados a dicho concepto, son los programas de incentivos económicos que otorgan los gobiernos y organizaciones de países desarrollados a los gobiernos, entidades gremiales y productores de países en vías de desarrollo por la oferta de servicios agroecosistémicos, donde se contemplan los sistemas silvopastorales como alternativa de mitigación de deterioros ambientales y medio de intensificación idónea para la ganadería bovina en zonas tropicales (Murgueitio, 2009).

Intensificación de la ganadería bovina y sus emisiones de GEI en países desarrollados

El proceso de intensificación de la ganadería bovina en países desarrollados durante las últimas siete décadas ha mejorado los niveles de producción, pero ha ocasionado deterioros en recursos naturales como suelo, aire, fuentes de agua y en el estado de la biodiversidad (Naylor *et al.*, 2005; Capper *et al.*, 2009). Además, la intensificación de la actividad ganadera a su vez se ha asociado con afectaciones en la salud humana y el bienestar de los animales, por lo que en la actualidad la aceptación social de los sistemas intensivos ha disminuido (Tarawali *et al.*, 2011).

La producción de carne bovina en Estados Unidos y de leche en Europa, presentan un comportamiento similar con relación a las emisiones de GEI y la transición de sus sistemas productivos extensivos a intensivos en estas regiones ha promovido mejores indicadores de desempeño productivo de sus ganados, así como la mitigación de sus emisiones de GEI (Pelletier *et al.*, 2010). Al cambiar de un sistema de producción de carne bovina basado en pastos a uno de tipo mixto (cultivos y animales), se ha encontrado una reducción de las emisiones de GEI cercana al 16%, y cuando se presenta una transición de sistema mixto a uno de tipo industrial, la reducción es aproximadamente del 9% (Pelletier *et al.*, 2010). Pero no solo en condiciones intensivas de confinamiento ha sido posible mitigar las emisiones de GEI; un ejemplo de esto son los resultados obtenidos en sistemas pastorales de Brasil, donde se reporta un mayor volumen de la producción de carne bovina aunada a una reducción cercana al 50% en las emisiones de GEI. Los resultados obtenidos en condiciones de pastoreo son atribuibles a cambios tecnológicos como la utilización de pastos mejorados y la implementación de métodos de rotación de las áreas destinadas al pastoreo (Dick *et al.*, 2015).

Los procesos de intensificación de la producción láctea en Europa han permitido la disminución de las emisiones de GEI por kilogramo de leche producida. Así, al comparar sistemas de producción de leche bovina en pastoreo y mixtos (incluyen cultivos y ganados), se encontró un menor nivel de las emisiones de GEI al mejorar las fuentes de alimentación de los animales, situación que se presenta en mayor medida en sistemas de tipo mixto (Gerssen-Gondelach *et al.*, 2017). En contraste, Lovett *et al.* (2008) reportó que la mejora de la alimentación a través del suministro de piensos en sistemas mixtos de producción de leche no favorece la disminución de las emisiones de GEI ni una mejora en la productividad por hectárea.

En el caso de los países en vías de desarrollo donde la ganadería bovina en su mayoría es de tipo pastoral, el panorama es esperanzador al replicar los buenos resultados obtenidos en Brasil y en otras zonas tropicales, ya que al mejorar las prácticas de manejo de los pastos se logra mitigar las emisiones de GEI, mientras se contribuye con el abastecimiento de carne y leche bovina (Hörtenhuber *et al.*, 2010; Bartl *et al.*, 2011; O'Brien *et al.*, 2012).

Intensificación de la ganadería bovina en países en vías de desarrollados: estrategias y avances

La ganadería es considerada la única fuente de subsistencia para al menos 20 millones de familias y la principal fuente de ingresos para cerca de 200 millones de pequeños productores en zonas tropicales de Asia, África y América Latina (FAO, 2017). En las zonas tropicales del mundo se encuentran ubicados la mayor parte de los países en vías de desarrollo y coexisten los sistemas de producción ganadera extensivos, de subsistencia e industriales (Mcdermott *et al.*, 2010). Así mismo, el ganado bovino cumple con diversas funcio-

nes socioculturales y productivas en las zonas tropicales entre las que se destacan el abastecimiento de alimentos, el aprovisionamiento de fuerza para la tracción en el cultivo de la tierra o como medio de transporte, el suministro de excretas que sirven de abono, combustible o material para construcción, así como objeto de ahorro e inversión para los pequeños productores.

En la actualidad el cambio climático confiere limitantes técnicas y deterioros a los sistemas de producción, según el Grupo de Alto Nivel de Expertos en Seguridad Alimentaria y Nutrición (HLPE, 2016), las tendencias económicas presentes y futuras posicionan a los países en vías de desarrollo en zonas tropicales, como despensas de alimento para la creciente población mundial. Consecuentemente, para incrementar las cantidades de carne y leche en zonas tropicales es relevante la intensificación de la ganadería bovina mediante cambios tecnológicos idóneos, además de estrategias que eviten la desaparición de los sistemas tradicionales de economía familiar, mixtos y de pequeña escala. Lo anterior debe realizarse de tal manera que los incrementos productivos no agudicen los deterioros ambientales, la pobreza y los conflictos sociales relacionados con la tenencia de la tierra, el acceso y la distribución de los alimentos.

Además de los deterioros ambientales, la intensificación de los sistemas ganaderos ha implicado el uso de un número limitado de razas altamente productivas, marginando a su vez los sistemas tradicionales basados en recursos zoogenéticos locales, así como favoreciendo la pérdida de diversidad genética en los agroecosistemas. En el caso particular de los bovinos disponibles de origen local, éstos se han cruzado con otros de origen exótico, ocasionando erosión genética, reducción de las poblaciones originales y, en casos extremos, la extinción de razas (Núñez-Domínguez *et al*., 2016).

Sin embargo, alcanzar la intensificación sostenible de los sistemas ganaderos es posible mediante la mejora de las prácticas de alimentación, así como a la implementación de planes de mejoramiento genético de razas locales y programas de cruzamiento de estas razas con otras de tipo comercial (Gerber *et al.*, 2013). Al respecto, un buen ejemplo son los resultados obtenidos de la última década en Brasil, donde la intensificación de sus sistemas pastorales ha sido posible gracias al cultivo eficiente de pastos y la adopción de tecnologías idóneas; señalando la ruta que debe seguir la ganadería bovina en zonas tropicales. Por lo tanto, un reto importante para los sistemas de producción bovina es el de fomentar la seguridad alimentaria a partir de recursos locales, con el fin de contribuir a la oferta de carne y leche y a la mitigación de los deterioros ambientales asociados a la cría de ganados (Scholten *et al.*, 2013).

Alternativas de intensificación sostenible para la ganadería bovina en América Latina

Una alternativa para los países en vías de desarrollo de América Latina y el Caribe ante el reto de la seguridad alimentaria, es la intensificación de la ganadería bovina practicada en los agroecosistemas bajo un enfoque sostenible, con lo cual se alcanzaría el objetivo de proveer beneficios ambientales y sociales a las comunidades rurales de tales regiones. Al respecto, los gobiernos de países desarrollados han transferido recursos económicos para el financiamiento de proyectos de producción bovina sostenible en América Latina, tal como es el caso del proyecto "Ganadería Colombiana Sostenible" y el "Programa de Ganadería y Manejo del Medio Ambiente" en Costa Rica. Estos proyectos promueven los sistemas silvopastorales como alternativas de intensificación, al aumentar la oferta y la ca-

lidad de los forrajes y con éstas la carga animal; además brindan servicios ecosistémicos a la sociedad, como ya fue mencionado.

En América Latina las áreas más susceptibles a la ampliación de la frontera agrícola destinada para la ganadería bovina son la Amazonía en Brasil, el chaco americano en Argentina, Paraguay y Bolivia, y las zonas áridas y semiáridas de Argentina y Chile (FAO, 2018). Con la inminente expansión de la ganadería ha sido necesaria la toma de decisiones para mitigar la pobreza, generar riqueza y estimular formas de producción sostenibles, es decir, implementar el enfoque de desarrollo sostenible de la mejor manera posible. Esto en países con potencial productivo, sin marginar los sistemas tradicionales, que representan el sustento de los pequeños productores. Entre las principales estrategias de intensificación orientadas en la búsqueda de la producción sostenible de carne y leche bovina en América Latina, se ha implementado y evaluado sistemas de aprovechamiento de los recursos naturales más eficaces como los sistemas silvopastorales y, en menor proporción, pero de igual importancia para tal fin, se tiene disponibilidad y uso de los recursos zoogenéticos locales.

Sistemas silvopastorales con especies arbóreas y arbustivas locales

La ganadería bovina en zonas tropicales de América Latina se ha basado en sistemas extensivos con monocultivos de pastos, modelo poco adecuado para la región (Sánchez, 1999; Murgueitio, 2009). Los pastizales en estas zonas se caracterizan por su baja calidad y escasa productividad, características que se acrecientan en épocas de sequía, por lo que los ganaderos deben utilizar mayores áreas de pastoreo y destinar más recursos para la compra de suplementos alimenticios (Ferguson *et al.*, 2013). En zonas tropicales y como respuesta a los deterioros generados por la ganadería se han evaluado diversos árboles y arbustos locales, éstos sirven de alimento y sombra para los ganados, además contribuyen con la fertilidad, el balance hídrico y la fijación de nutrientes en el suelo, así como con la captación de dióxido de carbono. De esta manera es como este tipo de sistemas se ha convertido en una herramienta tecnológica útil en la adaptación y mitigación al cambio climático, debido a que proporciona una variedad de bienes y servicios ambientales benéficos para la sociedad (Steinfeld *et al.*, 2006; Murgueitio e Ibrahim, 2008; Nahed-Toral *et al.*, 2013). Algunas de las especies leñosas más utilizadas en sistemas silvopastorales en América Latina se presentan en la Tabla 1.

Con la expansión ganadera y la consecuente ampliación de las áreas deforestadas destinadas a la siembra y manejo de cultivos agrícolas, se ha propiciado el cambio en el uso del suelo, ocasionando que esta actividad productiva se traslade a zonas boscosas, por lo que la deforestación debe ser evitada al integrar a los animales en forma armónica a los bosques; lo cual es posible con la implementación de sistemas silvopastorales (Ibrahim *et al.*, 2007). Este tipo de sistemas son definidos como la integración de árboles y arbustos con pastos y animales para lograr sostenibilidad económica, ecológica y social (Ibrahim *et al.*, 2011). Entre las principales ventajas de los sistemas silvopastorales están el incremento de la cobertura vegetal, la oferta de sombra y el declive del estrés calórico en los animales; además de la mejora en la producción y la calidad de los pastos, el aprovisionamiento de nutrientes y la fijación de nitrógeno en los suelos, ocasionando de esta manera la reducción del uso de fertilizantes químicos.

Así mismo, los sistemas silvopastorales ofrecen una alternativa sostenible para aumentar la biodiversidad animal y vegetal, y para aumentar los niveles de producción animal con reducida dependencia de los insumos externos (Sánchez, 1999). Es importante señalar

Tabla 1. Árboles y arbustos disponibles en América Latina, útiles en sistemas silvopastorales.
Table 1. Trees and bushes available in Latin America, useful in Silvopastoral systems.

Nombre científico	Nombre común
Acrocomia vinifera	Coyol
Alnus acuminata	Aliso
Bombacopsis quinatum	Cedro espinoso
Bursera simaruba	Palo mulato
Cajanus cajan	Guandú
Carapa guianensis	Caobilla
Ceiba pentandra	Ceiba
Citrus spp.	Cítricos
Cordia alliodora	Laurel blanco
Cordia gerascantus	Móncoro
Cratylia argentea	Cratilia
Crescentia spp.	Totumo
Enterlobium cyclocarpum	Guanacaste u orejero
Erythrina spp.	Eritrina
Eucalyptus globulus	Eucalipto
Gliricidia sepium	Matarratón
Guzuma ulmifolia	Guácimo
Hyeronima alchornoides	Pilón
Leucaena spp.	Leucaena
Malvaviscus penduliflorus	Malvavisco
Mangifera indica	Mango
Myracrodruon urundeuva	Aroeira
Psidium guajava	Guayabo
Spondias spp.	Jobo
Samanea (Pithecellobium) saman	Samán
Tabebuia rosea	Roble
Tithonia diversifolia	Botón de Oro
Trichanthera gigantea	Nacedero
Urera caracasana (Jacq.) Gaudich. ex Griseb.	Caracasana
Zeyhera tuberculosa	Cabeza de mono

Fuente: Elaboración propia basada en Murgueitio (2009).

que los árboles y arbustos que tienen la posibilidad de ser asociados a la cría de ganado para integrar los diversos tipos de sistemas silvopastorales, ofrecen servicios ambientales tales como regulación de emisiones de GEI, restauración de suelos, conservación de la biodiversidad, protección de las cuencas de los ríos, conectividad de los corredores ambientales y embellecimiento del paisaje (Ibrahim *et al*., 2007; Nahed-Toral *et al*., 2013).

Retomando el punto central de este escrito, se puede afirmar que los sistemas silvopastorales son una vía para establecer una ganadería bovina intensiva y sostenible. Sin embargo, existen algunas desventajas que limitan la implementación masiva de los sistemas silvopastorales, destacan los problemas de propagación de las especies y los altos costos de establecimiento para el cultivo de árboles y arbustos. Al superar estas problemáticas los sistemas silvopastorales continuarán posicionándose como la alternativa de intensificación sostenible idónea para la ganadería bovina en zonas tropicales de América latina.

Uso de recursos zoogenéticos locales

Como ya fue expuesto, los procesos de industrialización o intensificación de la ganadería en el ámbito mundial han favorecido el aprovechamiento de un menor número de razas bovinas y, a su vez, provocado la subutilización de los recursos zoogenéticos locales. Según FAO (2013), en América Latina los sistemas de producción ganaderos predominantes son de tipo pastoral y mixto, con un moderado uso de tecnología e incluyen cerca del 60% de razas de tipo local. Sin embargo, varios estudios han mencionado que las razas nativas o locales presentan un mejor desempeño adaptativo al medio en comparación con razas exóticas y sus cruces. Lo anterior, es más evidente en condiciones ambientales tropicales, ya que esto se debe a la incapacidad de los genes que poseen los animales de origen exótico para expresarse y adaptarse a estas condiciones (Collier *et al*., 2008; Baumgard y Rhoads, 2013; Das *et al*., 2016).

Algunas de las razones de la subutilización de los recursos zoogenéticos locales, son: escasa información de sus características productivas, desconocimiento del valor genético de los ejemplares existentes y baja inclusión de estos recursos en programas de mejoramiento y de conservación genética (Salazar y Cardozo, 1981; Tewolde *et al*., 2007). Lo indicado contrasta con lo que sucede con las razas bovinas comerciales, mismas que son destinadas a la industrialización ganadera, ya que éstas han sido ampliamente estudiadas y se dispone de información sobre su comportamiento general, lo que garantiza la fijación de características sobresalientes en planes de mejoramiento de rebaños bovinos, otorgándoseles mejores condiciones para su comercio internacional, incentivos para su uso a través de subsidios y su inclusión en proyectos ganaderos nacionales.

Es importante mencionar que la mayoría de los ganaderos que aprovechan las razas locales no suelen ser recompensados con precios diferenciales de los productos obtenidos a partir de éstas, así como no son distinguidos en el mercado como alimentos de alto valor nutricional y con excelentes cualidades sensoriales. Por el contrario, las razas utilizadas en sistemas de ganadería intensiva y sus productos sí son reconocidos en la sociedad como vitales para la seguridad alimentaria (Hoffmann, 2011). El aprovechamiento de razas de animales con alto potencial productivo, en zonas donde el acceso a insumos para la producción no presenta inconvenientes, permite estandarizar los procesos y alcanzar mayores indicadores productivos, en especial en los países desarrollados. Sin embargo, en zonas tropicales de los países en vías de desarrollo, las razas locales y sus sistemas de producción

se consideran ineficientes por el bajo rendimiento y altas emisiones de gases de efecto invernadero, esto asociado a la baja calidad de los forrajes, limitada infraestructura física y tecnológica, acceso a los mercados, aspectos socioculturales, así como problemas coyunturales derivados del entorno.

Un factor importante en la adopción y aprovechamiento de los recursos zoogenéticos locales, son las condiciones del mercado exterior, las cuales indican las tendencias en el consumo y la conformación de la oferta. Según el Programa de Producción Ganadera y otras organizaciones internacionales (LPP *et al.*, 2010), los nichos de mercado para productos con denominación de origen provenientes de razas locales ofrecen grandes oportunidades para la conservación de estos recursos. Por su parte, la comercialización de carne y leche bovina a precios justos ofrece la oportunidad a los países de América Latina de abastecer parte del mercado de los países desarrollados. Por lo cual, en esta región se deberá fortalecer el vínculo entre la conservación, la producción agropecuaria y el cuidado de la naturaleza; garantizándose la participación de los medianos y pequeños productores en los mercados, para esto es requisito incentivar la intensificación ganadera basada en servicios ecosistémicos, haciendo énfasis en razas bovinas locales y siguiendo las normas del comercio internacional.

En América Latina los bovinos criollos han sido evaluados para determinar sus potencialidades productivas y adaptativas. Los resultados obtenidos destacan las ventajas comparativas de estos animales respecto de otros genotipos, tales como la fertilidad, longevidad, mansedumbre, resistencia a parásitos y tolerancia al estrés calórico, así como sobresaliente calidad organoléptica y nutricional de su carne y leche (De Alba, 2011). Las características de los bovinos criollos son el resultado de cruzamientos entre razas de origen europeo y africano que fueron embarcadas hacia América desde la península Ibérica en tiempos de la conquista, posterior aislamiento geográfico y la adaptación a condiciones edafoclimáticas del Nuevo Mundo. Los procesos de colonización dieron paso a nuevos cruzamientos raciales, así como la distribución de los ganados por las diversas regiones de América (Tabla 2).

Actualmente, los núcleos genéticos de las razas bovinas criollas son escasos, como resultado de la revolución ganadera del siglo XX que favoreció el cruzamiento indiscriminado de éstas con otras razas denominadas mejoradas. Así mismo, el cambio climático impone a la ganadería retos como enfermedades, estrés por calor, escasez o exceso de agua, baja cantidad y calidad de forrajes y reducción de la biodiversidad (Thornton *et al*., 2010; Núñez-Domínguez *et al.,* 2016). Ante este contexto los bovinos criollos se posicionan como una fuente de diversidad genética, al emplearse en planes de cruzamientos con las razas más difundidas en América Latina para conformar hatos con mejor capacidad de adaptación a los riesgos conferidos por el cambio climático.

Finalmente, la globalización de los mercados y el intercambio genético han ocasionado el suministro de insumos de alto costo para garantizar el desempeño productivo de los ganados, así como un menor índice de rentabilidad de los hatos bovinos tropicales de América Latina. En este caso, el aprovechamiento de los recursos zoogenéticos disponibles como las razas criollas, permite alcanzar mejores indicadores de desempeño técnico-económico y reducir la vulnerabilidad de los sistemas de producción bovina frente a debilidades internas o amenazas provenientes del entorno. Así mismo, existe la necesidad de intensificar la producción de carne y leche, contexto donde los recursos zoogenéticos locales pueden contribuir con este fin sin dejar de lado los sistemas tradicionales y la mejora de las condiciones de producción de los sistemas que hacen transición hacia sistemas más intensivos y sostenibles.

Tabla 2. Biotipos bovinos locales y adaptados disponibles en América.
Table 2. Local and adapted bovine biotypes available in America.

Región	País	Biotipos locales y exóticos adaptados
Norteamérica	Estados Unidos	Florida Craker, Pineywoods, Brahman^{s}, Texas Longhorn
	México	Criollo de Baja California o Chinampo, Criollo de Chiapas, Criollo de Chihuahua, Criollo lechero tropical, Criollo de Nayarit, Criollo Poblano y Frijolillo
Centroamérica	Guatemala	Barroso
	Nicaragua	Reyna
	Panamá	Guabala, Guaymi
	R. Dominicana	Criollo Dominicano
Islas del Caribe	Cuba	Criollo Cubano, Siboney^{s} y St Croix
	Islas Vírgenes	Senepol^{s}
Suramérica	Argentina	Criollo Argentino
	Brasil	Caracú, Curraleiro o Pie duro, Guzerat^{i}, Gyr^{i}, Indubrasil^{s}, Lagaeano, Nelore^{i}, Mocho Nacional, Pantaneiro, Tabapúa^{s}, Tucura o Cuiabano, Sahiwal^{i}, Sindi^{i}
	Bolivia	Criollo Ñeembuc, Saavedreño, Yacumeño
	Chile	Criollo Patagónico
	Colombia	Blancorijinegro, Caqueteño, Chino Santandereano, Costeño con cuernos, Hartón del valle, Lucerna^{s}, Romosinuano, Sanmartinero, Velásquez^{s}
	Ecuador	Criollo ecuatoriano
	Paraguay	Criollo Arróyense, Criollo Pilcomayo y Pampa Chaqueño
	Perú	Criollo de las sierras
	Uruguay	Criollo Uruguayo
	Venezuela	Carora^{s}, Limonero y Llanero venezolano

Los superíndices "s" denotan raza sintética, proveniente de cruces entre razas *Bos indicus* y *Bos taurus*. Los superíndices "i" denotan razas *Bos indicus*, descendientes de bovinos africanos que llegaron a América después del siglo XVIII. Sin literales denotan razas *Bos taurus*, descendientes de bovinos ibéricos que llegaron a América durante las épocas de la Conquista y la Colonia.

Fuente: Elaboración propia basada en Primo (1992) y De Alba (2011).

Conclusiones

En América Latina los sistemas de producción de carne y leche bovina presentan tendencias de cambio de tradicionales a intensivos, atribuidas al aumento de la demanda de productos de origen animal. Los pequeños y medianos productores de esta región del mundo buscan alternativas para alcanzar mejores indicadores de desempeño productivo de sus rebaños, con el menor costo de producción y, a su vez realizar o adoptar prácticas de mitigación de los deterioros sobre el medio ambiente, agudizados por el cambio climático.

La búsqueda de sistemas de producción más intensivos y sostenibles posiciona a los recursos zoogenéticos locales como aptos para el diseño de sistemas de producción resilientes capaces de enfrentar los cambios en el entorno. A la pregunta ¿Qué se requiere en América Latina para intensificar la actividad ganadera bovina, sin acrecentar o mitigar los deterioros en los ecosistemas naturales?, se puede contestar que, primero, se requiere promover masivamente el cultivo y aprovechamiento de árboles y arbustos tanto endémicos, como introducidos con potencial forrajero, para la alimentación de los animales y, en segundo lugar promover la investigación e inversión para la recuperación de la diversidad genética de los bovinos locales de América, éstos también denominados criollos (Figura 2).

A pesar de que existe un gran interés por las razas bovinas criollas, el número de hembras es reducido y los toros destinados a la reproducción en su mayoría carecen de análisis de genotipificación; por lo que se desconocen cuáles son los ejemplares portadores de genes responsables de las mejores características de desempeño productivo. En cuanto a su alimentación, surge como alternativa sustentable para este fin el aprovechamiento de árboles y arbustos forrajeros en sistemas silvopastorales. Para lograr los mejores resultados en dichos sistemas, es recomendable utilizar recursos fitogenéticos disponibles, métodos de propagación vegetal acordes a las condiciones agroecológicas y el adecuado manejo agronómico, esto mediante tecnologías apropiadas para las diversas regiones, disponibilidad de capital y condiciones socioculturales de los productores.

Por último, y con base en las potencialidades que presentan los recursos naturales disponibles en los países de América Latina, puede afirmarse que de superarse las principales limitaciones técnicas, socioeconómicas y ambientales asociadas a la dinámica de la actividad ganadera bovina, esta región podrá contribuir al desarrollo sostenible global, a la seguridad alimentaria y a la mitigación de los deterioros ambientales, garantizando así el bienestar de las poblaciones humanas presentes y futuras de la región y de otras partes del mundo.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Tecnológico Nacional de México por la financiación recibida para la realización del proyecto "Características técnico-económicas de los sistemas de producción bovina con biotipos criollos: Directriz para el análisis de sostenibilidad", clave 6462.18-P, del cual este artículo de revisión es un entregable.

Referencias bibliográficas

Bartl K, Gómez C, Nemecek T (2011). Life cycle assessment of milk produced in two smallholder dairy systems in the highlands and the coast of Peru. Journal of Cleaner Production 19(13): 1494-1505. DOI: 10.1016/j.jclepro.2011.04.010

Baumgard LH, Rhoads RP Jr (2013). Effects of heat stress on postabsorptive metabolism and ener-

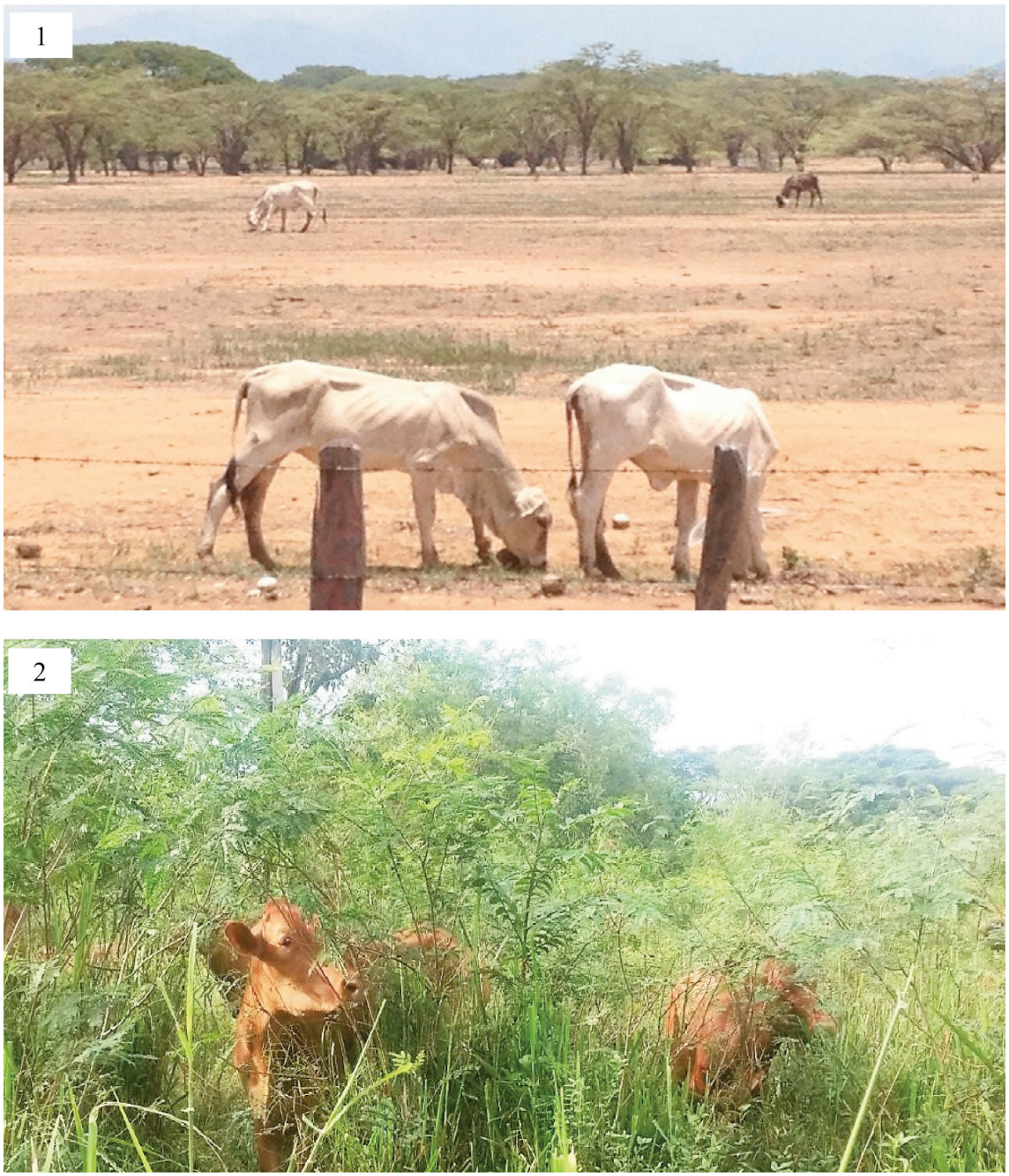


Figura 2. Contrastes de la ganadería bovina tropical en América Latina. (1) Ganadería bovina no sostenible. (2) Ganadería bovina sostenible, sistema silvopastoral basado en bovinos criollos y arbustos locales (Colombia).
Figure 2. Contrasts of cattle farming in Latin America. (1) Non-sustainable breeding cattle. (2) Sustainable breeding cattle, silvopastoral system based on creole cattle and local forages (Colombia).

getics. Annual Review of Animal Biosciences 1(1): 311-337. DOI: 10.1146/annurev-animal-031412-103644

Bava L, Sandrucci A, Zucali M, Guerci M, Tamburini A (2014). How can farming intensification affect the environmental impact of milk production? Journal of Dairy Science 97(7): 4579-4593. DOI: 10.3168/jds.2013-7530

Beauchemin K, McAllister TA, McGinn SM (2009). Dietary mitigation of enteric methane from cattle. CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources 4(035):1-18. DOI: 10.1079/pavsnnr20094035

Bebe BO, Udo HMJ, Thorpe W (2002). Development of smallholder dairy systems in the Kenya highlands. Outlook on Agriculture 31(2): 113-120. DOI: 10.5367/000000002101293958

Bertrand S, Barnett J (2011). Standard method for determining the carbon footprint of dairy products reduces confusion. Animal Frontiers 1(1): 14-18. DOI: 10.2527/af.2011-0011

Capper JL, Cady RA, Bauman DE (2009). The environmental impact of dairy production: 1944 compared with 2007. Journal of Animal Science 87(6): 2160-2167. DOI: 10.2527/jas.2009-1781

Capper J, Hayes D (2012). The environmental and economic impact of removing growth-enhancing technologies from U.S. beef production. Journal of Animal Science 90(10): 3527-3537. DOI: 10.2527/jas.2011-4870

Carswell G (1997). Agricultural intensification and rural sustainable livelihoods: a "Think Piece". IDS Working Paper 64, Brighton: IDS. Disponible en: http://www.ids.ac.uk/files/dmfile/Wp64.pdf (Consultado: 3 febrero 2018).

Collier RJ, Collier JL, Rhoads RP, Baumgard LH (2008). Invited review: Genes involved in the bovine heat stress response. Journal of Dairy Science 91(2): 445-454. DOI: 10.3168/jds.2007-0540

Das R, Sailo L, Verma N, Bharti P, Saikia J, Imtiwat, Kumar R (2016). Impact of heat stress on health and performance of dairy animals: A review. Veterinary World 9(3): 260-268. DOI: 10.14202/vetworld.2016.260-268

De Alba J (2011). El libro de los bovinos criollos de América. Biblioteca Básica de Agricultura. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México: 444 pp.

Derner JD, Hunt L, Filho KE, Ritten J, Capper J, Han G (2017) Livestock production systems. En: Rangeland Systems (Ed. Briske D), pp. 347-372. Springer Series on Environmental Management. DOI: 10.1007/978-3-319-46709-2_10

De Vries M, De Boer IJM (2010). Comparing environmental impacts for livestock products: A review of life cycle assessments. Livestock Science 128(1-3): 1-11. DOI: 10.1016/j.livsci.2009.11.007

Dick M, Abreu da Silva M, Dewes H (2015). Life cycle assessment of beef cattle production in two typical grassland systems of southern Brazil. Journal of Cleaner Production 96: 426-434. DOI: 10.1016/j.jclepro.2014.01.080

Eckard RJ, Grainger C, De Klein CAM (2010). Options for the abatement of methane and nitrous oxide from ruminant production: A review. Livestock Science 130(1-3): 47-56. DOI: 10.1016/j.livsci.2010.02.010

FAO (2013). Status and trends of animal genetic resources – 2012. Commission on Genetic Resources for Food and Agriculture. Disponible en: http://www.fao.org/docrep/meeting/027/mg046e.pdf (Consultado: 10 marzo 2018).

FAO (2017). Ganadería sostenible y cambio climático en América Latina y el Caribe. Disponible en: http://www.fao.org/americas/perspectivas/ganaderia-sostenible/es/ (Consultado: 10 marzo 2018).

FAO (2018). Datos de alimentación y agricultura. Disponible en: http://www.fao.org/faostat/en/#data (Consultado: 12 marzo 2018).

Ferguson BG, Diemont SAW, Alfaro-Arguello R, Martin JF, Nahed-Toral J, Álvarez-Solís D, Pinto-Ruíz R (2013). Sustainability of holistic and conventional cattle ranching in the seasonally dry tropics of Chiapas, Mexico. Agricultural Systems 120: 38-48. DOI: 10.1016/j.agsy.2013.05.005

Gerber PJ, Steinfeld H, Henderson B, Mottet A, Opio C, Dijkman J, Falcucci A, Tempio G (2013).

Tackling climate change through livestock – A global assessment of emissions and mitigation opportunities. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Rome, Italia. Disponible en: http://www.fao.org/3/a-i3437e.pdf (Consultado: 15 marzo 2018).

Gerssen-Gondelach SJ, Lauwerijssen RBG, Havlík P, Herrero M, Valin H, Faaij APC, Wicke B (2017). Intensification pathways for beef and dairy cattle production systems: Impacts on GHG emissions, land occupation and land use change. Agriculture, Ecosystems y Environment 240: 135-147. DOI: 10.1016/j.agee.2017.02.012

Goss MJ, Carvalho M, Brito I (2017). Agronomic Opportunities to Modify Cropping Systems and Soil Conditions Considered Supportive of an Abundant, Diverse AMF Population. En: Functional Diversity of Mycorrhiza and Sustainable Agriculture - Management to Overcome Biotic and Abiotic Stresses (Ed. Goss MJ, Carvalho M, Brito I), pp. 15-38. Academic Press. DOI: 10.1016/B978-0-12-804244-1.00002-2

Herrero M, Havlík P, Valin H, Notenbaert A, Rufino MC, Thornton PK, Blümmel M, Weiss F, Grace D, Obersteiner M (2013). Biomass use, production, feed efficiencies, and greenhouse gas emissions from global livestock systems. Proceedings of the National Academy of Sciences 110(52): 20888-20893. DOI: 10.1073/pnas.1308149110

HLPE (2016). Desarrollo agrícola sostenible para la seguridad alimentaria y la nutrición: ¿qué función desempeña la ganadería? Informe del Grupo de alto nivel de expertos en seguridad alimentaria y nutrición del Comité de Seguridad Alimentaria Mundial. Ed. FAO, Roma, Italia. Disponible en: http://www.fao.org/3/a-i5795s.pdf (Consultado: 8 abril 2018).

Hoffmann I (2011). Livestock biodiversity and sustainability. Livestock Science 139(1-2): 69-79. DOI: 10.1016/j.livsci.2011.03.016

Hörtenhuber S, Lindenthal T, Amon B, Markut T, Kirner L, Zollitsch W (2010). Greenhouse gas emissions from selected Austrian dairy production systems-model calculations considering the effects of land use change. Renewable Agriculture and Food Systems 25(04): 316-329. DOI: 10.1017/s1742170510000025

Hristov AN, Oh J, Lee C, Meinen R, Montes F, Ott T, Firkins J, Rotz A, Dell C., Adesogan A, Yang W, Tricarico J, Kebreab E, Waghorn G, Dijkstra J, Oosting S (2013). Mitigation of greenhouse gas emissions in livestock production: A review of technical options for non-CO_2 emissions. Ed. Gerber PJ, Henderson, Makkar HPS. FAO Animal Production and Health Paper No. 177. FAO, Roma, Italia. Disponible en: http://www.fao.org/docrep/018/i3288e/i3288e.pdf (Consultado: 7 abril 2018).

Ibrahim M, Chacón M, Cuartas C, Naranjo J, Ponce G, Vega P, Casasola F, Rojas J (2007). Carbon storage in soil and biomass in land use systems of ranchlands of Colombia, Costa Rica and Nicaragua. Agroforestería en las Américas 4: 27-36.

Ibrahim M, Guerra L, Casasola F, Neely C (2011). Chapter X. Importance of silvopastoral systems for mitigation of climate change and harnessing of environmental benefits. En. Grassland carbon sequestration: management, policy and economics (Ed. Abberton M, Conant R, Batello C), pp.189-190. FAO, Italia, Roma.

Lovett DK, Shalloo L, Dillon P, O'Mara FP (2008). Greenhouse gas emissions from pastoral based dairying systems: The effect of uncertainty and management change under two contrasting production systems. Livestock Science 116(1-3): 260-274. DOI: 10.1016/j.livsci.2007.10.016

LPP, LIFE Network, IUCN–WISP, FAO (2010). Adding value to livestock diversity – Marketing to promotelocal breeds and improve livelihoods. FAO Animal Production and Health Paper. No. 168. Rome, Italia. Disponible en: https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-2010_-_fao_adding_value_-_ipaf_patagonia.pdf (Consultado: 7 febrero 2018).

McDermott JJ, Staal SJ, Freeman HA, Herrero M, Van de Steeg JA (2010). Sustaining intensification of smallholder livestock systems in the tropics. Livestock Science 130(1-3): 95-109. DOI: 10.1016/j.livsci.2010.02.014

Milera M (2013). Contribución de los sistemas silvopastoriles en la producción y el medio ambiente. Avances en Investigación Agropecuaria 17(3): 7-24. Disponible en http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=83728497002 (Consultado: 8 abril 2018).

Murgueitio E, Ibrahim M (2008). Ganadería y Medio Ambiente en América Latina. En Ganadería del futuro: Investigación para el desarrollo. (Ed. Murgueitio E, Cuartas C, Naranjo J) pp.19-40. Fundación CIPAV. Cali, Colombia.

Murgueitio E (2009). Incentivos para los sistemas silvopastoriles en América Latina. Avances en Investigación Agropecuaria 13(1): 3-20. Disponible en http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=83712269002 (Consultado: 7 abril 2018).

Nahed-Toral J, Valdivieso-Pérez A, Aguilar-Jiménez R, Cámara-Cordova J, Grande-Cano D (2013). Silvopastoral systems with traditional management in southeastern Mexico: a prototype of livestock agroforestry for cleaner production. Journal of Cleaner Production 57: 266-279. DOI: 10.1016/j.jclepro.2013.06.020

Naylor R, Steinfeld H, Falcon W, Galloway J, Smil V, Bradford E, Alder J, Mooney H (2005). Losing the Links Between Livestock and Land. Science 310(5754): 1621-1622. DOI: 10.1126/science.1117856

Núñez-Domínguez R, Ramírez-Valverde R, Saavedra-Jiménez LA, García-Muñiz JG (2016). La adaptabilidad de los recursos zoogenéticos Criollos, base para enfrentar los desafíos de la producción animal. Archivos de Zootecnia 65(251): 461-468.

O'Brien D, Shalloo L, Patton J, Buckley F, Grainger C, Wallace M (2012). A life cycle assessment of seasonal grass-based and confinement dairy farms. Agricultural Systems 107: 33-46. DOI: 10.1016/j.agsy.2011.11.004

O'Mara FP (2011). The significance of livestock as a contributor to global greenhouse gas emissions today and in the near future. Animal Feed Science and Technology 166-167: 7-15. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2011.04.074

Pelletier N, Pirog R, Rasmussen R (2010). Comparative life cycle environmental impacts of three beef production strategies in the Upper Midwestern United States. Agricultural Systems 103(6): 380-389. DOI: 10.1016/j.agsy.2010.03.009

Primo AT (1992). El ganado ibérico en las Américas: 500 años después. Archivos de Zootecnia 41(extra): 421-432. Disponible en: https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=278746 (Consultado: 4 febrero 2018)

Rojas-Downing MM, Nejadhashemi AP, Harrigan T, Woznicki SA (2017). Climate change and livestock: Impacts, adaptation, and mitigation. Climate Risk Management 16: 145-163. DOI: 10.1016/j.crm.2017.02.001

Sadowski A, Baer-Nawrocka A (2018). Food and environmental function in world agriculture-Interdependence or competition? Land Use Policy 71: 578-583. DOI: 10.1016/j.landusepol.2017.11.005

SAI (2018). Definition Sustainable Agriculture. Disponible en: http://www.saiplatform.org/sustainable-agriculture/definition (Consultado: 7 febrero 2018).

Salazar J, Cardozo A (1981). Ponencia I. Desarrollo del Ganado Criollo en América Latina: Resumen histórico y distribución actual. En: Recursos genéticos animales en América Latina (Ed. Müller-Haye B, Gelman J) FAO y PNUMA, Roma, Italia.

Sánchez MD (1999). Sistemas agroforestales para intensificar de manera sostenible la producción animal en Latinoamérica tropical. En: Conferencia electrónica de la FAO sobre "Agroforestería para la producción animal en Latinoamérica" (Ed. Sánchez MD, Rosales Méndez M), pp. 1-36. FAO, Roma, Italia. Disponible en: http://www.fao.org/livestock/agap/frg/agrofor1/Sanchez1.txt (Consultado: 10 febrero 2018).

Scholten MC, De Boer IJM, Gremmen B, Lokhorst C (2013). Livestock Farming with Care: towards sustainable production of animal-source food. NJAS – Wageningen Journal of Life Sciences 66: 3-5. DOI: 10.1016/j.njas.2013.05.009

Seré C, Steinfeld H, Groenewold J (1996). World livestock production systems: Current status, issues and trends. FAO Animal Production and Health Paper. No. 127, Rome, Italia.

Steinfeld H, Gerber P, Wassenaar T, Castel V, Rosales M, de Haan C (2006). Livestock's Long Shadow. Ed. FAO, Roma, Italia. Disponible en: http://www.fao.org/docrep/010/a0701e/a0701e00.HTM (Consultado: 6 febrero 2018)

Tarawali S, Herrero M, Descheemaeker K, Grings E, Blümmel M (2011). Pathways for sustainable development of mixed crop livestock systems: Taking a livestock and pro-poor approach. Livestock Science, 139(1-2): 11-21. DOI: 10.1016/j.livsci.2011.03.003

Tewolde A, Gutierrez E, Lucero F (2007). La producción animal en América Latina y el Caribe: Limitantes, oportunidades y perspectivas. XX Reunión ALPA, XXX Reunión APPA-Cusco-Perú. Archivos Latinoamericanos de Producción Animal 15: 53-57 Disponible en: http://www.bioline.org.br/pdf?la07030 (Consultado: 25 enero 2018).

Thornton P (2010). Livestock production: recent trends, future prospects. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences 365(1554): 2853-2867. DOI: 10.1098/rstb.2010.0134

Udo HMJ, Aklilu HA, Phong LT, Bosma RH, Budisatria IGS, Patil BR, Samdup T, Bebe BO (2011). Impact of intensification of different types of livestock production in smallholder crop-livestock systems. Livestock Science, 139(1-2): 22-29. DOI: 10.1016/j.livsci.2011.03.020

Valencia-Salazar SS, Piñeiro-Vázquez AT, Molina-Botero IC, Lazos-Balbuena FJ, Uuh-Narváez JJ, Segura-Campos MR, Ramírez-Avilés L, Solorio-Sánchez FJ, Ku-Vera JC (2018). Potential of *Samanea saman* pod meal for enteric methane mitigation in crossbred heifers fed low-quality tropical grass. Agricultural and Forest Meteorology 258:108-116. DOI: 10.1016/j.agrformet.2017.12.262

Wright IA, Tarawali S, Blümmel M, Gerard B, Teufel N, Herrero M (2012). Integrating crops and livestock in subtropical agricultural systems. Journal of the Science of Food and Agriculture 92(5): 1010-1015. DOI: 10.1002/jsfa.4556

(Aceptado para publicación el 22 de enero de 2019)

Parámetros de crecimiento y características de la canal de machos castrados de raza Holstein-Friesian sacrificados a distintas edades

S. Crecente*, C. Calvo, M. López, N. Díaz, D. Díaz y T. Moreno

Centro de Investigaciones Agrarias de Mabegondo. Carretera Betanzos-Santiago km 7, 15318, Abegondo, A Coruña, España

Resumen

Una alternativa al cebo intensivo de terneros de la raza Holstein-Friesian para producir canales de ternera es la cría de animales de mayor edad para producir canales de vacuno mayor de alta calidad, caracterizadas por un elevado grado de engrasamiento.

En este trabajo se ha utilizado un sistema de cría semiextensivo de machos castrados de raza Holstein-Friesian, basado en el consumo de hierba en pastoreo, y de ensilado de hierba y concentrado en estabulación. Los animales se dividieron en 4 grupos en función de la edad de sacrificio (1,5; 2,5; 3,5 y 5 años), para determinar el efecto de la edad en los parámetros de crecimiento y en las características de la canal.

La ganancia media diaria de peso vivo desde el nacimiento hasta el sacrificio disminuyó significativamente al aumentar la edad, pasando de 0,82 kg/d en el grupo de 1,5 años a 0,58 kg/d en el grupo de 5 años. La dieta de cebo incrementó la ganancia de peso de forma significativa en todos los grupos. El cambio de estabulación a pastoreo produjo una reducción temporal de la ganancia de peso.

La clasificación de la canal mejoró al aumentar la edad de sacrificio, pero no se alcanzaron niveles altos de conformación ni de engrasamiento en ningún caso. Las medidas de la canal y el índice de compacidad aumentaron de forma significativa con la edad.

Respecto al despiece de la canal, la proporción de delantero aumentó con la edad de sacrificio, la de la pistola disminuyó, no encontrándose diferencias en la proporción del lomo. La proporción de piezas de primera y segunda categoría disminuyó con la edad, la de tercera categoría aumentó y no hubo diferencias en la categoría extra.

Palabras clave: Bovino, semiextensivo, GMD, despiece, pastoreo.

Growing parameters and carcass characteristics of Holstein-Friesian steers slaughtered at different ages

Abstract

An alternative to the intensive feeding of Holstein-Friesian calves to produce veal carcasses is rearing older animals to produce high quality carcasses, characterized by a high degree of fatness.

In this work, a combined indoor-grass-based rearing system of Holstein-Friesian castrated males has been used, with grazing outdoors and grass silage and fodder consumption indoors. Animals were divided

* Autor para correspondencia: santiago.crecente.campo@xunta.gal

Cita del artículo: Crecente S, Calvo C, López M, Díaz N, Díaz D, Moreno T (2019). Parámetros de crecimiento y características de la canal de machos castrados de raza Holstein-Friesian sacrificados a distintas edades. ITEA-Información Técnica Económica Agraria 115(4): 360-375. https://doi.org/10.12706/itea.2019.009

into four groups by slaughtering age (1.5; 2.5; 3.5 and 5 years-old) to determine the age effect on growth parameters and carcass characteristics.

Average daily gain from birth to slaughter significantly decreased as slaughtering age increased, ranging from 0.82 kg/d in 1.5 years-old group to 0.58 kg/d in 5 years-old group. Finishing diet significantly increased the average daily gain in all groups. Changing animals from indoors to pasture produced a temporal reduction in the animals weight gain.

Carcass grading improved with slaughtering age, but no high fattening or conformation levels were reached in any case. Carcass measurements and compact index significantly increased with age.

With respect to carcass quartering, the forequarter proportion increased with age, the hindquarter pistola cut proportion decreased, and no differences were found in loin proportion. First and second category cuts proportion decreased with age, third category cuts increased and no differences were found in extra category cuts.

Keywords: Cattle, indoor, grass, ADG, quartering, grazing.

Introducción

Los terneros de la raza Holstein-Friesian (HF) proporcionan un rendimiento muy limitado a las explotaciones lecheras, pues el precio de venta es tan bajo que, con frecuencia, suponen más un problema que un recurso. Lo habitual es venderlos lo antes posible, realizando el mínimo gasto en alimentación y mano de obra, tratando de optimizar los recursos de la explotación en aras de obtener el mayor rendimiento posible de la producción de leche. Su destino son cebaderos intensivos, que no pueden invertir mucho dinero en la compra del animal, pues esta raza presenta un menor eficiencia en la producción de carne que las razas de aptitud cárnica (Zea *et al*., 2008), lo que la hace menos competitiva. Además, la carne de la raza HF no suele estar amparada por marcas de calidad, lo que disminuye la percepción de calidad por parte del consumidor (Olaizola *et al.*, 2005). De hecho, debido a esta situación, muchas granjas se han decidido por realizar cruzamientos de tipo industrial con razas de orientación cárnica, pues los terneros cruzados pueden duplicar el precio de venta respecto de los terneros frisones en pureza (MAGRAMA, 2016).

Una alternativa a la producción de carne de ternera es criar los animales hasta edades más elevadas, para producir canales de alta calidad de tipo vacuno mayor (>48 meses). Estas canales se caracterizan por su elevado peso y por tener abundante grasa de cobertura, y su carne por presentar un elevado grado de infiltración grasa (marmoleo), lo que le confiere unas propiedades organolépticas muy valoradas debido a su relación con la palatabilidad (Savell *et al.*, 1987).

Para este tipo de producción suelen utilizarse animales castrados, pues se sabe que la castración incrementa el contenido de grasa de la canal y de la carne, algo ya demostrado en la raza HF (Kirkland *et al*., 2006) y sus cruces (Pogorzelska-Przybyłek *et al*., 2018), y reduce la agresividad y el comportamiento sexual (Price *et al.*, 2003).

Al tratarse de una raza precoz, el nivel de engrasamiento adecuado puede alcanzarse más rápidamente en la raza HF que en las razas de orientación cárnica. De hecho, se han observado niveles de grasa intramuscular en machos castrados HF de 375 kg canal (Crecente *et al.*, 2017) que superan en más de 3 veces los de machos castrados de raza Rubia Gallega con el mismo peso canal (Varela *et al*., 2003).

Este tipo de carne tiene un elevado margen de aumento en el mercado español, pues el vacuno mayor suponía en el año 2017 solo un

6% del consumo de carne de bovino en los hogares españoles, frente al 72% de la carne de ternera y al 21% de la de añojo (MAPAMA, 2017). Además, es un producto que está en auge, como demuestra la reciente aparición de marcas de garantía que amparan el vacuno mayor, como la IGP Vaca y Buey de Galicia o la Marca de Garantía Vacuno Mayor Asturiano, así como el desarrollo de proyectos para poner en valor la carne de vacuno mayor (Osoro *et al*., 2011). Si bien hay muchos estudios realizados que incluyen animales jóvenes de bajo peso en canal, tipo ternera o añojo, los trabajos realizados con animales de elevado peso y edad son muy escasos.

Por otra parte, con el objetivo de reducir los costes de producción, sobre todo en animales criados hasta una edad elevada, se deben introducir en su dieta pastos y forrajes conservados (Villalba *et al*., 2010), limitando así el consumo de concentrados. Asimismo, los sistemas de producción basados en el pastoreo permiten movilizar tierras abandonadas, fijar población en el medio rural, mejorar la calidad paisajística y reducir el impacto ambiental (Ruiz-Mirazo *et al*., 2009; Bernués *et al*., 2011).

El objetivo de este estudio fue determinar la edad óptima de sacrificio de machos castrados de raza HF para conseguir una canal de calidad adaptada al mercado de vacuno mayor, siguiendo un sistema de manejo semiextensivo basado en el consumo de pastos y forrajes. Se presentan los resultados en cuanto a parámetros de crecimiento y características de la canal. El estudio de estos parámetros se considera fundamental para poder plantear un sistema de producción rentable y atractivo para el ganadero, así como para la industria, al conocer con detalle el tipo de canal que se obtiene y el rendimiento de cada pieza comercial.

Material y métodos

Manejo animal

Se utilizaron 32 machos castrados de raza HF procedentes del rebaño lechero experimental del Centro de Investigaciones Agrarias de Mabegondo (CIAM). Los terneros fueron castrados quirúrgicamente dentro del primer mes de vida. El ensayo dio comienzo cuando los terneros tenían un peso vivo de entre 240-300 kg (8-12 meses de edad). Hasta ese momento, el manejo siguió las recomendaciones realizadas por Zea y Díaz (1990) para terneros del rebaño lechero.

Los animales se dividieron en cuatro grupos, que fueron sacrificados a edades aproximadas de 1,5; 2,5; 3,5 y 5 años (en adelante G1,5; G2,5; G3,5 y G5, respectivamente). Los animales del grupo G5 (n = 7) nacieron en julio del año 2011, los de los grupos G2,5 (n = 8) y G3,5 (n = 9) en enero del 2013 y los del grupo G1,5 (n = 8) en enero del 2014.

A partir del inicio del ensayo, durante las épocas de mayor disponibilidad de pasto (primavera, y otoño dependiendo del año), los animales se alimentaron de hierba *ad libitum* en pastoreo, aprovechando de forma rotacional parcelas polifitas (raigrás inglés, dactilo, *Agrostis* spp., trébol blanco, etc.), situadas a 100 m de altitud en las fincas experimentales del CIAM (Abegondo, A Coruña, España). Las parcelas utilizadas tenían una superficie de entre 0,5-2 ha, con una producción media estimada anual de 7-8 t de materia seca por ha. Los animales se cambiaron de parcela cuando se estimó que la altura del pasto podía ser un limitante para el crecimiento (<6cm).

Cuando no hubo producción de pasto o éste era de baja calidad (invierno, verano, y otoño dependiendo del año), los terneros consumieron en establo ensilado de hierba *ad libitum* y un suplemento de 1,5 kg de concentrado por

cabeza y día. Los 7 meses previos al sacrificio se suministró, tanto en establo como en el pasto, un suplemento de cebo que consistió en 6 kg de harina de maíz por cabeza y día (suprimiendo el concentrado en el establo).

Los grupos se manejaron de forma separada, salvo los grupos G2,5 y G3,5, que estuvieron juntos hasta el inicio del cebo del grupo G2,5.

El sacrificio de los animales tuvo lugar a principios de verano del año 2015 (G1,5 y G2,5) y del año 2016 (G3,5 y G5). De esta forma, todos los grupos fueron alimentados en pastoreo de primavera durante los últimos meses de vida, tratando de maximizar las ganancias de peso antes del sacrificio mediante la oferta de un pasto de alta calidad.

El sacrificio tuvo lugar en un matadero autorizado, situado a 40 km del lugar de cría y cumpliendo con la normativa establecida.

La composición química del alimento recibido (pasto, ensilado, harina de maíz y concentrado) se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Composición química del alimento suministrado durante el estudio.
Table 1. Chemical composition of feed supplied during the study.

Parámetros	Pasto	Ensilado	Harina de maíz	Concentrado
Materia seca (%)	25,41	33,24	87,3	88,4
Composición (% de Materia seca)				
Materia orgánica	91,37	89,03	–	–
Proteína bruta	13,64	10,45	7,23	14,2
Grasa bruta	–	–	3,65	1,8
Fibra ácido detergente	31,31	37,97	–	–
Fibra neutro detergente	56,47	53,67	–	–
Fibra bruta	–	–	2,81	4,4
Cenizas	–	–	1,28	5,9
Digestibilidad de la materia orgánica	67,46	63,51	–	–

Parámetros de crecimiento

El control de peso vivo de los animales tuvo lugar a intervalos regulares de 1-2 meses, realizando dos pesadas en días consecutivos al sacar los animales al pasto o al introducirlos en establo. Con las pesadas realizadas se calculó la ganancia media diaria (GMD) de peso vivo de cada uno de los grupos a lo largo de su vida. Para calcular la GMD total se estimó, a partir de los datos proporcionados por Zea y Díaz (1990), un peso medio al nacimiento de 38 kg.

Características de la canal

Peso, clasificación y medidas de la canal

Una vez realizado el sacrificio, a las 24 h se tomó en matadero el peso de la canal, la clasificación oficial según la norma SEUROP para conformación y engrasamiento (EEC, 1991). Se valoró la conformación desde 1-18 (1 = P– y 18 = S+) y el engrasamiento desde 1-15 (1 = 1– y 15 = 5+). Asimismo, sobre la media canal izquierda se tomaron las siguientes medidas (Figura 1), mencionadas por Vallejo (1971):

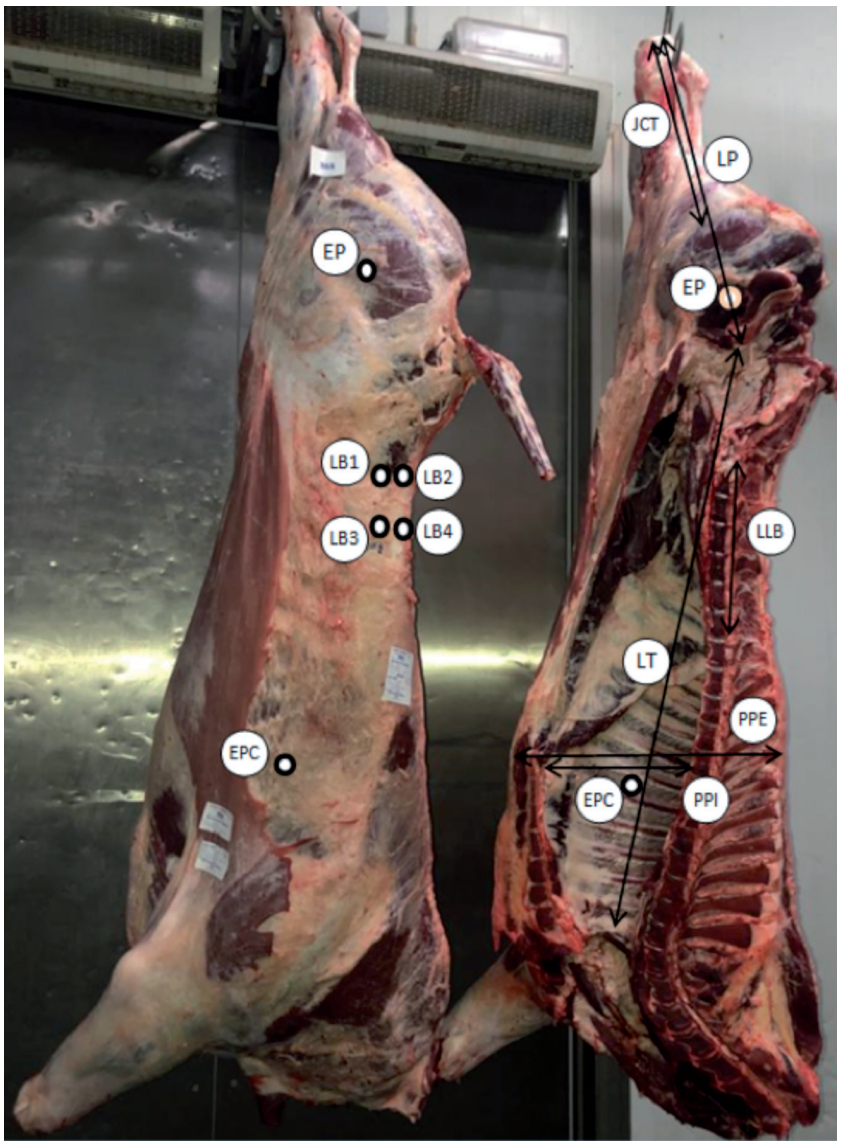
– Espesor del plano de las costillas (EPC): obtenida a nivel del séptimo espacio intercostal.
– Profundidad del pecho interna (PPI): distancia existente entre la parte interna del borde posterior de la octava esternebra y el borde externo del cuerpo de la vértebra.
– Profundidad del pecho externa (PPE): distancia existente entre los bordes más distales de la media canal a nivel de la octava esternebra.
– Longitud total (LT): distancia entre el borde anterior de la sínfisis pubiana y la mitad del borde anterior de la primera costilla.
– Longitud del lomo bajo (LLB): distancia entre el borde externo de la línea de conjunción del hueso sacro con L6 y el borde anterior interno de L1.
– Espesor del lomo bajo 1 (LB1): espesor medido a nivel de L3. La sonda se clava paralela al plano sagital de la canal y a una distancia igual a la altura de la masa vertebral, hasta que toca el hueso.
– Espesor del lomo bajo 2 (LB2): espesor medido a nivel de L3. La sonda se clava paralela al plano sagital de la canal y a una distancia igual a la mitad de la altura de la masa vertebral, hasta que toca el hueso.
– Espesor del lomo bajo 3 (LB3): espesor medido a nivel de L6. La sonda se clava paralela al plano sagital de la canal y a una distancia igual a la altura de la masa vertebral, hasta que toca el hueso.
– Espesor del lomo bajo 4 (LB4): espesor medido a nivel de L6. La sonda se clava paralela al plano sagital de la canal y a una distancia igual a la mitad de la altura de la masa vertebral, hasta que toca el hueso.
– Espesor de la pierna (EP): Se clava la sonda perpendicularmente al plano de la sínfisis pubiana, en el vértice del ángulo formado trazando una línea paralela al suelo y tangente al borde posterior de la sínfisis pubiana y otra perpendicular a la anterior, tangente al borde interno de la mencionada sínfisis pubiana, hasta llegar a la cara externa de la pierna.
– Longitud jarrete-contra-tapa (JCT): distancia existente entre el borde anterior de la superficie articular del pequeño cuneiforme y el periné.
– Longitud de la pierna (LP): distancia entre el borde anterior de la sínfisis pubiana y el borde inferior de la superficie articular del pequeño cuneiforme.
– Índice de compacidad de la canal (ICC) (Yeates, 1967): cociente entre el peso de la canal y la longitud de la misma.

Despiece de la canal

A las 72 h del sacrificio se realizó el despiece de la media canal izquierda, tomando el peso individual de cada una de las piezas comerciales. El despiece fue realizado por el maestro carnicero de una empresa comercializadora de carne de vacuno mayor.

El despiece realizado fue el siguiente:

– Delantero: aguja (incluye el morrillo), llana, espaldilla, pez, brazuelo, morcillo anterior y falda (incluye pecho, centro de falda y vacío).
– Pistola:
  • Bola: babilla, cadera, contra, tapilla, culata, morcillo posterior, redondo, tapa y rabillo.
  • Lomo (con hueso).
  • Solomillo
– Recortes: incluye fundamentalmente grasa, pero también recortes musculares.
– Hueso: compuesto por todo el hueso de la media canal, salvo el incluido en el pecho y en el lomo.



EPC: espesor del plano de las costillas; PPI: profundidad del pecho interna; PPE: profundidad del pecho externa; LT: longitud total; LLB: longitud del lomo bajo; LB1: espesor del lomo bajo 1; LB2: espesor del lomo bajo 2; LB3: espesor del lomo bajo 3; LB4: espesor del lomo bajo 4; EP: espesor de la pierna; JCT: longitud jarrete-contra-tapa; LP: longitud de la pierna.

Figura 1. Medidas tomadas en la canal.
Figure 1. Carcass measurements.

Se calculó el porcentaje de cada pieza comercial dentro de la canal, y la proporción de piezas de diferente calidad según lo propuesto por la a Organización Interprofesional de la Carne de Vacuno Autóctono de Calidad – INVAC (2008):

- Extra: lomo y solomillo.
- Primera A: babilla, cadera, contra, redondo, tapa y tapilla.
- Primera B: culata, espaldilla, pez, aguja y rabillo.
- Segunda: llana, morcillos y brazuelo.
- Tercera: falda.

El análisis estadístico de los resultados se realizó con el paquete estadístico SAS (SAS Institute Inc., 2004). Se utilizó el proceso GLM (general linear model) donde el factor principal de análisis fue la edad de sacrificio. Para determinar las diferencias entre las medias de los distintos grupos de edad se utilizó el test de Duncan.

Resultados y discusión

Parámetros de crecimiento

En la Figura 2 y en la Tabla 2 se muestran, respectivamente, la evolución del peso vivo y las ganancias de peso de cada grupo de edad durante la realización del estudio.

Se observó un incremento significativo del peso vivo al sacrificio a medida que aumentó la edad, pasando de 467 kg del grupo G1,5 a

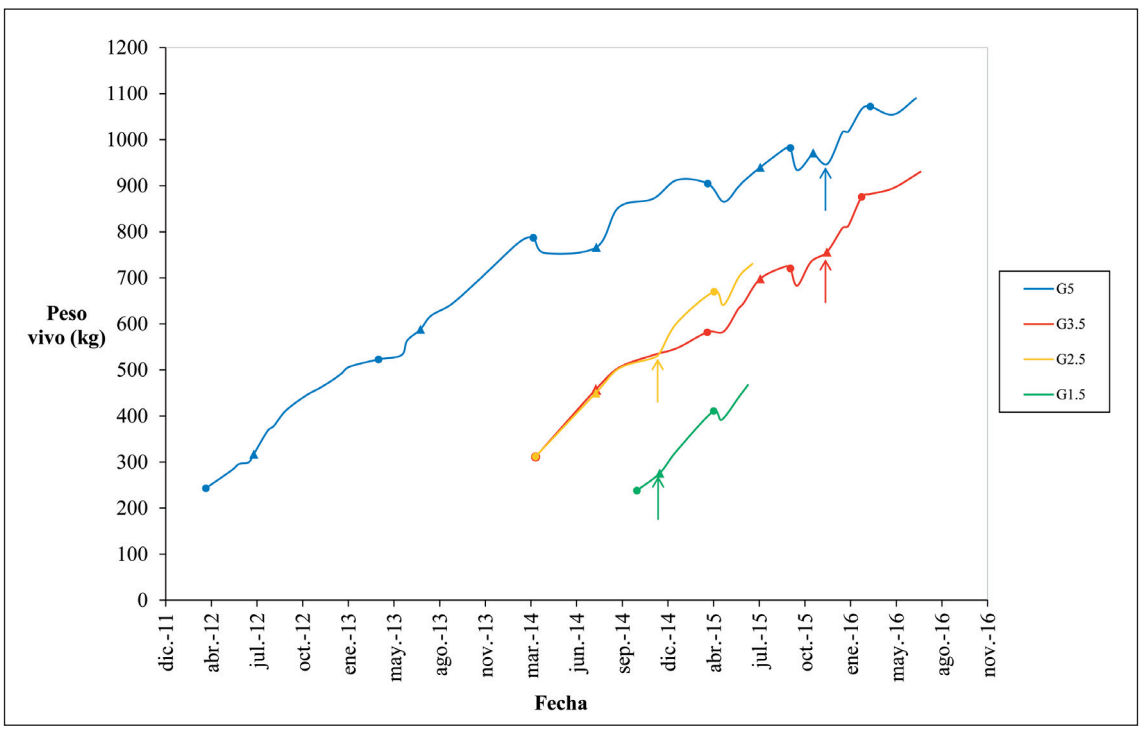


Figura 2. Peso vivo de los distintos grupos de edad desde la primera pesada hasta el sacrificio. Un punto en las líneas indica el momento de salida al pasto, un triángulo indica el momento de entrada en establo, una flecha indica el inicio de la fase de cebo.
Figure 2. Live weight of the different age groups from the first weighing to the slaughter.

Tabla 2. Edad de sacrificio (días), peso vivo (kg) y ganancia media de peso vivo diaria (GMD)(kg/día) en distintas fases del periodo de crecimiento.
Table 2. Age of slaughter (days), live weight (kg) and average daily gain(GMD) (kg/day) in different phases of the growing period.

	G1,5	G2,5	G3,5	G5	Sig.	ESM
Edad de sacrificio	522 d	897 c	1261 b	1804 a	***	82,24
Peso vivo sacrificio	467,0 d	730,6 c	930,3 b	1089,9 a	***	42,05
GMD						
Nacimiento-Sacrificio	0,82 a	0,77 a	0,71 b	0,58 c	***	0,018
– Nacimiento-inicio cebo	0,73 a	0,72 a	0,68 a	0,56 b	***	0,014
– Fase cebo (FC)	0,98 a	0,96 ab	0,85 bc	0,74 c	**	0,026
Sig.[1]	***	***	**	**		
• FC en establo	1,15	1,20	1,32	1,33	NS	0,043
• FC en pasto	0,73 a	0,62 a	0,44 b	0,18 c	***	0,046
Sig.[2]	***	***	***	***		

Sig.: significación; ESM: error estándar de la media; NS: no significativo; ** P < 0,01; *** P < 0,001.
Letras diferentes en la misma fila indican diferencias significativas según del test de Duncan (P < 0,05).
[1] Nivel de significación entre las fases 'Nacimiento-inicio cebo' y 'Fase de cebo'.
[2] Nivel de significación entre las fases 'FC en establo' y 'FC en pasto'.

casi 1090 kg en el grupo G5. Como era de esperar, bajo un mismo sistema de producción los animales aumentan de peso al aumentar su edad. Aunque hay estudios que hacen referencia a valores similares a los del grupo G5 como el peso máximo para machos HF (Calo *et al.*, 1973), durante la fase de cebo se observaron en dicho grupo unas ganancias de peso relativamente altas (0,74 kg/día), lo que indica que aún hay margen de crecimiento para alcanzar el peso máximo, momento en el cual las ganancias de peso deberían ser más reducidas (Calo *et al.*, 1973).

La GMD desde el nacimiento hasta el sacrificio disminuyó significativamente al aumentar la edad de sacrificio, salvo entre G1,5 y G2,5, que no presentaron diferencias significativas. Estas diferencias seguramente se debieron a la menor eficiencia que presentan los animales en la ganancia de peso a medida que envejecen, y que en este estudio no se observaron hasta superar los 2,5 años de edad.

La dieta de cebo influyó significativamente en el crecimiento, pues durante el cebo la GMD es superior, en todos los grupos, a la del período 'nacimiento-inicio del cebo'. La GMD durante el cebo también disminuyó con la edad, debido fundamentalmente al período de cebo en pastoreo, pues la GMD durante el cebo en establo no difiere significativamente entre los distintos grupos. Conviene destacar que el cambio de alimentación, fundamentalmente al pasar de establo a pastoreo, tuvo un efecto temporal de disminución de peso en los animales (Figura 2). Este efecto fue más acusado al aumentar la edad y, en algún

caso, la GMD durante el pastoreo fue negativa, por ejemplo en la primavera del 2014 en el grupo G5. Por lo general, esta disminución de peso se recuperó con cierta rapidez debido al efecto del crecimiento compensatorio en fases posteriores. De hecho, si no se hubiese producido el cambio de establo a pasto durante el final del cebo, la GMD durante todo el cebo seguramente hubiese sido superior. De este modo, sería aconsejable evitar la salida al pasto durante la fase de cebo, tratando de maximizar así la ganancia de peso previa al sacrificio, pues esa disminución en la GMD durante el último pastoreo no fue posible compensarla posteriormente.

Cuando se produce la salida a pastoreo de animales alimentados en establo, las pérdidas de peso son frecuentes, siendo más elevadas a medida que la ración en la fase prepastoreo es más energética (Yarrow *et al.*, 1996). En otros estudios se han observado igualmente pérdidas de peso al pasar de establo a pastoreo, con machos castrados de las razas Hereford (Charmley *et al.,* 2003), Charolesa y Blonde d'Aquitaine (Listrat *et al*., 2001), y Parda de Montaña (Joy *et al*., 2006), así como un crecimiento compensatorio posterior durante la estancia en el pasto.

En otros estudios que utilizaron machos castrados y sistemas de alimentación basados en pastos y forrajes se observaron valores de GMD similares a los obtenidos en nuestro trabajo, con animales HF (Keane 2003; McNamee *et al*., 2015), HF cruzados con diferentes razas (McNamee *et al*., 2015; Pogorzelska-Przybyłek *et al*., 2018), y con razas de orientación cárnica (Listrat *et al*., 2001; Vieira *et al*., 2006). Sin embargo, otros estudios con machos castrados observaron GMD más elevadas, utilizando razas de orientación cárnica o sus cruces y/o sistemas de alimentación más intensivos (Caplis *et al*., 2005; Keane *et al*., 2006; Kirkland *et al*., 2006; Sanz *et al*., 2011).

Características de la canal

Peso, clasificación y medidas de la canal

Los resultados correspondientes al peso, clasificación y medidas de la canal se muestran en la Tabla 3. Según del RD 75/2009 (BOE, 2009) la canales de los grupos G1,5; G2,5 y G3,5 entrarían dentro de la categoría cebón (macho castrado de menos de 48 meses de edad) y la canales del grupo G5 entrarían dentro de la categoría buey (macho castrado de más de 48 meses de edad).

El peso canal aumentó de forma significativa con la edad de sacrificio, del mismo modo que el peso vivo. Comparando el peso canal con el de animales no castrados, el grupo G1,5 presenta un peso canal (226,4 kg) similar al observado en animales sacrificados dentro de la categoría ternera (Zea *et al*., 2008; Sanz *et al*., 2011), la canal del grupo G2,5 (375,9 kg) se podría asimilar al peso de un añojo (Sanz *et al*., 2011), y serían los grupos G3,5 y G5 los que presentan un peso canal (495,9 kg y 585,6 kg, respectivamente) más acorde a lo observado en machos de vacuno mayor (Listrat *et al*., 2001; Vieira *et al*., 2006).

El rendimiento de la canal también aumentó de forma significativa con la edad, no existiendo diferencias significativas entre G3,5 y G5. En otros estudios se ha demostrado igualmente que el rendimiento en canal aumenta al aumentar el peso de sacrificio (Caplis *et al*., 2005; Zea *et al*., 2008). Los valores obtenidos concuerdan con los observados por Keane (2003) y McNamee *et al*. (2015) utilizando también machos castrados HF. El rendimiento en canal suele ser inferior en razas lecheras que en razas de orientación cárnica y en machos castrados que en machos enteros (Keane, 2003; Zea *et al*., 2008). En nuestro estudio, el rendimiento en canal observado fue inferior, para pesos similares, al de machos HF enteros (Lukic *et al.*, 2016), machos enteros y

Tabla 3. Peso canal (kg), rendimiento canal (%), conformación y estado de engrasamiento, medidas de la canal (cm) y superficie del *Longissimus thoracis* (cm^2).
Table 3. Carcass weight (kg), carcass dressing percentage (%), carcass conformation and fattening, carcass measurements (cm) and Longissimus thoracis surface (cm^2).

	G1,5	G2,5	G3,5	G5	Sig.	ESM
Edad de sacrificio	522 d	897 c	1261 b	1804 a	***	82,24
Peso canal	226,4 d	375,9 c	495,9 b	585,6 a	***	24,33
Rendimiento canal	48,51 c	51,45 b	53,25 a	53,75 a	***	0,43
Conformación (1-18)	2,00 c	5,00 b	5,22 b	8,00 a	***	0,37
Engrasamiento (1-15)	5,00 c	7,00 b	8,00 b	9,43 a	***	0,33
Medidas de la canal						
EPC	3,2 d	4,6 c	5,1 b	6,3 a	***	0,22
PPI	42,6 d	50,4 c	53,5 b	57,8 a	***	1,05
PPE	68,3 d	79,6 c	88,4 b	95,6 a	***	1,83
LT	143,2 c	158,8 b	163,2 a	166,7 a	***	1,73
LLB	38,1 d	42,9 c	45,6 b	48,0 a	***	0,69
LB1	3,2 b	4,5 a	4,7 a	4,9 a	***	0,16
LB2	4,5 c	6,2 b	6,6 ab	7,0 a	***	0,21
LB3	4,7 b	7,2 a	6,9 a	7,2 a	***	0,27
LB4	5,9 b	8,3 a	9,3 a	9,2 a	***	0,33
EP	23,9 c	29,2 b	30,9 a	31,9 a	***	0,60
JCT	74,1 c	80,9 b	84,2 a	85,0 a	***	0,93
LP	81,7 d	89,9 c	102,7 b	107,1 a	***	1,87
ICC	1,6 d	2,4 c	3,0 b	3,5 a	***	0,14
Superficie *Longissimus thoracis*						
6ª costilla	36,2 b	39,1 b	47,5 a	52,8 a	***	1,54
9ª costilla	55,6 b	61,6 b	77,6 a	71,1 a	***	2,11

Sig.: significación; ESM: error estándar de la media; *** $P < 0,001$.

Letras diferentes en la misma fila indican diferencias significativas según del test de Duncan ($P < 0,05$).

EPC: espesor del plano de las costillas; PPI: profundidad del pecho interna; PPE: profundidad del pecho externa; LT: longitud total; LLB: longitud del lomo bajo; LB1: espesor del lomo bajo 1; LB2: espesor del lomo bajo 2; LB3: espesor del lomo bajo 3; LB4: espesor del lomo bajo 4; EP: espesor de la pierna; JCT: longitud jarrete-contra-tapa; LP: longitud de la pierna; ICC: índice de compacidad de la canal.

castrados HF cruzados con razas de orientación cárnica (Keane, 2003; Nogalski *et al*., 2017; Pogorzelska-Przybyłek *et al*., 2018), y machos castrados de razas de orientación cárnica (Sánchez *et al*., 1999; Chambaz *et al*., 2001; Listrat *et al.*, 2001; Vieira *et al.*, 2006).

En cuanto a la clasificación de la canal, se observó un aumento significativo de la conformación y del de engrasamiento al aumentar la edad de sacrificio, sin diferencias significativas entre G2,5 y G3,5. Atendiendo al sistema SEUROP se obtuvieron las siguientes clasificaciones, G1,5: P2; G2,5: O3–; G3,5: O3; G5: R3+. Otros estudios han observado igualmente que, para una misma raza, la clasificación aumenta al aumentar el peso canal (Zea *et al*., 2008; Huuskonen *et al*., 2013). De todos modos, los autores consideramos que la conformación del grupo G5 puede estar sobrevalorada. Hay que tener en cuenta que se tomó la clasificación oficial realizada por el matadero, que puede tener las limitaciones inherentes a una clasificación basada en la apreciación subjetiva. De hecho, observando las medidas de la canal, no existen diferencias significativas en el espesor de la pierna entre G3,5 y G5, cuando sería algo de esperar si la conformación aumenta de forma significativa.

Las clasificaciones obtenidas fueron parecidas, para pesos similares, a las observadas por Keane (2003) y McNamee *et al*. (2015) con machos castrados HF, mientras que los niveles de engrasamiento fueron inferiores que en machos castrados HF alimentados con concentrados *ad libitum* (Kirkland *et al*., 2006). Las clasificaciones en conformación son inferiores y las de engrasamiento similares a las obtenidas con machos castrados de razas de orientación cárnica o sus cruces con HF para pesos en canal parecidos (Vieira *et al*., 2006; Sanz *et al*., 2011; Huuskonen *et al*., 2013; Nogalski *et al*., 2017; Pogorzelska-Przybyłek *et al*., 2018).

Si bien en algunos mercados el exceso de grasa en la canal puede ser negativo, en el mercado de carne de vacuno mayor de alta calidad es deseable un alto contenido graso, porque es una de las características que la diferencia de otros productos cárnicos (Vieira *et al*., 2007a). Además, una cobertura grasa suficientemente gruesa es necesaria para proteger la canal del acortamiento por frío (Dolezal *et al*., 1982), sobre todo durante los largos periodos de maduración en cámara frigorífica que se asocian a este tipo de carne (≥ 30 días), y es un factor fundamental a la hora de incrementar el precio de venta (Alam *et al*., 2013). Sin embargo, en nuestro estudio no se alcanzaron altos niveles de engrasamiento de cobertura de la canal en ninguno de los grupos.

Respecto a las medidas de la canal y el ICC, de forma global los valores aumentaron a medida que se incrementó la edad. Sánchez *et al*. (1999) observaron el mismo efecto de la edad en machos enteros y castrados de raza Rubia Gallega, tanto para las medidas de la canal como para el ICC.

Las diferencias fueron significativas entre todos los grupos de edad para EPC, PPI, PPE, LLB, LP y ICC. Para la LT no se encontraron diferencias significativas entre G3,5 y G5.

Salvo en LB2, en todos los puntos en los que se midió el espesor del lomo bajo no hubo diferencias significativas entre G2,5, G3,5 y G5, mientras que en G1,5 los valores fueron significativamente más bajos. Tanto en las medida EP como JCT no hubo diferencias entre G3,5 y G5, siendo ambas significativamente mayores que G2,5 y, ésta, mayor que G1,5. Curiosamente, las valoraciones subjetivas de conformación de la canal bajo la normativa SEUROP no siguieron el mismo patrón que el EP, pues se les otorgó la misma clasificación a los grupos G2,5 y G3,5, y superior al grupo G5.

McNamee *et al.* (2015) observaron, en machos HF de dos años de edad y 314 kg de peso canal, valores de LT y EP que concuerdan con los resultados obtenidos en el presente estudio, pues los valores se encuentran entre

los de los grupos G1,5 y G2,5. Para un peso canal similar, el grupo G1,5 presentó valores superiores de LT y PPI y valores similares de LP y EP que machos enteros de raza Nelore (Sánchez *et al*., 2005), el grupo G2,5 presentó valores superiores de LT, PPI y EP que cebones de la raza Serrana de Teruel (Sanz *et al*., 2011), valores superiores de LT, PPI, PPE, LP que machos castrados de raza Piemontese (Lazzaroni y Biagini, 2008), y valores superiores de LT que machos castrados de raza Charolais (Chambaz *et al*., 2001), mientras que los grupos G3,5 y G5 presentaron valores más elevados de LT que bueyes de razas de orientación cárnica (Vieira *et al*., 2007b).

Respecto a la superficie del músculo LD, medida tanto en la sexta como en la novena costilla, no se observaron diferencias entre G3,5 y G5, siendo ambos superiores a G2,5 y G1,5, que tampoco presentaron diferencias entre sí. Zea *et al*. (2008) observaron igualmente un aumento de la superficie del músculo LD al aumentar el peso de sacrificio de terneros de raza Rubia Gallega, HF y cruzados de ambas razas.

Despiece de la canal

En cuanto al despiece de la canal (Tabla 4), la proporción del total de piezas comerciales disminuyó significativamente con la edad, sin existir diferencias significativas entre G2,5 y G3,5. La proporción de hueso también disminuyó con la edad, pasando del 20% de la canal en el grupo G1,5 al 17,6% en el grupo G5. Contrariamente, la proporción de recortes aumentó de forma significativa con la edad, llegando a ser más del doble en el grupo G5 que en el G1,5. Esta variación de las proporciones se ha observado en otros estudios, donde se evidencia que la proporción de grasa, que compone la mayor parte de los recortes, aumenta de forma significativa con el peso canal y la proporción de hueso disminuye (Zea y Díaz, 1990; McNamee *et al*., 2015; Nogalski *et al*., 2017).

Dentro de las piezas comerciales, la proporción de delantero aumentó de forma significativa con la edad, siendo la falda la parte de mayor peso. En cuanto al resto de piezas, la proporción de aguja aumentó ligeramente con la edad, no se observaron diferencias en la llana, y la proporción del resto de piezas disminuyó significativamente con la edad (espaldilla, pez, brazuelo y morcillo).

Respecto a la pistola, la proporción disminuyó con la edad, pasando de casi un 40% en el grupo G1,5 a un 33,4% en el G5. Caplis *et al*. (2005), Keane *et al.* (2006), Zea *et al*. (2008) y McNamee *et al.* (2015) observaron igualmente que la proporción de pistola disminuye al aumentar el peso canal en machos castrados.

Atendiendo a cada una de las piezas de la pistola, no se observaron diferencias en la proporción de lomo, mientras que la de solomillo disminuyó de forma significativa con la edad. En cuanto a la bola, todas las partes disminuyeron su proporción con la edad, salvo el rabillo, que tendió a aumentar. La proporción de las distintas piezas de la bola en la canal fue inferior a la observada en bueyes de las razas Asturiana de los Valles y Limousine con pesos en canal similares a los grupos G3,5 y G5 (Vieira *et al*., 2006), lo que concuerda con la mejor conformación de las razas de orientación cárnica.

Con respecto a la categoría de las piezas comerciales, no se observaron diferencias en función de la edad en la categoría extra, la proporción de piezas de primera disminuyó con la edad, la de segunda también (aunque sin diferencias significativas entre G2,5; G3,5 y G5) y la de tercera categoría aumentó con la edad. El incremento de la proporción de la categoría de menos calidad a medida que aumenta el peso canal ha sido observado en otros estudios (Carballo y Moreno, 2006; Sanz *et al*., 2011).

Tabla 4. Proporción de cada pieza dentro de la canal y proporción de las diferentes categorías comerciales.
Table 4. Carcass pieces proportion and different commercial categories proportion.

	G1,5	G2,5	G3,5	G5	Sig.	ESM
Parte/pieza						
Total piezas delantero	34,9 c	36,9 b	36,9 b	38,3 a	***	0,28
Aguja	7,7 b	8,0 ab	8,5 a	8,2 ab	*	0,10
Llana	1,7	1,6	1,6	1,6	NS	0,03
Espaldilla	4,0 a	3,6 b	2,9 c	3,2 c	***	0,09
Pez	1,4 a	1,2 b	1,0 c	0,9 c	***	0,03
Brazuelo	1,6 a	1,3 a	0,9 b	0,9 b	***	0,06
Morcillo	3,4 a	2,4 c	3,0 b	2,7 bc	***	0,09
Falda	15,1 c	18,7 b	18,9 b	20,7 a	***	0,40
Total piezas pistola	39,9 a	36,3 b	35,9 b	33,4 c	***	0,45
Bola	24,5 a	20,9 b	20,6 b	18,6 c	***	0,39
Babilla	4,7 a	4,0 b	3,9 b	3,6 c	***	0,08
Cadera	2,2 a	2,0 b	2,1 ab	1,8 c	***	0,04
Tapilla	1,7 a	1,3 b	1,2 b	1,1 c	***	0,05
Contra	3,5 a	3,1 b	3,2 b	3,1 b	***	0,04
Culata	1,7 a	1,2 b	1,2 b	1,0 c	***	0,04
Morcillo	1,8 a	1,5 b	1,3 c	1,1 d	***	0,05
Redondo	1,67 a	1,5 b	1,5 b	1,3 c	***	0,03
Tapa	6,6 a	5,7 b	5,4 c	4,9 d	***	0,12
Rabillo	0,5 c	0,7 b	0,8 a	0,6 b	***	0,02
Lomo	13,4	13,8	13,8	13,4	NS	0,10
Solomillo	2,0 a	1,6 b	1,5 b	1,3 c	***	0,05
– Total piezas comerciales	74,8 a	73,2 b	72,7 b	71,7 c	***	0,25
– Recortes	5,2 d	7,9 c	9,0 b	10,8 a	***	0,41
– Hueso	20,0 a	19,0 b	18,2 bc	17,5 c	***	0,22
Categoría piezas						
Extra	15,4	15,4	15,3	14,8	NS	0,11
Primera A	20,5 a	17,5 b	17,4 b	15,8 c	***	0,32
Primera B	15,3 a	14,8 ab	14,4 bc	14,0 c	**	0,13
Segunda	8,5 a	6,8 b	6,8 b	6,4 b	***	0,16
Tercera	15,1 c	18,7 b	18,9 b	20,7 a	***	0,40

Sig.: significación; ESM: error estándar de la media; NS: no significativo; * P < 0,05; **P < 0,01; *** P < 0,001. Letras diferentes en la misma fila indican diferencias significativas según del test de Duncan (P < 0,05).

Conclusiones

Con el sistema productivo propuesto se han observado ganancias de peso moderadas, que se redujeron significativamente al aumentar la de edad de sacrificio. Durante la fase de cebo debería evitarse el cambio de alimentación de establo a pasto, sobre todo con animales de elevada edad.

El rendimiento y la clasificación de la canal mejoraron al aumentar la edad de sacrificio, pero no se han conseguido clasificaciones en canal adecuadas para el mercado de vacuno mayor de alta calidad en ninguno de los grupos, sobre todo en lo que concierne al estado de engrasamiento. Para ello habría que plantearse intensificar el sistema productivo o sacrificar los animales a edades superiores.

El aumento de la edad de sacrificio supuso una mayor proporción del delantero en la canal y una menor proporción de pistola. La proporción de piezas de categoría extra no se vio afectada por la edad de sacrificio.

Agradecimientos

Nuestro agradecimiento al personal de campo del Centro de Investigaciones Agrarias de Mabegondo por su labor diaria en el cuidado y manejo de los animales, sin la cual este estudio no habría sido posible.

Nuestro agradecimiento a la empresa Betanzos Carnes S.L. por su colaboración en el estudio.

Referencias bibliográficas

Alam M, Cho KH, Lee SS, Choy YH, Kim HS, Cho CI, Choi TJ (2013). Effect of carcass traits on carcass prices of Holstein steers in Korea. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences 26 (10): 1388-1398. https://doi.org/10.5713/ajas.2013.13109

Bernués A, Ruiz R, Olaizola A, Villalba D, Casasús I (2011). Sustainability of pasture-basedlivestock farming systems in the European Mediterranean context: synergies and trade-offs. Livestock Science 139: 44-57. https://doi.org/10.1016/j.livsci.2011.03.018

BOE (2009). Real Decreto 75/2009, de 30 de enero, por el que se modifica el Real Decreto 1698/2003, de 12 de diciembre, por el que se establecen las disposiciones de aplicación de los Reglamentos comunitarios sobre el sistema de etiquetado de la carne de vacuno, y el Real Decreto 1799/2008, de 3 de noviembre, por el que se establecen las bases reguladoras para la concesión de ayudas destinadas a la reconversión de plantaciones de determinados cítricos. Boletín Oficial del Estado, núm. 27, de 31 de enero de 2009, pp. 10433-10440.

Calo LL, McDowell RE, Van Vleck LD, Miller PD (1973). Parameters of growth of Holstein-Friesian bulls. Journal of Animal Science 37: 417-422. https://doi.org/10.2527/jas1973.372417x

Caplis J, Keane MG, Moloney AP, O'Mara FP (2005). Effects of supplementary concentrate level with grass silage, and separate or total mixed ration feeding, on performance and carcass traits of finishing steers. Irish Journal of Agricultural and Food Research 44: 27-43.

Carballo JA, Moreno T (2006). Características cuantitativas de las canales de vacas de desecho en Galicia. Archivos de Zootecnia 55 (212): 339-350.

Chambaz A, Morel I, Scheeder MRL, Kreuzer M, Dufey P (2001). Characteristics of steers of six beef breeds fattened from eight months of age and slaughtered at a target level of intramuscular fat. I. Growth performance and carcass quality. Archiv fur Tierzucht 44: 395-411. https://doi.org/10.5194/aab-44-395-2001

Charmley E, Jannasch RW, Boyd J (2003). Grazing behaviour and weight change of cattle turned out to pasture in spring. Canadian Journal of Animal Science 83(4): 801-808. https://doi.org/10.4141/A03-015

Crecente S, Calvo C, Díaz N, Díaz D (2017). Efecto de la edad de sacrificio en la canal y en la composición química de la carne de machos castra-

dos de raza frisona. Libro de Actas de las XVII Jornadas sobre Producción Animal, 30 y 31 de mayo de 2017, Zaragoza, España, pp. 696-698.

Dolezal HG, Smith GC, Savell JW, Carpenter ZL (1982). Comparison of subcutaneous fat thickness, marbling and quality grade for predicting palatability of beef. Journal of Food Science, 47: 397-401. https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1982.tb10089.x

EEC (1991). Council Regulation EEC No. 1026/91 of 22 April 1991 amending Regulation, (EEC) No. 1280/81 determining the community scale for the classification of carcasses of adult bovine animals. Official Journal L106: 2-3.

Huuskonen A, Pesonen M, Kämäräinen H, Kauppinen R (2013). A comparison of purebred Holstein-Friesian and Holstein-Friesian × beef breed bulls for beef production and carcass traits. Agricultural and Food Science 22: 262-271. https://doi.org/10.23986/afsci.7781

INVAC (2008). Despiece del Vacuno, Histórico campañas 2007-2009. Organización Interprofesional de la Carne de Vacuno Autóctono de Calidad. Disponible en: http://www.alimentacion.es/es/campanas/historico-campanias-2007-2009/piezas_del_vacuno/default_html.aspx (Consultado: 12 de enero de 2019).

Joy M, Blanco M, Albertí P, Delfa R, Revilla R, Casasús I (2006). Producción de cebones de raza Parda de Montaña en condiciones extensivas. Ganadería 39: 22-25.

Keane MG (2003). Beef production from Holstein-Friesian bulls and steers of New Zealand and European/American descent, and Belgian Blue × Holstein-Friesians, slaughtered at two weights. Livestock Production Science 84: 207-218. https://doi.org/10.1016/S0301-6226(03)00092-7

Keane MG, Drennan MJ, Moloney AP (2006). Comparison of supplementary concentrate levels with grass silage, separate or total mixed ration feeding, and duration of finishing in beef steers. Livestock Science, 103: 169-180. https://doi.org/10.1016/j.livsci.2006.02.008

Kirkland RM, Keady TWJ, Patterson DC, Kilpatrick DJ, Steen RWJ (2006). The effect of slaughter weight and sexual status on performance characteristics of male Holstein-Friesian cattle offered a cereal-based diet. Animal Science 82: 397-404. https://doi.org/10.1079/ASC200642

Lazzaroni C, Biagini D (2008). Effect of pre- and post-pubertal castration on Piemontese male cattle. II: Carcass measures and meat yield. Meat Science 80: 442-448. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2008.01.007

Listrat A, Picard B, Jailler R, Collignon H, Peccatte J, Micol D, Geay Y, Dozias D (2001). Grass valorization and muscular characteristics of blonde d'Aquitaine steers. Animal Research 50: 105-118. https://doi.org/10.1051/animres:2001110

Lukic M, Ivanovic J, Janjic J, Starcevic M, Djordjevic J, Markovic R, Baltic MZ (2016). Carcass performance of Simmental and Holstein Friesian beef cattle in Serbia. Meat Technology 57(2): 95-101.

MAGRAMA (2016). Caracterización del sector vacuno de carne en España. Año 2016. Subdirección General de Productos Ganaderos, Dirección General de Producciones y Mercados Agrarios, Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente, 8 pp.

MAPAMA (2017). Base de datos de consumo en hogares. Disponible en: https://www.mapa.gob.es/app/consumo-en-hogares/consulta.asp (Consultado: 12 febrero 2019).

McNamee A, Keane MG, Kenny DA, Moloney AP, Buckley F, O'Riordan EG (2015). Beef production from Holstein-Friesian, Norwegian Red×Holstein-Friesian and Jersey×Holstein-Friesian male cattle reared as bulls or steers. Livestock Science 173: 95-105. https://doi.org/10.1016/j.livsci.2014.12.009

Nogalski Z, Pogorzelska-Przybyłek P, Sobczuk-Szul M, Nogalska A, Modzelewska-Kapituła M, Purwin C (2017). Carcass characteristics and meat quality of bulls and steers slaughtered at two different ages. Italian Journal of Animal Science 17: 279-288 https://doi.org/10.1080/1828051X.2017.1383861

Olaizola A, Wehbi Z, Manrique E (2005). Quality perception and consumer attitudes to "specific quality beef" in Aragón, Spain. Spanish Journal of Agricultural Research 3(4): 418-428. http://dx.doi.org/10.5424/sjar/2005034-169

Osoro K, Martínez A, Oliván MC, Soldado AB, Fernández M (2011). Puesta en valor de la carne de vacuno mayor en Asturias y en la cornisa cantábrica. Tecnología Alimentaria 10: 46-53.

Pogorzelska-Przybyłek P, Nogalski Z, Sobczuk-Szul M, Purwin C, Momot M (2018). Carcass characteristics of grass-fed crossbred bulls and steers slaughtered at two different ages. Canadian Journal of Animal Science 98: 376-385. https://doi.org/10.1139/cjas-2017-0148

Price EO, Adams TE, Huxsoll CC, Borgwardt RE (2003). Aggressive behavior is reduced in bulls actively immunized against gonadotropin-releasing hormone. Journal of Animal Science 81: 411-415. https://doi.org/10.2527/2003.812411x

Ruiz-Mirazo J, Robles AB, González-Rebollar JL (2009). Pastoralism in natural parks of Andalusia (Spain): a tool for fire prevention and the naturalization of ecosystems. Options Méditerranéennes. Série A 91: 141-144.

Sánchez L, Varela A, Monserrat L, Carballo JA (1999). Efecto del sexo y edad de sacrificio en los animales de tipo "Cebón" de la raza Rubia Gallega: valoración objetiva de las canales. ITEA-Información Técnica Económica Agraria 20(I): 65-67.

Sánchez L, Carballo JA, Sánchez B, Monserrat L (2005). Características de la canal y de la carne de machos procedentes del cruce de Rubia Gallega con Nelore. Archivos de Zootecnia 54: 485-489.

Sanz A, Ripoll G, Blasco I, Álvarez-Rodríguez J, Albertí P (2011). Rendimiento comercial de las categorías ternero, añojo y cebón de la raza bovina Serrana de Teruel. Libro de Actas de las XIV Jornadas sobre Producción Animal, 17 y 18 de mayo de 2011, Zaragoza, España, pp. 745-747.

SAS Institute Inc. (2004). SAS/STAT 9.1 User`s guide. Version 9.1 ed. SAS Institute Inc., Cary, N.C. 5121 p.

Savell JW, Branson RE, Cross HR, Stiffler DM, Wise JW, Griffin DB, Smith GC (1987). National Consumer Retail Beef Study. Palatability evaluations of beef loin steaks that differed in marbling. Journal of Food Science 52: 517-519. https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1987.tb06664.x

Vallejo M (1971). Estudio de la composición, rendimientos y calidades carniceras de siete razas bovinas españolas. Anales de la Facultad de Veterinaria de Zaragoza IV(6): 263-329.

Varela A, Oliete B, Moreno T, Portela C, Carballo JA, Sánchez L, Monserrat L (2003). Calidad de la carne de machos enteros y castrados de raza Rubia Gallega sacrificados con 24 meses. Archivos de Zootecnia 52: 347-358.

Vieira C, Cerdeño A, Serrano E, Mantecón AR (2006). Adult steers for beef production: breed effect on animal performance, retail yield and carcass quality. Czech Journal of Animal Science 51 (11): 467-474.

Vieira C, Cerdeño A, Serrano E, Lavín P, Mantecón AR (2007a). Breed and ageing extent on carcass and meat quality of beef from adult steers (oxen). Livestock Science 107: 62-69. https://doi.org/10.1016/j.livsci.2006.09.004

Vieira C, Cerdeño A, Serrano E, Lavín P, Mantecón AR (2007b). ¿Qué raza elegir para la producción de bueyes? Innovación y Tecnología Agroalimentaria 2: 13-29.

Villalba D, Molina E, Cubiló D, Blanco M, Albertí P, Joy M, Casasús I (2010). Alternativas técnicas para el engorde de terneros utilizando forrajes. Agroecología 2: 24-27.

Yarrow NH, Penning PD, Johnson RH (1996). The effect of plane of winter nutrition and sward height on the performance of steers grazing grass/white clover swards. Grass and Forage Science 51 (4): 424-433. https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.1996.tb02077.x

Yeates NMT (1967). Avances en Zootécnica. Ed. Acribia, Zaragoza, España. 404 pp.

Zea J, Díaz D (1990). Producción de carne con pastos y forrajes. Ed. Mundi-Prensa, Madrid, España. 389 pp.

Zea J, Díaz MD, Carballo JA (2008). Efecto del peso de sacrificio y la raza en la canal de terneros alimentados con ensilados. Archivos de Zootecnia 57: 295-306.

(Aceptado para publicación el 4 de abril de 2019)

Revisión de la alimentación de la raza de lidia y caracterización de las principales patologías asociadas al cebo del toro en la actualidad

J.M. Lomillos[1,*] y M.E. Alonso[2]

[1] Departamento de Producción y Sanidad Animal, Salud Pública Veterinaria y Ciencia y Tecnología de los Alimentos, Facultad de Veterinaria. Universidad Cardenal Herrera-CEU. C/ Tirant lo Blanc, 7. 46115, Alfara del Patriarca, Valencia (España)

[2] Departamento de Producción Animal, Facultad de Veterinaria, Universidad de León. Campus de Vegazana s\n, 24071, León (España)

Resumen

La raza de lidia ha variado su sistema de explotación partiendo de un manejo puramente extensivo hacia un régimen semiintensivo donde los animales se nutren del pasto de la finca ganadera con suplementaciones puntuales, salvo los machos que son sometidos a un cebo previo a la lidia durante su último año productivo. Se detectan dos puntos críticos: una subalimentación del animal durante la etapa de crecimiento y un padecimiento de acidosis ruminal durante la etapa de cebo intensivo del macho. Diversos autores proponen un nuevo manejo alimentario, que adecúa el tipo de concentrado a las necesidades fisiológicas del animal desde el destete y racionaliza los suplementos alimenticios durante toda la vida del toro. A su vez se ofrecen nuevas estrategias que podrían prevenir el padecimiento de acidosis ruminal: incrementar el porcentaje y calidad de fibra en la ración, incorporar carros mezcladores o aumentar la frecuencia de administración del alimento (entre dos y cuatro al día). Igualmente existen diversos tratamientos paliativos como el uso de aditivos químicos y microbianos o el tratamiento con ciertos antimicrobianos. Finalmente, el sector adolece de más estudios que clarifiquen los factores desencadenantes de la acidosis ruminal en el toro de lidia y confirmen las estrategias a seguir para prevenir las patologías secundarias a dicho proceso.

Palabras clave: Ganado de lidia, problemas digestivos, acidosis ruminal.

Review of the lidia cattle feeding and characterization of the main problems associated to the bull fattening at present

Abstract

The lidia breed has varied its exploitation system from a purely extensive management to a semi-intensive system where the animals feed on the pasture of the cattle farm with specific supplements, except for males, which are subjected to a fattening prior to the show during their last productive year. Two critical points are detected: an underfeeding of the animal during the growth stage and a ruminal acidosis condition during the intensive fattening stage of the male. Several authors propose a new alimen-

* Autor para correspondencia: juan.lomillos@uchceu.es

Cita del artículo: Lomillos JM, Alonso ME (2019). Revisión de la alimentación de la raza de lidia y caracterización de las principales patologías asociadas al cebo del toro en la actualidad. ITEA-Información Técnica Económica Agraria 115(4): 376-398. https://doi.org/10.12706/itea.2019.012

tary management, which adapts the type of concentrate to the physiological needs of the animal since weaning and rationalizes the nutritional supplements throughout the life of the bull. At the same time, new strategies are offered that could prevent the suffering of ruminal acidosis: increasing the percentage and quality of fiber in the ration, incorporating mixer carts or increase the frequency of food administration (between two and four times a days). There are also various palliative treatments such as the use of chemical and microbial additives or the treatment with certain antimicrobials. Finally, the sector needs more studies in order to clarify the factors that trigger ruminal acidosis in the fighting bull and confirm the strategies to be followed in order to prevent secondary pathologies to this process.

Keywords: Lidia cattle, digestive problems, ruminal acidosis.

Introducción

El ganado bravo constituye una raza autóctona cuya producción tiene una gran trascendencia económica y social en España. La raza de lidia está integrada por 206.385 cabezas de ganado, distribuidas en 917 explotaciones, constituyendo la raza bovina autóctona de fomento más numerosa de nuestro país y la segunda, en censos, después de la frisona (MAPAMA, 2018a). Además, desde el punto de vista zootécnico, se trata de un animal único en el mundo que atesora un importante y variado caudal genético (Cañón *et al*., 2008).

La vigencia actual de esta producción ganadera, en el marco de la Unión Europea, se ve corroborada por el gran número de festejos, tanto en nuestro país, 19.473 espectáculos en 2017 (MECD, 2018), como en los vecinos Francia y Portugal.

En su inmensa mayoría, las explotaciones de ganado de lidia mantienen un régimen de explotación y manejo extensivo, conservando buena parte de las tradiciones de siglos precedentes (Rodríguez-Montesinos, 2002). Se localizan mayoritariamente en las dehesas, grandes fincas de secano con abundantes pastizales, praderas y sotos, en las que también abunda la vegetación arbórea y arbustiva. Actualmente las fincas dedicadas a este tipo de producción siguen siendo amplias, aunque de menor extensión y calidad que las de hace décadas, siendo desplazadas de las vegas de los ríos, quedando las zonas más fértiles para explotaciones agrícolas u otros tipos de ganaderías más rentables (Cruz, 1991). Con esta reducción de terreno y calidad de pasto es imprescindible la incorporación de nuevas técnicas de alimentación, suplementando las deficiencias de las fincas en los meses de escasez de pasto (Purroy *et al*., 2003).

Se trata de una raza de gran rusticidad, capaz de adaptarse y aprovechar todo tipo de terrenos, incluso aquellos con climatología extrema, desde zonas con verano caluroso en Córdoba y Sevilla hasta zonas tan frías en invierno como Castilla y León (Rodríguez-Montesinos, 2005).

Pese a su gran capacidad para el aprovechamiento de zonas adehesadas la raza de lidia debe ser complementada en momentos de escasez de producción herbácea, por lo que la alimentación supone, conjuntamente con la mano de obra, la partida económica que más condiciona la rentabilidad del ganado bravo (Fernández de Gatta, 2013) y por tanto, su estudio, tiene gran transcendencia para los ganaderos.

Con el presente trabajo se pretenden alcanzar dos objetivos, en primer lugar realizar una revisión del manejo de la alimentación en el ganado bravo, desde el pasado hasta nuestros días, en las distintas fases productivas. Por otro lado, se tratará de caracterizar las principales patologías asociadas a la fase de remate del toro previa a la lidia y sus posibles soluciones.

Evolución de la alimentación del ganado de lidia

La alimentación del ganado bravo en épocas antiguas se basaba única y exclusivamente en el aprovechamiento de los recursos forrajeros del campo (Mora, 1979). Como cualquier animal salvaje que adapta su crecimiento y engorde a la disponibilidad de pasto asociada a la estación del año, en primavera y otoño aumentaban de peso y reponían reservas, que perderían en verano y sobre todo durante el invierno (Fernández-Salcedo, 1993).

A finales del siglo XIX, se incrementó el número de ganaderías de lidia y el toro pasó de una vida totalmente silvestre a una explotación semi-extensiva. En este momento se comienza a prestar atención al aspecto alimenticio de la explotación, dedicando a este ganado los mejores pastos de invierno de las dehesas y las mejores rastrojeras del terreno agrícolas (García-Fernández, 1958).

Paralelamente, apareció por primera vez en nuestro país la exigencia de un peso determinado de los toros para poder lidiarse. Con el primer reglamento nacional de 1917, se fijó el peso mínimo exigido en 525 kg, excepto durante el periodo de junio a septiembre, que habrían de pesar 550 (Ruiz, 2005). El establecimiento de este peso mínimo, exigió la suplementación alimenticia con concentrados, basados en habas y avena molidas, para engordar al ganado en años de escasez primaveral de pastos y al principio de la temporada. De esta forma, el ganado bravo desarrollaba rápidamente su esqueleto, músculos, cornamenta, etc. lo que permitió lidiarlo más prematuramente que en épocas anteriores (Uruñuela, 1962).

Durante este periodo se produjo el cambio desde un aprovechamiento de los recursos forrajeros mediante el pastoreo exclusivo, lo cual permitía minimizar los costes de alimentación haciéndolos sumamente dependientes de las condiciones climatológicas y características del terreno, a una situación semi-extensiva con aporte intuitivo de suplementos durante los periodos de carestía.

Más adelante, tras el paréntesis de la Guerra Civil que frena la cría bovina en España, las vacadas de lidia proliferaron enormemente (Fernández-Sanz, 2005). Sin embargo, la superficie de las fincas se vio reducida en virtud del proceso de partición de las propiedades heredadas y por el auge de la agricultura intensiva que desplazó al toro hacia terrenos menos fértiles (Fernández-Salcedo, 1993).

En ese momento la alimentación del toro seguía estando muy condicionada por la calidad y cantidad de los pastos, estableciéndose claras diferencias en función de la región geográfica de cría (Gómez-Báez, 1960). Así en Andalucía, donde los inviernos son suaves y cortos y las primaveras largas, los pastos abundan y el ganado se cría con la producción de la finca. Sin embargo, las dehesas salmantinas, menos extensas y con menor producción de hierba, unido a inviernos largos y duros, obligaban al ganadero a proporcionar al ganado una suplementación alimenticia (algarrobas, avena, alfalfa, yeros, habas), para evitar pérdidas excesivas de condición corporal durante el invierno (Fernández-Salcedo, 1993). Todos estos aportes se daban arbitrariamente, sin conocer realmente las necesidades nutricionales de los animales, siguiendo el manejo de la alimentación tradicionalmente suministrada a los animales de trabajo, bueyes y mulas.

Los periodos de lactancia de las hembras se redujeron ya que los becerros se desarrollaban más rápido con concentrados que con leche materna y se produjo una mejora cuantitativa y cualitativa en la alimentación de las vacas, que era cuidadas con más esmero que nunca. Hasta ese momento, la alimentación de las vacas reproductoras se realizaba en base a pastoreo, aprovechando la producción

de hierba de primavera y otoño, y se complementaba en verano con forraje verde procedente del regadío de la explotación, en caso de disponer de él, y en invierno con heno, paja y/o forraje de avena y veza. Los machos, además, se suplementan con concentrado o heno, los añojos sólo durante el verano y los erales y sementales durante todo el año (González y Aguado, 1990).

A partir de 1969, se estableció la obligación de herrar a los animales con el guarismo del año ganadero de su nacimiento, sistema vigente en la actualidad. Con esta medida se rompió con la costumbre extendida en los años 60 de lidiar utreros, con un desarrollo adelantado, en corridas de toros. Por ello, el ganadero debía mantener los animales en la finca hasta que cumplían la edad reglamentaria. Así, la estrategia alimentaria seguida por el ganadero cambió radicalmente, siendo el objetivo mantener los animales con el menor gasto posible en alimentación suplementaria al pasto en las edades intermedias de añojos y erales, pretendiendo compensar el desarrollo, en la etapa final del ciclo productivo, con el aporte generoso de raciones energéticas para lograr el peso reglamentario (Sánchez-Belda, 1979). El inconveniente de este sistema es que la suplementación llegaba tarde para mejorar el crecimiento corporal, y la última fase de alimentación intensiva contribuía a aumentar el peso del animal en forma de deposición grasa, de aquí el estado de "cebamiento" de la mayoría de los toros de saca de la época (Romagosa, 1977). Además, no existía un criterio definido en la alimentación de las reses de lidia y, en muchos casos, se alimentaban con piensos compuestos muy energéticos sin tener en cuenta su condición de rumiantes y sus necesidades de ingestión de fibra (Bregante *et al*., 1982).

De este modo, en las décadas de los 70 y 80 empezó a realizarse un manejo diferencial de la alimentación en las distintas etapas productivas. En el caso del toro "de saca" se suplementaba con concentrados con mayor contenido en energía en la creencia de que proporcionaban mejores características de resistencia y fuerza a los animales durante su lidia. En la elaboración de dichos piensos se empleaban distintos cereales (cebada, avena, maíz, trigo, etc.), leguminosas (habas, yeros, algarrobas, etc.) y proteaginosas (soja) (González y Aguado, 1990).

Durante esa época (años 70 y 80) el toro no sólo debía alcanzar el peso mínimo exigido en el reglamento vigente, sino que, adicionalmente, surgieron diversas corrientes de opinión, apoyadas por la prensa especializada del momento, que reclamaban un toro de mayores dimensiones, quizás en contraposición al toro extremadamente pequeño lidiado durante los 60. De este modo, se produjo un incremento progresivo de la demanda de peso, volumen corporal y longitud de la cornamenta por los veterinarios de plaza y por el público, de forma que en esta época era poco probable ver en el ruedo de una plaza de primera categoría un toro de menos de 500 kg. Por todo ello, desde ese momento, con el objetivo de conseguir un animal más pesado en un tiempo corto de cebo, el ganadero separa los animales, aproximadamente un año antes de la lidia, en grupos de 6-8, introduciéndolos en cercados de reducido tamaño, suministrándoles raciones de concentrados más o menos equilibrados (Mora, 1979), consiguiendo así un toro que, según diversos autores, es el de mayores dimensiones de la historia (Domecq, 1985; Fernández-Sanz, 2005; Ruiz, 2005).

Manejo de la alimentación del toro de lidia

En la actualidad, el régimen de explotación de la raza de lidia es, en su inmensa mayoría, un sistema de manejo extensivo que poco a poco se ha adaptado a las nuevas técnicas de pastoreo y suplementación alimentaria (García

et al., 2016). La extensión de las fincas sigue siendo notable, pero de mucha menos amplitud que la de varias décadas atrás y, en cuanto a la calidad, el ganado bravo ha sido relegado a fincas de monte menos productivas y más agrestes en favor de la agricultura u otras especies coyunturalmente más rentables, como el porcino ibérico (Purroy *et al*., 2003).

Las grandes diferencias en cuanto a las características de la composición del suelo, orografía y condiciones climatológicas, que influyen en la composición y disponibilidad de pasto de las fincas donde se crían toros bravos, unido a las variaciones entre los distintos encastes dentro de la raza y la falta de estudios sistemáticos sobre sus necesidades nutricionales debido al carácter indócil de la misma, justifican la ausencia de tablas objetivas generales utilizables para realizar los cálculos pertinentes sobre distintos aspectos relacionados con la alimentación del ganado bravo. Por ello, en este apartado se ha realizado una estimación de las posibles necesidades nutricionales que pueden presentarse en las etapas productivas consideradas en función de pesos corporales medios reflejados en forma de tablas basándonos en las recomendaciones INRA (2018) y la bibliografía disponible específica de la raza de lidia (Rodríguez-Medina, 1993; Carmona, 1994; Purroy y Mendizabal, 1996; Carbonell y Gómez, 2001; Purroy *et al*., 2003; Jimeno *et al*., 2005; Fernández, 2012).

Alimentación de la vaca

Las hembras de raza brava siempre han sido consideradas máximas representantes de rusticidad, por su gran adaptación al medio en el que viven y por considerarse sus necesidades menores a las de otras razas autóctonas dado su reducido tamaño. A pesar de ello, precisan una alimentación adecuada en cada una de sus fases o etapas productivas, esencial para obtener buenos índices de fertilidad, evitar abortos y mortalidad perinatal y tras una lactación adecuada destetar al becerro en un estado óptimo (Purroy *et al*., 2003; Jimeno *et al*., 2005). La prueba de que el manejo de la alimentación es claramente mejorable se refleja en dos datos: la fertilidad media de la raza de lidia en 2014 estaba por debajo del 50% según el informe publicado por el MAPAMA (Álvarez, 2016) y el número de terneros registrados en el SITRAN en nodrizas de lidia de 7 a 8 años es de 2,96 (MAPAMA, 2018b).

En la Tabla 1 se presenta el cálculo de las necesidades de energía (unidades formadoras leche o UFL) y proteína (proteína digestible intestinal, PDI) de hembras adultas y jóvenes y unas raciones calculadas para cubrir dichas necesidades. Los datos de necesidades de mantenimiento calculados podrán ser corregidos a razón de +/– 0,3 UFL por cada 50 kg de peso vivo de variación que exista. Podemos comprobar como en las hembras jóvenes que se deben cubrir con un mínimo del 65-70% del peso vivo de adultas, las necesidades debidas al mantenimiento y su propio crecimiento, el aporte necesario para el feto en el último tercio de la gestación o la lactación requieren el suministro extra de concentrado en las épocas en las que la disponibilidad y calidad del pasto no puede cubrirlas por sí solo. También debe cuidarse el tipo de forraje que se proporciona, pues cuando el contenido en energía es muy escaso y el valor lastre muy alto, como sucede con la paja de cereal sin tratar, reflejado en la Tabla 2 como forraje B, los animales jóvenes no tienen capacidad de ingestión suficiente para todos los kilos teóricos que deberían consumir, por mucho que los tengan a libre disposición. Finalmente, cuando las condiciones climatológicas sean muy adversas, con periodos de frío intenso prolongados, el gasto energético de mantenimiento se debe incrementar en un 20%.

Es sumamente recomendable aprovechar al máximo los recursos naturales, utilizando pre-

Tabla 1. Necesidades nutricionales estimadas y ejemplo de posibles aportes en vacas madres adultas y hembras jóvenes.
Table 1. Estimated nutritional needs and example of possible contributions in adult mother cows and young females.

	Necesidades		Ejemplo 1		
	UFL (UFL/día)	PDI (g/día)	MS (kg MS/día)	Forraje A (0,7 UFL) (kg MS/día)	Concentrado (0,9 UFL) (kg MS/día)
			Hembra 350 kg		
Mantenimiento	4,2	275	5,5	4	1,5
Gestación:					
7 mes	0,7	70	0,9	0,4	0,5
8 mes	1,3	130	1,7	1,2	0,5
9 mes	2,3	200	2,9	1,4	1,5
Lactación (5 kg)	2,5	250	3,1	1,6	1,5
			Hembra 300 kg		
Mantenimiento	3,8	235	5	3,5	1,5
Crecimiento (400)	0,8	115	1	0,5	0,5
Crecimiento (300)	0,6	105	0,75	0,5	0,25
Gestación:					
7 mes	0,7	70	0,9	0,4	0,5
8 mes	1,3	130	1,7	1,2	0,5
9 mes	2,3	200	2,9	1,4	1,5
Lactación (4 kg)	2	200	2,5	1,5	1
			Hembra 250 kg		
Mantenimiento	3,4	205	4,5	3	1,5
Crecimiento (400)	0,7	95	0,9	0,5	0,4
Crecimiento (300)	0,5	75	0,75	0,5	0,25
			Hembra 200 kg		
Mantenimiento	2,9	175	3,75	2,75	1
Crecimiento (400)	0,6	85	0,8	0,5	0,3
Crecimiento (300)	0,4	65	0,55	0,35	0,2

Crecimiento = Crecimiento medio diario (expresado en gramos).

Tabla 2. Ejemplos de posibles aportes para cubrir las necesidades nutricionales en vacas adultas y hembras jóvenes.
Table 2. Examples of possible contributions to cover nutritional needs in adult cows and young females.

	Ejemplo 2 (Kg MS/día)			Ejemplo 3 (Kg MS/día)		
	MS	Forraje B (0,4 UFL)	Concentrado (0,9 UFL)	MS	Forraje C (0,8 UFL)	Concentrado (0,7 UFL)
			Hembra 350 kg			
Mantenimiento	8	6,5	1,5	5,6	3,1	2,5
Gestación:	1,5	1	0,5	1	0,5	0,5
7 mes						
8 mes	2,8	2,3	0,5	1,7	1,2	0,5
9 mes	3,8	2,3	1,5	3,1	1,6	1,5
Lactación (5 kg)	4	2,5	1,5	3,4	1,4	2
			Hembra 300 kg			
Mantenimiento	7	5,5	1,5	5	3	2
Crecimiento (400)	1,5	1	0,5	1,1	0,5	0,6
Crecimiento (300)	1	0,75	0,25	0,65	0,4	0,25
Gestación:						
7 mes	1,5	1	0,5	1	0,5	0,5
8 mes	3	2,5	0,5	1,7	1,2	0,5
9 mes	4,3	2,8	1,5	3,1	1,6	1,5
Lactación (4 kg)	3,5	2,5	1	2,75	1,5	1,25
			Hembra 250 kg			
Mantenimiento	6,25	4,75	1,5	4,5	2,5	2
Crecimiento (400)	1,4	1	0,4	1	0,5	0,5
Crecimiento (300)	1,25	0,75	0,25	0,65	0,4	0,25
			Hembra 200 kg			
Mantenimiento	5,5	4,5	1	3,8	2,3	1,5
Crecimiento (400)	1,05	0,75	0,3	0,9	0,5	0,4
Crecimiento (300)	0,8	0,6	0,2	0,6	0,3	0,3

Crecimiento = Crecimiento medio diario (expresado en gramos).

ferentemente el pastoreo y los recursos forrajeros propios de la ganadería, mayoritariamente henificados y en mucha menor medida ensilados. Cuando estos no sean suficientes, nuestras estimaciones (Tablas 1 y 2) coinciden con las recomendaciones realizadas por diversos autores (Carmona, 1994; Purroy y Mendizabal, 1996; Carbonell y Gómez, 2001; Fernández de Gatta, 2013) sobre la necesidad de suplementar con alimento concentrado a razón de 2 a 4 kg diarios, dependiendo de la riqueza del pasto, forraje y concentrado.

Alimentación del becerro

Durante el primer año de vida podemos distinguir dos periodos claramente diferenciados en cuanto al tipo de alimentación. Inicialmente los becerros se alimentan exclusivamente con leche materna y desarrollan un crecimiento óptimo, siempre y cuando provenga de una vaca bien alimentada que produzca leche de calidad y cantidad adecuadas durante las primeras 4-8 semanas. Como puede comprobarse en la Tabla 3, con 3 litros de leche se cubren sobradamente las necesidades energéticas (unidades formadoras carne, UFC) pero las proteicas necesitarían un aporte cercano a los 4 litros, cantidad que, según Rodriguez-Medina (1993), se alcanza en el segundo mes de lactación. Cabe destacar que se atribuye a la leche de las vacas de lidia un contenido en grasa superior al 4,5% aunque no hemos encontrado bibliografía sobre su composición. Cuando los becerros alcanzan un peso superior a los 70 kg, lo cual asumiendo un peso al nacimiento de 30 kg y un ritmo de crecimiento de 300 gr al día, puede producirse en torno al 5 mes de vida, las necesidades proteicas son difícilmente cubiertas con el aporte exclusivo de la leche materna, que a partir del tercer o cuarto mes inicia el descenso en la curva de lactación. Coincidimos con Carbonell y Gómez (2001), en que resulta erróneo dejar todo el peso de la alimentación del becerro durante el periodo de lactancia exclusivamente en la leche materna, la cual, como hemos mencionado anteriormente, va a ser claramente insuficiente para proporcionar la energía y los nutrientes precisos para el crecimiento que se produce en los últimos meses. Por ello, se recomienda proporcionar concentrados lacteados de arranque a libre disposición de los becerros a partir de la sexta semana de vida, para que puedan complementar las deficiencias de la leche materna, que no puedan ser cubiertas mediante la ingestión de pasto de buena calidad en la cantidad suficiente.

Resulta necesario disponer de comederos con tolvas protegidos mediante vallado selectivo, para impedir el acceso de las madres (Figura 1) y suministrar el concentrado de arranque específico para becerros, con el objetivo de conseguir una buena osificación y un equilibrio metabólico en esta fase crítica del crecimiento y a su vez lograr una oportuna estimulación del sistema inmune, obteniendo un individuo más resistente a las infecciones que desembocan en diarreas y neumonías principalmente (Jimeno *et al*. 2005).

Carbonell y Gómez (2001) establecen que el concentrado de arranque para los becerros debería presentar un valor energético de 0,95 UFC/kg, equiparable al utilizado en el cálculo de los aportes presentado en la Tabla 3, un valor nitrogenado de 105 gramos de proteína digerida en el intestino (PDI), además de unos contenidos en calcio y fósforo del 1 y 0,6%, respectivamente, y del 4,8 y 4,3% en grasa y fibra bruta, respectivamente. Para Jimeno *et al*. (2005) resulta beneficioso que el concentrado suplementado se presente en forma de gránulo con un diámetro de 2,5 mm, con una adecuada palatabilidad y un contenido alto en proteína bruta, de muy alta digestibilidad y un porcentaje de lactosa de al menos el 5% de la materia seca (MS).

Esta complementación permite a su vez rebajar en cierta medida las necesidades de producción de las madres, facilitando que las



Figura 1. Tolva con parque selectivo para becerros.
Figure 1. Hopper with selective park for calves.

Tabla 3. Necesidades nutricionales estimadas y ejemplo de posibles aportes en animales menores de un año de edad.
Table 3. Estimated nutritional needs and example of possible contributions in animals under one year of age.

	Necesidades		Ejemplo			
	UFC (UFC/día)	PDI (g/día)	Leche (0,5 UFC/kg) (kg/día)	MS (kg MS/día)	Forraje A (0,7 UFC) (kg MS/día)	Concentrado (0,9 UFL) (kg MS/día)
Hembra 350 kg						
Becerros 50 kg Mantenimiento + Crecimiento (300)	1,08	125	2,2	1,2	–	1,2
Becerros 75 kg Mantenimiento + Crecimiento (400)	1,4	175	2,8	1,55	0,25	1,3
Becerros 100 kg Mantenimiento + Crecimiento (200)	1,9	180	3,8	2,25	0,5	1,75
Becerros 100 kg Mantenimiento + Crecimiento (400)	2,4	205	4,8	2,8	0,5	2,3

Crecimiento = Crecimiento medio diario (expresado en gramos).

reservas corporales de éstas puedan ser repuestas cuanto antes para afrontar las necesidades de una nueva gestación, disminuyendo el intervalo entre partos.

En la segunda fase, tras el destete y separación de la madre, se recomienda proporcionar heno de buena calidad (0,7 UFC) pues contribuye a minimizar el estrés del momento, continuando durante un tiempo el aporte de concentrado de arranque que se irá mezclando gradualmente con el tipo de suplemento que tendrán durante la fase siguiente (Fernández, 2012) para permitir que la microflora ruminal se vaya adaptando al cambio en la composición, sin producirse parones en el desarrollo de los animales.

Alimentación del añojo (1-2 años)

Teniendo en cuenta que un kg de pasto fresco de pradera permanente puede contener entre 0,11 y 0,15 UFC, serían necesarios entre 24,5 y 18 kg para cubrir las necesidades de un añojo de 150 kg que crezca a razón de 300 gramos días (Tabla 3). Por ello, como ya se ha comentado anteriormente se suele suplementar, en épocas de escasez de pasto y disminución del crecimiento vegetativo durante el verano y/o invierno, con raciones cuyos componentes fundamentales pueden ser productos fibrosos (pulpas de remolacha y de cítricos, alfalfa deshidratada o henificada y paja de cereales), subproductos industriales (*gluten-feed*, salvado de trigo, torta de soja y melaza de remolacha) y productos comunes en la composición de concentrados de otro tipo de explotaciones animales (maíz, cebada, trigo y harinas de girasol).

Nuestros cálculos (Tabla 4) están ligeramente por debajo de lo publicado por Carbonell y Gómez (2001) quienes fijan la ingesta diaria suplementada en 3,5 kg de MS, que se reduciría en los meses de mayor oferta forrajera pastable a 2,6 kg de MS por animal y día, intentando asegurar, en todos los casos, el incremento de peso.

Tabla 4. Necesidades nutricionales estimadas y ejemplo de posibles aportes en animales de 1 a 3 años.
Table 4. Estimated nutritional needs and example of possible contributions in animals from 1 to 3 years.

	Necesidades		Ejemplo		
	UFC (UFC/día)	PDI (g/día)	MS (kg MS/día)	Forraje A (0,7 UFC) (kg MS/día)	Concentrado (0,9 UFC) (kg MS/día)
Hembra 350 kg					
Añojos 150 kg	2,3	140	2,8	1,3	1,5
Crecimiento (300)	0,4	75	0,5	–	0,5
Erales 250 kg	3,4	205	4,3	2,3	2
Crecimiento (200)	0,5	50	0,7	0,2	0,5
Utreros 330 kg	4,1	250	5	2	3
Crecimiento (300)	0,8	77	1	0,5	0,5

Crecimiento = Crecimiento medio diario (expresado en gramos).

Alimentación del eral (2-3 años)

A medida que los animales tienen mayor peso y edad las posibilidades de cubrir sus necesidades (Tabla 4) en base únicamente al pastoreo disminuyen. Si queremos asegurar un crecimiento continuo y que no se produzcan problemas de subalimentación a los que se aludía frecuentemente en los sistemas de manejo únicamente basados en el aprovechamiento forrajero pastable y el crecimiento compensatorio empleados de modo mayoritario en décadas pasadas (Rodríguez Medina, 1993), es necesario recurrir a la suplementación. La composición del suplemento suministrado a los erales suele ser similar a la empleada en la fase de añojos y según nuestras estimaciones (Tabla 5) la ingestión en kg de materia seca necesaria para cubrir las necesidades nutricionales rondaría los 5 kg para animales de unos 250 kg y un ritmo de crecimiento de 200 gr/día. Dichos valores están en concordancia con la suplementación ofrecida de modo práctico (Carbonell y Gómez, 2001) consistente en 4,4 kg de MS diaria, disminuyéndola en los meses de mayor oferta forrajera a 2 kg de MS/animal/día. De este modo se asegura que los animales adquieran un desarrollo esquelético y muscular de forma continua, evitando desequilibrios estacionales y cubriendo las posibles carencias que posteriormente pudieran resultar fatales en el momento de la lidia.

Igualmente es indispensable que se cuide el aporte del corrector vitamínico-mineral, incorporado en el concentrado a razón de 4 kg/t (Carbonell y Gómez, 2001), con especial atención a su composición en minerales y aminoácidos azufrados, ya que intervienen directamente en la formación, desarrollo y resistencia de las estructuras queratinizadas: pezuñas y cuernos. Así, el corrector debe incorporar carbonato cálcico, fosfato bicálcico, sal, sulfato ferroso, oxido y metionato de zinc, sulfato de cobre, yodo, oxido manganoso, sulfato de cobalto, selenito sódico y las vitaminas A, E, B1, B2, B6, y ácido nicotínico (Jimeno *et al*., 2005).

Alimentación del novillo (3-4 años)

Cuando los animales tienen alrededor de 34 meses de edad se les debe proporcionar lentamente, durante cuatro semanas de adaptación, cierta cantidad de la ración diseñada para utreros y toros, con el objeto de ir adaptándolos al concentrado de acabado (Fernández, 2012).

Las instalaciones ganaderas habilitadas para los utreros son de características similares a las cercas de los erales, si bien el número de comederos individuales se recomienda que sea un 10% mayor al número de efectivos dispuestos anteriormente (Purroy y Mendizábal, 1996).

Al igual que ocurre en fases anteriores, se hace necesaria una suplementación, estando nuestras estimaciones (Tabla 4) por encima de las recomendaciones de algunos autores consultados. Para Jimeno *et al*. (2005) la suplementación podría estar basada en la adición de 0,5 kg de heno de alfalfa sobre la cantidad establecida en la fase anterior (eral), quedando en 2,5 kg de heno de alfalfa sumados a 0,5 kg de concentrado de crecimiento por animal y día. Si tenemos en cuenta que 1 kg de MS de heno de alfalfa presenta un valor medio de 0,6 UFC (INRA, 2018) y la media de los centrados está en torno a las 0,9 UFC con la suplementación sugerida por los mencionados autores se cubrirían 1,975 de las 4,9 UFC necesarias estimadas (Tabla 4) debiendo existir unas posibilidades de aprovechamiento pastable de entre 19,3 y 26,6 kg de pradera fresca.

Nuestros resultados están en consonancia con Carbonell y Gómez (2001) para quienes el concentrado energético a menudo aporta entre 1,60 y 3,35 unidades forrajeras (UFC) al día, según la época del año, de forma que el equilibrio de proteína soluble e insoluble facilite la formación de músculo y evite el acúmulo de grasa.

Alimentación del toro (4-5 años)

Los sistemas de alimentación descritos para la década de los 80 basados en un cebo final pre-lidia continúan vigentes en la actualidad. Si bien cada ganadero tiene una metodología propia, dependiendo de la disponibilidad de alimento en la finca, de la posibilidad de cultivar el forraje o materia prima para elaborar concentrado en la propia explotación o del uso de subproductos agrícolas tales como pulpa de cítricos o derivados de la industria del aceite.

Este cebo final del animal se lleva a cabo en cercados de tamaño reducido, sin pasto, con un suministro diario de raciones de alta concentración energética y elevada digestibilidad (Domecq, 2009). Esta última etapa de alimentación se denomina "cebo prelidia" o "acabado", puede variar entre los 5 y 12 meses y generalmente comienza durante el invierno (Lomillos, 2012), adaptando la cantidad de ración suministrada a los utreros a la fecha en que se han previsto lidiar, para asegurar el peso exigido en cada plaza, que varía desde los 410 kg en plazas de 3ª categoría a los 460 kg en plazas de 1ª categoría (BOE, 1996).

La superficie dedicada al cercado de toros de saca ronda las 60 has por ganadería y el número medio de animales por recinto es de 20 (lo que equivale a una densidad de 3 has por toro), si bien cada explotación distribuye sus animales de una forma distinta. La ganancia media diaria (GMD) es aproximadamente de 450 g/día, lo que hace que en este período, los toros incrementen en 150 kg su peso, el 30% del final, considerando un toro estándar de 500 kg de peso a los 4 años de edad (Purroy *et al*., 2003).

En la Tabla 5 se presentan las estimaciones de requerimientos nutritivos básicos en cuanto a energía y proteína digerida en intestino en función de distintos pesos y ritmos de crecimiento posible de toros de cuatro años, ela-

Tabla 5. Necesidades nutricionales estimadas y ejemplo de posibles aportes en toros de saca.
Table 5. Estimated nutritional needs and example of possible contributions in bulls.

	Necesidades		Ejemplo		
	UFC (UFC/día)	PDI (g/día)	MS (kg MS/día)	Forraje B (0,4 UFC) (kg MS/día)	Concentrado (1,09 UFC) (kg MS/día)
			Hembra 350 kg		
Cuatreños 400 kg	4,8	290	5,6	2	3,6
Crecimiento (500)	1,5	133	1,7	0,5	1,2
Crecimiento (1000)	3	265	3,1	0,5	2,6
Cuatreños 450 kg	5,2	320	6	2	4
Crecimiento (400)	1,4	106	1,6	0,5	1,1
Cuatreños 500 kg	5,6	345	6,3	2	4,3
Crecimiento (400)	1,5	108	1,7	0,5	1,2
Cuatreños 550 kg	6	370	6,75	2	4,75
Crecimiento (400)	1,6	110	1,75	0,5	1,25

Crecimiento = Crecimiento medio diario (expresado en gramos).

borada como se ha mencionado anteriormente, siguiendo las recomendaciones INRA (2018) y la bibliografía disponible específica de la raza de lidia (Rodríguez-Medina, 1993; Carmona, 1994; Purroy y Mendizabal, 1996; Carbonell y Gómez, 2001; Purroy *et al*., 2003; Jimeno *et al*., 2005; García *et al*., 2011; Fernández, 2012).

Nuestras estimaciones coinciden con Purroy *et al*. (2003) quienes, tras analizar los concentrados suministrados en varias ganaderías, concluyeron que las cantidades de nutrientes ingeridos por los toros de saca, especialmente en cuanto al contenido proteico, son superiores a las necesidades que tienen estos animales en los meses que preceden a la lidia.

En la actualidad los toros apenas consumen forraje en forma de pasto, pues con el suministro de una cantidad de 5-7 kg de cebada y 1-4 kg de forraje se consigue ganancias medias de 0,5-1 kg/día (Purroy y Mendizábal, 1996; Caballero de la Calle y López Fuentes, 2005).

Por otro lado, es posible que los animales no muestren apetencia por el concentrado, si disponen de hierba fresca, por ello se suele segar los cercados antes de la entrada de los animales, asegurando la ingesta, independientemente de la oferta forrajera natural. Para Carbonell y Gómez (2001) serían suficientes 6,2 kg de MS diarios en una ración con un contenido energético entre 2,50 y 4,20 UFC por día, variable según la época del año en que nos encontremos, como complemento de los recursos de pasto disponibles. Si todo el aporte nutricional tuviera que depender de la suplementación, las cantidades recogidas por los mencionados autores no cubrirían las necesidades estimadas presentes en la Tabla 5 ni las recomendadas de modo práctico por Fernández (2012).

A su vez, se suele administrar un corrector vitamínico-mineral, bien mezclado con el concentrado o bien a libre disposición, que complementariamente puede incorporar elementos glucoformadores y antioxidantes.

Tanto para los machos como para las hembras de diferentes edades pueden emplearse comederos lineales de distintos materiales y dimensiones, siendo recomendable que exista un espacio libre por animal de unos 50 cm, para evitar los problemas de jerarquía, existentes en cualquier camada, que podrían inferir cualquier tipo de subalimentación. Este problema, más acusado en novillos y toros, se soluciona en algunos casos con el uso de comederos individuales o morriles (Figura 2).

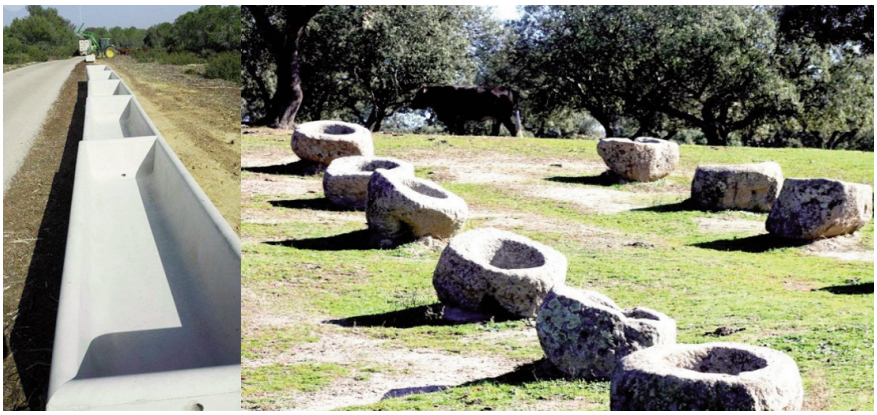


Figura 2. Comedero lineal y morriles.
Figure 2. Long feeder and single feeders.

Igualmente, se deben instalan varios puntos de agua repartidos por cada cercado, dispuestos lejos de los comederos, para favorecer el desplazamiento de los animales por distintas zonas y evitar su concentración en un punto.

Principales patologías asociadas al cebo del toro de lidia

Diversos estudios llevados a cabo sobre el efecto de cebo intensivo en la fisiología ruminal del ganado bravo (Rodríguez-Medina, 1993; Compan y Arriola, 1998; Arriola, 1998; Carbonell y Gómez, 2001; Gómez-Peinado, 2001; Alonso-Vaz, 2002; Jimeno *et al*., 2003; Caballero de la Calle y López Fuentes, 2005; Bartolomé, 2009; Lomillos, 2012; García *et al*., 2016; Lomillos *et al*., 2017) apuntan al padecimiento de acidosis ruminal (AR), una patología primaria que predispone la aparición de lesiones secundarias como abscesos hepáticos, úlceras gastrointestinales, paraqueratosis ruminal, laminitis, hormiguillo, etc.

La AR es una enfermedad metabólica que se asienta en el rumen y se produce por la fermentación ruminal de grandes cantidades de carbohidratos no fibrosos, tales como almidón y azúcares, que conducen a la producción de elevadas cantidades de ácidos grasos volátiles (AGVs) y lactato, que se acumulan en el rumen y provocan una reducción anormal del pH ruminal (Sauvant *et al*., 1999).

Las células del epitelio ruminal, no protegidas por mucus, resultan vulnerables al daño químico de los ácidos (Mcdonald *et al*., 2006) y este descenso en el pH ruminal y las concentraciones elevadas de AGVs provocan ruminitis, erosiones y ulceraciones del epitelio ruminal. A su vez se produce un engrosamiento anormal del estrato córneo de la mucosa por acúmulo de células corneas con perturbaciones en su queratinización que deriva en hiper y paraqueratosis, observando mucosas ruminales parcialmente pigmentadas (Gentile *et al*., 1997; Owens *et al*., 1998).

Entre los trabajos llevados a cabo con ganado de lidia, destaca el realizado por Bartolomé (2009) que observa un 66,2% de los animales estudiados con valores de pH ruminal compatibles con AR, de ellos el 41,5% de forma crónica (pH = 6,2 – 5,6) según clasificación de González *et al.* (2012), además se detecta un 70,7% de animales con paraqueratosis en la mucosa y un 26,9% de individuos con lesiones hepáticas. En la misma línea, Lomillos *et al.* (2017) evidencian una reducción del 43% de la longitud de la papila ruminal de toros sometidos al cebo de acabado, sumada a un aumento del grosor de su mucosa, que ascendió aproximadamente al doble del valor obtenido en el grupo de animales considerado control, explotados en régimen extensivo puro (Figura 3).

En este contexto, el descenso del pH ruminal predispone a que el epitelio se vuelva frágil y pierda su capacidad de actuar como barrera entre el ambiente ruminal y la sangre, lo que conlleva la aparición de soluciones de continuidad, que permiten el paso de microorganismos hacia el torrente circulatorio y el consiguiente riesgo de padecer septicemias para el animal (Owens *et al*., 1998). Entre otras, *Fusobacterium necrophorum* y *Corynebacterium piógenes*, son bacterias a menudo conducidas hasta el hígado a través de la vena porta y allí inician la infección y formación de abscesos, que comprometen su capacidad metabólica (Cerrato-Sánchez y Calsamiglia, 2006). Desde el hígado pueden dirigirse hacia el peritoneo generando peritonitis y en ocasiones de forma secundaria pueden dirigirse al pulmón, válvulas cardiacas, riñones, articulaciones, etc. (Kleen *et al*., 2003). En este sentido, García *et al*. (2007) registraron abscesos a nivel hepático en el 4% de los toros estudiados y adherencias hepático-diafragmáticas en el 21% de casos que se extendieron hasta la pleura pulmonar, confirmándose *Fusobacterium necrophorum* como el principal agente causal de las lesiones tras el cultivo.

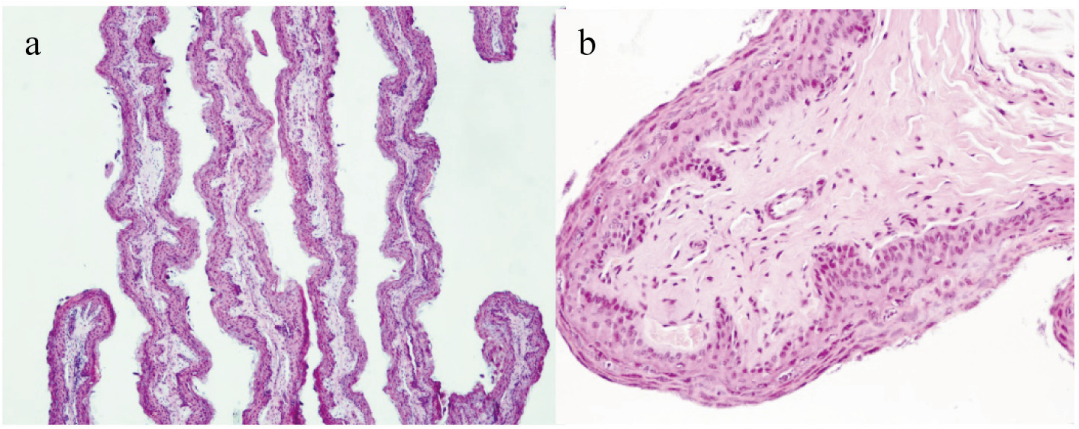


Figura 3. (a) Papila normal de animal en extensivo. (b) Papila engrosada y acortada de toro en cebo (Lomillos *et al.*, 2017).
Figure 3. (a) Normal papilla of extensive animal. (b) Thickened and shortened papilla of feeded bull (Lomillos et al., 2017).

Paralelamente, el cebo intenso basado en una alimentación rica en hidratos de carbono, predispone a padecer lesiones podales como la laminitis (pododermatitis aséptica difusa) evidenciada en los animales como un sobrecrecimiento anormal de la pezuña (Owens *et al*., 1998) ampliamente descrita en la raza de lidia (Arriola, 1998; Gómez-Peinado, 2001) y detectada con una prevalencia del 28% de los animales que se lidian en las plazas, en forma de sobrecrecimiento de la pezuña (García *et al*., 2007).

Parece claro que la AR generada tras el cebo intensivo y los procesos patológicos a los que predispone o directamente causa, repercute en el rendimiento del toro en la plaza en forma de merma física del animal que dificulta su rendimiento etológico y físico (García *et al*., 2007; Bartolomé, 2009; Escalera, 2011; Lomillos, 2012). Por todo ello, es de gran importancia explorar posibles soluciones o estrategias de prevención mediante el diseño de un nuevo manejo alimentario.

Posibles soluciones: prevención de la acidosis ruminal

En el caso del cebo del toro de saca, la mejora del racionamiento y del manejo de la alimentación podrían tener un impacto considerable en la estabilidad del pH ruminal. Adaptar el ambiente ruminal realizando de forma lenta y gradual el cambio de una ración forrajera a otra concentrada, estimularía el desarrollo de las papilas ruminales y el crecimiento de la flora transformadora de ácido láctico (Cerrato-Sánchez y Calsamiglia, 2006), de tal modo que se metabolice mayor cantidad del mismo y la mucosa del rumen pueda absorber una mayor cantidad de AGVs generados. Esta adaptación de la mucosa a las raciones concentradas tarda entre 4 y 6 semanas, aproximadamente (Nocek, 1997) y los cambios en la microflora unas 3 semanas (Nordlund *et al*., 1995). En cuanto al manejo alimentario, es importante evitar que los animales consuman grandes volúmenes de agua después de ingerir grandes cantidades de

MS, para ello y para una mejor digestión es recomendable distribuir la ración el mayor número de tomas posible durante el día, de 2 a 4 al día y ofreciendo siempre forraje entre las tomas de concentrado o bien administrarlo *ad libitum* (Bach, 2003).

A su vez, se debe controlar la composición de cereales de la ración (frecuentemente superiores al 35% de MS), pues cada uno tiene una velocidad de degradación del almidón (Bacha, 2002), especialmente el porcentaje de cebada, cereal que va a predisponer el padecimiento de AR (Martín-Orue *et al*., 2000).

La fibra en la ración debe ser un componente esencial y prioritario, bien sea como forraje o ensilado, ya que contribuye al mantenimiento del funcionamiento ruminal (llenado ruminal y estímulo de las contracciones ruminales) y de las condiciones químicas (pH). Funciones que dependen, a su vez, de su composición, degradabilidad y forma de presentación, ya que ayuda a reducir el ritmo de fermentación ruminal, al tiempo que favorece la salivación y el incremento del pH ruminal (Owens *et al*., 1998; Stone, 2004). El efecto final de la fibra se va a ver influido por el tipo de cereal que le acompañe, ya que el almidón puede interferir en su digestión. Sin ir más lejos, la cebada limita la degradabilidad de la fibra, ofreciendo mejores resultados cuando se acompaña de maíz (Varga *et al*., 1998; Martín-Orue *et al*., 2000). Una alternativa podría ser la sustitución del forraje de paja de cereal por otras fuentes de fibra no forrajera (pulpa de remolacha o de cítricos, semilla de algodón entera, cascarilla de soja, subproductos de destilería…) que presenta efectos positivos, sin que se vea mermado el contenido energético de la ración (Varga *et al*., 1998).

Los ensilados en general aportan una carga adicional de ácido al rumen, que, en conjunción con su fibra, más frágil que la fibra de los henos, predispone el padecimiento de AR (Sudweeks *et al*., 1981), lo que limita sus posibilidades de utilización en la fase de finalización de los toros.

El tamaño del forraje también influye en el control del pH, porque incide directamente en los tiempos de masticación y rumia, así como en el pH ruminal. Existe una relación lineal y cuadrática entre el pH y el tamaño de partícula, es decir, a medida que se aumenta el tamaño de partícula del forraje, aumenta el pH (Vázquez *et al*., 2005; Pereira *et al*., 2006). Por ello es recomendable que el 40% del total de la dieta esté compuesta por materias primas con tamaños de partículas superiores a 2 mm para minimizar el riesgo de AR (Bacha, 2002).

El tipo de comedero también puede predisponer a cuadros de AR. Los comederos elevados del suelo son más peligrosos, pues según McFarlane y Howard (1972) las vacas que comen a nivel del suelo producen un 17% más de saliva que las que consumen la ración por encima de dicho nivel.

La adopción del sistema de alimentación tipo ración total mezclada, más conocida como carro "*unifeed*", ampliamente utilizado en vacuno lechero, aseguraría *a priori* un consumo equilibrado de concentrado y forraje, lo que supone una ventaja muy importante. De este modo es posible incrementar la densidad energética de las raciones disminuyendo el riesgo de aparición de problemas digestivos (Roquet, 2005), de hecho, en los últimos años se ha empezado a incorporar este tipo de manejo alimentario a las explotaciones de lidia (Lomillos *et al.,* 2013). En este sentido, el aporte de raciones compensadas y altas en fibra mediante el uso carro mezclador "*unifeed*" durante el cebo de toros de lidia no genera una disminución de pH por debajo de los límites fisiológicos, como refleja la Figura 4 que describe el pH ruminal de toros alimentados siguiendo esta pauta de manejo alimentario durante un mes (García *et al*., 2016).

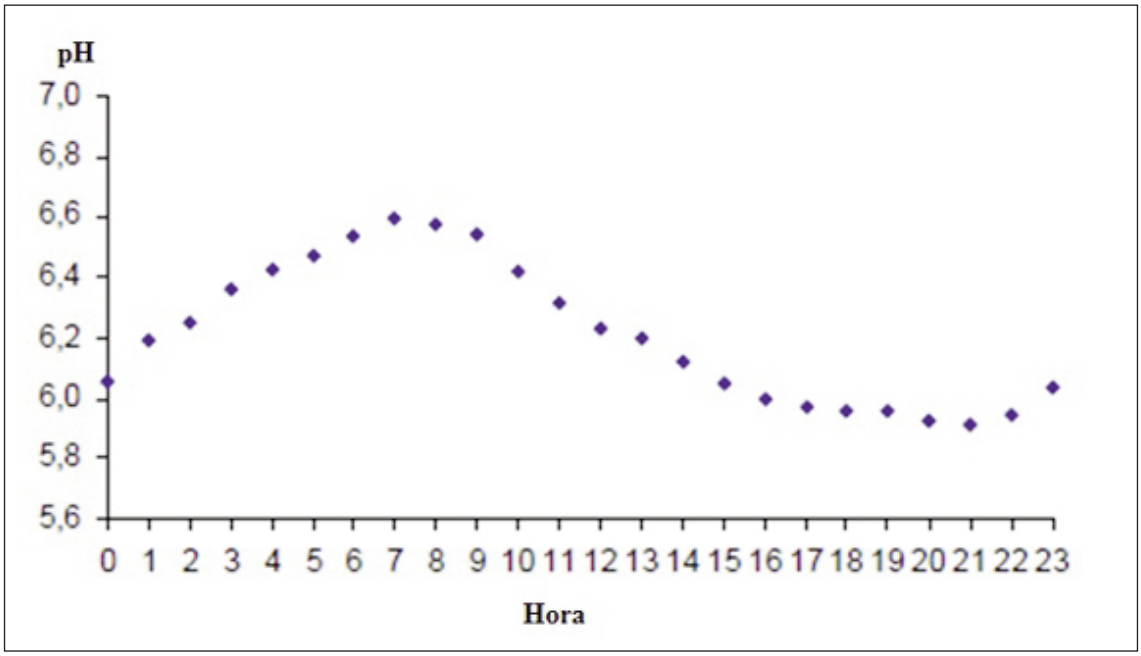


Figura 4. Monitorización del pH ruminal durante un mes de toros alimentados con carro mezclador.
Figure 4. Ruminal pH monitoring during one month of bulls fed with mixer carriage.
Fuente: García *et al.* (2016).

Sin embargo, no está claro que esta práctica de manejo sea la solución total a la AR del toro bravo puesto que la utilización de estas máquinas mezcladoras durante el periodo completo de cebo, que suele durar entre 3 y 9 meses, puede generar lesiones en la morfología de la papila ruminal (disminución de su longitud y engrosamiento de la mucosa) de forma similar a las encontradas en animales alimentados mediante el manejo alimentario tradicional (Tabla 6). Además, el tiempo de cebo genera un efecto negativo sobre la gravedad de las lesiones, siendo los animales alimentados durante más de 6 meses los que mayores lesiones presentan a nivel de la mucosa ruminal (Lomillos *et al*., 2017). Una de las posibles causas de estas lesiones estriba en que a pesar de la presentación de la ración en forma de mezcla, no está compensada existiendo un claro desequilibrio pues el porcentaje de concentrado supera generalmente el 50% (Fernández, 2012).

Otra estrategia para prevenir la AR es el uso de aditivos: tanto químicos como microbianos. Entre los primeros se encuentran sustancias tampón como el bicarbonato, alcalinizantes como el óxido de magnesio o adyuvantes como la bentonita, que puede ayudar a combatir la AR ya que absorbe parte de los ácidos grasos volátiles a nivel ruminal (Bach, 2003; Calsamiglia y Ferret, 2003; Vázquez *et al*., 2005; Cerrato-Sánchez y Calsamiglia, 2006).

Los aditivos microbianos más comúnmente usados para combatir la AR son los extractos de levaduras y las levaduras vivas. Estos microorganismos ayudan a mantener el pH ruminal al estimular el crecimiento de las bac-

Tabla 6. Valores medios obtenidos para la longitud y grosor de la papila ruminal de toros de lidia, en función del sistema de cebo utilizado.
Table 6. Mean values obtained for the length and thickness of the ruminal papilla of lidia bulls, depending on the feeding system used.

Sistema de cebo	n	Acortamiento longitud papila (%)	Grosor papila (µm)
Tradicional (pienso y paja)	135	41,96 ± 22,17	434,81 ± 119,04[a]
Remolque mezclador	206	43,10 ± 24,3	442,87 ± 153,11[a]
Control	15	0	221,48 ± 33,094[b]

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas (p < 0,001).
Fuente: Lomillos *et al.* (2017).

terias celulolíticas y las utilizadoras de ácido láctico, evitando su acumulación en el rumen (Waldrip y Martin, 1993).

En los últimos años se ha desarrollado el uso de productos probióticos, es decir, aditivos que incluyen cultivos de bacterias y hongos (Blanch, 2009). La mayoría de las bacterias utilizadas en los rumiantes pertenecen a las especies *Bacillus, Enterococcus* y *Lactobacillus* y entre los hongos destacan *Aspergillus oryzae* y la levadura *Saccharomyces cerevisiae* (Pereira *et al*., 2016). Estos trabajos han mostrado resultados positivos tanto *in vitro* como en ganado manso en la reducción del riesgo de la AR aunque se desconoce el mecanismo exacto mediante el que actúan (Kung y Hession, 1995; Ghorbani *et al*., 2002; Krehbiel *et al*., 2003).

A su vez, es posible estimular el crecimiento de las bacterias utilizadoras del ácido láctico en el rumen mediante la adición de ácidos orgánicos a la ración como el aspártico, málico o fumárico (Martin, 1998).

Por último, cabe la posibilidad del uso de medicamentos, que actúan eliminando los agentes bacterianos responsables de la producción de ácido láctico durante el inicio del proceso. Existen antibióticos ionóforos bastante eficaces en reducir la acumulación de ácido láctico en el rumen. La virginiamicina (Coe *et al*., 1999) junto con la monensina, son los más eficientes (Mutsvangwa *et al*., 2002; Yang *et al*., 2014), pero ninguna de estas sustancias está permitida para su empleo en alimentación de ganado vacuno. Como alternativa, se están probado diferentes extractos de plantas (tomillo, yuca, eucalipto, apio) o diferentes aceites esenciales por su efecto inhibidor fundamentalmente sobre *Streptococcus bovis*. No obstante, estas sustancias no son específicas y también pueden afectar a las bacterias gram-negativas, entre las que se encuentran las bacterias celulolíticas (Wang *et al*, 2000; Wallace *et al*., 2008; García-González, 2005; Akbarian-Tefaghi *et al*., 2018).

Conclusiones

La alimentación del ganado de lidia ha evolucionado con el paso del tiempo de forma que se ha pasado de una explotación puramente extensiva a un régimen semiintensivo que alterna una etapa extensiva con una intensiva de los machos durante el último año previo a la lidia.

Existe un problema de AR de intensidad variable tras el cebo final de los toros, con una incidencia en torno al 60% de las reses lidia-

das. Los ganaderos han comenzado a poner soluciones al problema con la incorporación de los carros mezcladores "*unifeed*" que debe ser complementado con el diseño de raciones más equilibradas. No obstante, el sector adolece de nuevos estudios con el objetivo de diseñar nuevas estrategias de alimentación y puesta a punto de métodos de prevención de la AR para esta raza de características tan particulares.

Agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento por la ayuda prestada al Dr. Peláez Suárez, profesor de alimentación del Departamento de Producción Animal de Facultad de Veterinaria de la Universidad de León y al Lic. Álvarez Diez, Servicio Técnico de NANTA.

Referencias bibliográficas

Akbarian-Tefaghi M, Ghasemi E, Khorvash M (2018). Performance, rumen fermentation and blood metabolites of dairy calves fed starter mixtures supplemented with herbal plants, essential oils or monensin. Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition 102(3): 630-638. https://doi.org/10.1111/jpn.12842

Alonso-Vaz F (2002). La alimentación y su influencia en las caídas de los toros. Libro de Actas del IV Congreso Mundial Taurino de Veterinaria, 28 Noviembre 2002, Salamanca, España, pp. 53-61.

Álvarez, C (2016). Bases prácticas de la alimentación del ganado de lidia. En: Curso Teórico-Práctico Estrategias prácticas de manejo de la alimentación del ganado bovino extensivo (Lidia). Facultad de Veterinaria de León, 6-8 Mayo.

Arriola J (1998). Acidosis ruminal en el toro de lidia (I). Revista Toro Bravo 13: 30-33.

Bach A (2003). Trastornos ruminales en vacuno lechero: un enfoque práctico. Producción Animal 18(191):13-33.

Bacha F (2002). Nutrición, patología digestiva y salud intestinal de rumiantes en cebo: aspectos prácticos. XVIII Curso de Especialización FEDNA: Avances en Nutrición y Alimentación Animal. Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal. Barcelona, España 4 y 5 de Noviembre de 2002, pp. 141-159.

Bartolomé DJ (2009). Influencia de la acidosis ruminal en el síndrome de caída y la respuesta etológica del toro de lidia en la plaza. Tesis doctoral. Universidad de León.

Blanch M (2009). Estudio de la acidosis ruminal y nuevas estrategias de prevención. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de Barcelona.

Bregante MA, Morales RM, Capó M, Ballesteros E (1982). Datos sobre la alimentación del toro de lidia. Avances en Alimentación y Mejora Animal 23: 513-514.

Caballero de la Calle JR, López Fuentes, F (2005). Análisis de la evolución del crecimiento del toro de lidia en la fase de acabado. Libro de Actas del V Congreso Mundial de Veterinaria Taurina 11 al 13 de Mayo, Valladolid, España, pp. 106-109.

Calsamiglia S, Ferret A (2003). Fisiología ruminal relacionada con la patología digestiva: acidosis y meteorismo. Producción Animal 18(192): 2-23.

Cañón J, Tupac-Yupanqui I, García-Atance MA, Cortés O, García D, Fernández J, Dunners S (2008). Genetic variation within the Lidia bovine breed. Animal Genetics 39: 439-445. https://doi.org/10.1111/j.1365-2052.2008.01738.x

Carbonell A, Gómez A (2001). La alimentación del toro de lidia. Aplicación en la ganadería de "Jaralta". Colección: Ganadería – Serie Alimentación Animal. Ed. Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía, España. 78 pp.

Carmona A (1994). Técnicas modernas en la alimentación del toro de lidia. I Congreso Mundial Taurino de Veterinaria, 1, 2 y 3 de diciembre, Zaragoza, España, pp. 47-58.

Cerrato-Sánchez M, Calsamiglia S (2006). Acidosis ruminal y estrategias de prevención en vacuno lechero. Producción Animal 21(220): 66-76.

Coe ML, Nagaraja TG, Sun YD, Wallace N, Towne EG, Kemp KE, Hutcheson JP (1999). Effect of virginiamycin on ruminal fermentation in cattle during adaptation to a high concentrate diet and during an induced acidosis. Journal of Animal Science 77(8): 2259-2268. https://doi.org/10.2527/1999.7782259x

Compan H, Arriola J (1998). Acidosis ruminal en el toro de lidia (III). Revista Toro Bravo 15: 30-33.

Cruz J (1991). El toro de lidia en la biología, en la zootecnia y en la cultura. Ed. Junta de Castilla y León, Consejería de Agricultura y Ganadería. Valladolid. 198 pp.

Domecq A (1985). El toro bravo. Teoría y práctica de la bravura. Colección La Tauromaquia 2. Ed. Espasa Calpe. Madrid, España. 474 pp.

Domecq B (2009). Lidia del toro en la plaza. La ficha ganadera. Revista 6 Toros 6 706: 18-21.

Escalera F (2011). Indicadores sanguíneos y su relación con el síndrome de caída en el toro bravo durante la lidia. Tesis doctoral. Universidad de León.

Fernández A (2012). Alimentación práctica del ganado de lidia. En: VIII Jornadas sobre Ganado de Lidia. 23 y 24 de noviembre, Universidad Pública de Navarra. Pamplona, España, pp. 25-39.

Fernández de Gatta JA (2013). Mejora de una explotación de vacuno de lidia en el término municipal de Monterrubio de la Sierra (Salamanca). Proyecto Fin de Carrera. Facultad de Ciencias Agrarias y Ambientales. Universidad de Salamanca.

Fernández-Salcedo L (1993). El Toro Bravo. Sección de Publicaciones, Prensa y Propaganda del Ministerio de Agricultura. Valencia, España. 67 pp.

Fernández-Sanz J (2005). Evolución de las explotaciones ganaderas. En: Un siglo de toros 1905-2005. (Ed. Unión de Criadores de Toros de Lidia) pp. 127-159, Madrid, España.

García IR, Pizarro M, Mazzucchelli F, Parrilla G (2011). Bases de alimentación del ganado bravo en situaciones de escasez o fincas poco productivas. Cría y Salud 35: 54-61.

García JJ, Posado R, Hernández R, Vicente A, Olmedo S, Rodríguez L (2007). Estudio socioeconómico de los ganaderos de lidia de Castilla y León. Ed.: Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León. Valladolid, España. 78 pp.

García JJ, Posado R, Zúñiga J, Tabernero de Paz M, Bodas R (2016). Monitoring rumen environment in finishing Lidia bulls. Revista MVZ Córdoba 21(2): 5355-5366.

García-Fernández J (1958). La precocidad del ganado bravo. Ganadería 183: 438-611.

García-González R, López S, Fernández M, González JS (2005). Effects of the addition of some medicinal plants on methane production in a rumen simulating fermenter. En: 2nd International Conference on Greenhouse Gases and Animal Agriculture, Zurich, Suiza, pp. 444-447.

Gentile A, Rademarcher G, Klee W (1997). Acidosi ruminale fermentativa nel vitello lattante. Obiettivi & Documenti Veterinari 12: 63-75.

Ghorbani GR, Morgavi DP, Beauchemin KA, Leedle JAZ (2002). Effects of bacterial direct-fed microbials on ruminal fermentation, blood variables, and the microbial populations of feedlot cattle. Journal of Animal Science 80: 1977-1985. https://doi.org/10.2527/2002.8071977x

Gómez-Báez D (1960). El toro de lidia. Trabajo de la Cátedra de Zootecnia II, dirigido por el Dr. Sarazá Ortiz. Universidad de León.

Gómez-Peinado A (2001). Acidosis ruminal y su incidencia en la lidia. Libro de ponencias de las II Jornadas sobre Ganado de Lidia, 23 y 24 de febrero, Universidad Pública de Navarra. Pamplona, España, pp. 137-147.

González E, Aguado JA (1990). Aspectos productivos y económicos. Mundo Ganadero 4: 69: 71.

González LA, Manteca X, Calsamiglia S, Schwartzkopf-Genswein KS, Ferret A (2012). Ruminal acidosis in feedlot cattle: Interplay between feed ingredients, rumen function and feeding behavior (a review). Animal Feed Science and Technology 172(1-2): 66-79. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.12.009

INRA (2018). INRA Feeding System for Ruminants. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, the Netherlands, 640 pp. https://doi.org/10.3920/978-90-8686-292-4

Jimeno V, Majano MA, Mazzucheli, F, Mirat F (2003). Patologías nutritivas en la terminación del toro de lidia. Libro Symposium del Toro Lidia. 24, 25 de octubre, Zafra, España, pp. 51-61.

Jimeno V, Mazzuchelli F, Parrila G, García I (2005). Gestión de la alimentación del ganado de lidia. Del nacimiento a utrero. Mundo Ganadero 177: 52-56.

Kleen JL, Hooijer GA, Rehage J, Noordhizen JPTM (2003). Subacute Ruminal Acidosis (SARA): A Review. Journal of Veterinary Medicine Series A 50: 406-410. https://doi.org/10.1046/j.1439-0442.2003.00569.x

Kung L, Hession AO (1995). Preventing in vitro lactate accumulation in ruminal fermentations by inoculation with *Megasphaera elsdenii*. Journal of Animal Science 73: 250-256. https://doi.org/10.2527/1995.731250x

Krehbiel CR, Rust SR, Zhang G, Gilliland SE (2003). Bacterial direct-fed microbials in ruminant diets: performance response and mode of action. Journal of Animal Science 81(2): 120-132. https://doi.org/10.2527/2003.8114_suppl_2E120x

Lomillos JM (2012). Aplicación de nuevas tecnologías a la caracterización, cría y manejo de ganado vacuno de lidia. Tesis doctoral. Universidad de León.

Lomillos JM, Alonso ME, Gaudioso V (2013). Análisis de la evolución del manejo en las explotaciones de toro de lidia. Desafíos del sector. ITEA-Información Técnica Económica Agraria 109(1): 49-68.

Lomillos JM, Alonso ME, González JR, Gaudioso, VR (2017). Effect of feeding management on the structure of the Lidia bull ruminal mucosa. Revista Científica (27)5: 310-318.

Martín-Orue SM, Balcells J, Vicente F, Castrillo C (2000). Influence of dietary rumen-degradable protein supply on rumen characteristics and carbohydrate fermentation in beef cattle offered high-grain diets. Animal Feed Science and Technology 88: 59-77. https://doi.org/10.1016/S0377-8401(00)00191-7

Martin SA (1998). Manipulation of ruminal fermentation with organic acids: a review. Journal of Animal Science 76(12): 3123-3132. https://doi.org/10.2527/1998.76123123x

McDonald P, Edwards RA, Greenhalgh JFD, Morgan CA (2006). Nutrición animal 6ª Ed. Acribia. Zaragoza, España, 604 pp.

McFarlane WV, Howard B (1972). Comparative water and energy economy of wild and domestic animals. Symposia of the Zoological Society of London 31: 261-296.

MECD (2018) Estadística de asuntos taurinos 2013-2017. Subdirección General de Estadística y Estudios, Secretaría General Técnica. Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

MAPAMA (2018a). Sistema Nacional de Información de Razas (ARCA). Censos 2017. Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente. URL: https://www.mapa.gob.es/es/ganaderia/temas/zootecnia/razas-ganaderas/razas/catalogo/autoctona-fomento/bovino/lidia/iframe-ejemplo-arca.aspx Consultado 27/05/2019

MAPAMA (2018b). Estudio del sector español de vacas nodrizas. Datos SITRAN. Subdirección General de Productos Ganaderos, Dirección General de Producciones y Mercados Agrarios. URL: http://www.upa.es/upa/_depot/_documentos/86961412cf316141519223974.pdf Consultado 27/05/2019

Mora H (1979). Influencia de la ecología sobre el toro de lidia. Avances en Alimentación y Mejora Animal 20(5): 3-6.

Mutsvangwa T, Walton JP, Plaizier JC, Duffield TF, Bagg R, Dick P, Vessie G, McBride BW. (2002). Effects of a monensin controlled-release capsule or premix on attenuation of subacute ruminal-acidosis in dairy cows. Journal of Dairy Science 85(12): 3454-3461. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(02)74433-0

Nocek JE (1997). Bovine acidosis: implications on laminitis. Journal of Dairy Science 80: 1005-1028. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(97)76026-0

Nordlund KV, Garret EF, Oetzel GR (1995). Herd-based rumenocentesis: a clinical approach to the diagnosis of subacute rumen acidosis. Compendium on Continuing Education for the Practising Veterinarian 17: 48-56.

Owens FN, Secrist DS, Hill WJ, Gill DR (1998). Acidosis in cattle: a review. Journal Animal Science 76: 275-286. https://doi.org/10.2527/1998.761275x

Pereira V, Vázquez P, Hernández J, Castillo C, Méndez J, López-Alonso M, Benedito JL (2006). Patogenia e implicaciones clínicas del síndrome acidótico en terneros de cebo. Producción Animal 21(221): 22-35.

Pereira V, Rodríguez R, Orjales I, Chapel JM, Domínguez R, Vázquez P (2016). Empleo de prebióticos y probióticos en alimentación de rumiantes. Sitio Argentino de Producción Animal. Consultado 27/05/2019 URL: http://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/invernada_promotores_crecimiento/96-Empleo_prebioticos.pdf

Purroy A, Mendizábal JA (1996). Manejo de la alimentación en el ganado de lidia. En Zootecnia, Bases de Producción Animal: Producciones Equinas y de Ganado de Lidia. Tomo XI (Ed. Buxadé C) pp. 281-294. Mundiprensa

Purroy A, Azpilicueta G, Alzón M (2003). La alimentación en el ganado de lidia. Libro de ponencias de las III Jornadas sobre Ganado de Lidia, 21 y 22 de febrero, Universidad Pública de Navarra, Pamplona, España, pp. 123-148.

BOE (1996). Real Decreto 145/1996, de 2 de febrero, por el que se modifica y da nueva redacción al Reglamento de Espectáculos Taurinos. Boletín Oficial del Estado, núm. 54, de 02 de marzo de 1996.

Rodríguez-Medina PL (1993). La alimentación del ganado de lidia. Libro del I Symposium del Toro de Lidia, 22 y 23 de octubre, Zafra, Badajóz, España. pp. 79-99.

Rodríguez-Montesinos A (2002). Prototipos raciales del vacuno de lidia. Ed. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid, España, 270 pp.

Rodríguez-Montesinos A (2005). La raza de lidia en Castilla y León. Colección Mundo Rural. Ed: Consejería de Agricultura y Ganadería de la Junta de Castilla y León. 333 pp.

Romagosa JA (1977). Las caídas del toro durante la lidia. Ed. Pons, Madrid, España, 287 pp.

Roquet J (2005). Alimentación de terneros sin monensina. Aspectos prácticos. Buiatría Española 10(1): 33-43.

Ruiz C (2005). La evolución: el toro disperso, el toro reunido, el toro bravo. En: Un siglo de toros 1905-2005 (Ed: Unión de Criadores de Toros de Lidia (UCTL)) pp. 82-107, Madrid, España.

Sánchez-Belda A (1979). Factores que encarecen la producción de la raza de lidia. Avances en Alimentación y Mejora Animal 20(5): 9-12.

Sauvant D, Meschy F, Mertens D (1999). Les composantes de l'acidose ruminale et les effets acidogènes des rations. INRA Productions Animales 12(1): 49-60.

Stone WC (2004). Nutritional approaches to minimize subacute ruminal acidosis and laminitis in dairy cattle. Journal of Dairy Science 87: E13-E26. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)70057-0

Sudweeks EM, Ely LO, Mertens DR, Sisk LR (1981). Assessing minimum amounts and form of roughages in ruminant diets: roughage value index system. Journal of Animal Science 53: 1406-1411. https://doi.org/10.2527/jas1981.5351406x

Uruñuela E (1962). La Dama taurina de Abando. Ochenta años de historia (1882-1961). Ed: Talleres Gráficos Santa y Real Casa de Misericordia, Bilbao España. 1026 pp.

Varga GA, Dann HM, Ishler VA (1998). The use of fibre concentrations for ration formulation. Journal of Dairy Science 81: 3063-3074. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(98)75871-0

Vázquez P, Pereira V, Hernández J, Castillo C, Méndez J, López-Alonso M, Benedito JL (2005). Acidosis crónica en terneros: nuevas pautas de prevención. Producción Animal 20(216): 4-15.

Wang Y, McAllister TA, Yanke LJ, Cheeke PR (2000). Effect of steroidal saponin from *Yucca schidigera* extract on ruminal microbes. Journal of Applied Microbiology 88: 887-896. https://doi.org/10.1046/j.1365-2672.2000.01054.x

Waldrip HM, Martin SA (1993). Effects of an *Aspergillus oryzae* fermentation extract and other factors on lactate utilization by the ruminal bacterium *Megasphaera elsdenii*. Journal of Animal Science 71: 2770-2776. https://doi.org/10.2527/1993.71102770x

Wallace RJ, Colombatto D, Robinson PH (2008). Enzymes, direct-fed microbials and plant extracts in ruminant nutrition. Animal Feed Science and Technology 145: 1-4. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2007.07.006

Yang WZ, Xu L, Zhao YL, Chen LY, McAllister TA (2014). Impact of hard vs. soft wheat and monensin level on rumen acidosis in feedlot heifers. Journal of Animal Science 92(11): 5088-5098. https://doi.org/10.2527/jas.2014-8092

(Aceptado para publicación el 27 de mayo de 2019)

PREMIOS DE PRENSA AGRARIA 2019 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 2019. 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) Directora 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.

Si desea Vd. pertenecer a la Asociación debe rellenar esta ficha de inscripción y la siguiente hoja sobre Protección de datos.

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 (Ibercaja, Ag. 156, Fernando el Católico 59, 50006 Zaragoza, nº ES65-2085-5202-7903-3053-6630) por el importe de la couta 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 (COUTA ANUAL: 50 EUROS)

	Cargo a cuenta corriente (rellenar la domiciliación bancaria)
	Transferencia a la cuenta de AIDA ES65-2085-5202-7903-3053-6630 (adjuntar comprobante)

DOMICILIACION BANCARIA

Sr. Director del Banco/Caja

Muy Sr. mío,

Ruego a Vd. se sirva adeudar en la siguiente cuenta corriente (IBAN: 24 caracteres)

que mantengo en esa oficina, el recibo anual que será presentado por la **Asociación Interprofesional para el Desarrollo Agrario (AIDA).**

Atentamente,

En _____ , a ___ de _____ de 20__ Firmado:	Sello de la Entidad:

PROTECCIÓN DE DATOS

ASOCIACIÓN INTERPROFESIONAL PARA EL DESARROLLO AGRARIO, de ahora en adelante AIDA, le informa de que los datos facilitados durante su relación con la Asociación serán tratados para gestionar el alta de socio, así como para las gestiones administrativas de la Asociación. La base legal para el tratamiento de sus datos es la relación contractual y su consentimiento. Sus datos podrán ser cedidos a las entidades que sea necesarias para el cumplimiento de nuestras obligaciones legales, y si así lo autoriza, a las empresas colaboradoras de la Asociación. Tiene derecho a acceder, rectificar, suprimir, oponerse al tratamiento de sus datos, así como retirar el consentimiento prestado y pedir su portabilidad.

AUTORIZACIONES

- ❑ * – Autoriza a que AIDA le envíe información a través de medios postales y/o electrónicos (correo electrónico, SMS, etc.) sobre noticias de la asociación, así como información de servicios de sus patrocinadores y/o colaboradores.
- – Autoriza a que AIDA pueda facilitar sus datos de contacto a las empresas patrocinadoras o colaboradoras con fines comerciales. ❑ Sí ❑ No *

* Debe responder a estar cuestiones obligatoriamente.

Por último, en aras a dar cumplimiento al Reglamento (UE) 2016/679 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 27 de abril de 2016, relativo a la protección de las personas físicas en lo que respecta al tratamiento de datos personales y a la libre circulación de estos datos, y siguiendo las Recomendaciones e Instrucciones emitidas por la Agencia Española de Protección de Datos (A.E.P.D.),

SE INFORMA

- Los datos de carácter personal solicitados y facilitados por usted, son incorporados un fichero de titularidad privada cuyo responsable y único destinatario es AIDA, con domicilio en Avenida Montañana, no 930, 50059 - Zaragoza.
- Solo serán solicitados aquellos datos estrictamente necesarios para prestar adecuadamente los servicios solicitados, pudiendo ser necesario recoger datos de contacto de terceros, tales como representantes legales, tutores, o personas a cargo designadas por los mismos.
- Todos los datos recogidos cuentan con el compromiso de confidencialidad, con las medidas de seguridad establecidas legalmente, y bajo ningún concepto son cedidos o tratados por terceras personas, físicas o jurídicas, sin el previo consentimiento del socio, tutor o representante legal, salvo en aquellos casos en los que fuere imprescindible para la correcta prestación del servicio.
- Una vez finalizada la relación entre la Asociación y el socio, los datos seguirán archivados y conservados mientras sean necesarios para dar cumplimiento a las obligaciones legales o, en su defecto, serán devueltos íntegramente al socio (o autorizado legal) o suprimidos si así se solicita por su parte.
- Los datos que facilito serán incluidos en el Tratamiento denominado Socios de AIDA, con la finalidad de gestión del alta de socio, la gestión del servicio contratado, pago de cuotas, contacto, etc., y todas las gestiones relacionadas con los socios y manifiesto mi consentimiento.
- Tiene derecho a acceder a sus datos personales, a solicitar su rectificación, cancelación y oposición, indicándolo por escrito a AIDA con domicilio en Avenida Montañana, no 930, 50059 – Zaragoza, o al correo electrónico de la Asociación: administracion@aidaitea.org.
- Los datos personales serán cedidos por AIDA a las entidades que prestan servicios a la misma siempre que sea estrictamente necesario para llevar a cabo los servicios ofrecidos por la Asociación. Igualmente, sus datos serán cedidos si existe una obligación legal.

Nombre y apellidos del Socio:

DNI:

Representante legal (si lo hubiere):

DNI:

En _____ , a ___ de _____de 20___

FIRMA DEL SOCIO:

NORMAS PARA LOS AUTORES (actualizado febrero de 2019)

La revista ITEA es una publicación internacional indexada en las bases de datos de revistas científicas. La revista se publica en español en 4 números (marzo, junio, septiembre y diciembre) por año. De acuerdo con los fines de la Asociación Interprofesional para el Desarrollo Agrario (AIDA), ITEA publica artículos que hagan referencia a la Producción Vegetal, Producción Animal y Economía Agroalimentaria. Se aceptan contribuciones en formato de nota técnica, artículo de revisión o artículo de investigación. El envío de un artículo implicará que el mismo no haya sido publicado o enviado para publicar en cualquier otro medio de difusión o idioma y que todos los coautores aprueben dicha publicación. Los derechos sobre todos los artículos o ilustraciones publicados serán propiedad de ITEA, que deberá recibir por escrito la cesión o copyright, una vez aceptado el artículo. La publicación de un artículo en ITEA no implica responsabilidad o acuerdo de ésta con lo expuesto, significando solamente que el Comité de Redacción lo considera de suficiente interés para ser publicado.

A partir del 1 de marzo de 2019, para publicar un artículo en la revista ITEA es necesario que al menos uno de los autores sea socio de AIDA, o en su caso los autores del artículo deberán abonar la cantidad de 50 euros cuando el artículo sea aceptado para su publicación en la revista ITEA. Puede consultar cómo hacerse socio de AIDA en http://www.aida-itea.org/index.php/sobre-nosotros/hacerse-socio.

1. Envío de manuscritos y evaluación

Los manuscritos originales, en español, se enviarán a través de la página web de AIDA (http://www.aida-itea.org/index.php/revista/revista-envio). Para ello, los autores deberán registrarse en la aplicación, y seguir las indicaciones pertinentes. El manuscrito se enviará como un único documento Word, incluyendo las tablas y figuras al final del mismo. Los autores deberán incluir en archivo independiente una carta de presentación en la que figure el título, los autores y un listado con 4 potenciales revisores (nombre completo, dirección postal y correo electrónico), que no deberán estar en conflicto de intereses con los autores o el contenido de manuscrito, en cuyo caso el Comité Editorial podrá negarse a colaborar con dichos revisores.

Los manuscritos que no cumplan las normas para autores serán devueltos para su rectificación. El editor correspondiente remitirá el manuscrito a como mínimo 2 revisores que conocerán la identidad de los autores, no así al contrario. Una vez aceptados por el editor, los manuscritos serán revisados por el editor técnico.

Los autores deberán modificar el manuscrito teniendo en cuenta las modificaciones sugeridas por los editores y revisores. La decisión final se comunicará a los autores, que, en caso de solicitarse, deberán modificar el artículo en el plazo de 1 mes desde su comunicación, antes de que sea aceptado definitivamente. Los autores deberán enviar el manuscrito corregido indicando los cambios realizados (por ejemplo, con la función de control de cambios activada), y deberán adjuntar una carta de respuesta a los evaluadores y editores con los cambios realizados. En caso de desacuerdo, los autores deberán justificar al editor debidamente su opinión. Una vez recibidas las pruebas de imprenta del manuscrito, los autores deberán devolver dicho manuscrito corregido en el plazo de 1 semana. Si el editor no recibe una respuesta por parte de los autores tras 1 mes el artículo será rechazado.

2. Tipos de manuscritos

En la revista ITEA se contemplan tres tipos de manuscritos. Los autores deberán expresar qué tipo de formato han escogido:

– **Los artículos de investigación** tendrán una extensión máxima de 30 páginas con el formato indicado en el siguiente punto. Los apartados de los que constarán son: Introducción, Material y métodos, Resultados, Discusión (o bien, Resultados y Discusión de forma conjunta), Conclusiones y Referencias bibliográficas (ver especificaciones en los siguientes apartados), tablas y figuras.

– **Las notas técnicas,** referidas a trabajos experimentales de extensión reducida, no excederán de 2000 palabras, incluidas Tablas y/o Figuras.

– **Las revisiones bibliográficas** serán una evaluación crítica de una temática que exponga los resultados de otros trabajos, el estado actual de los conocimientos en esa temática y tratará de identificar nuevas conclusiones y áreas de investigación futuras. La extensión máxima será de 35 páginas. Los apartados de los que constarán son: Introducción, seguida de los apartados que consideren oportunos los autores, Conclusiones y Bibliografía; tablas y figuras si los autores lo consideran oportuno.

3. Preparación del manuscrito

Todos los manuscritos se presentarán en hojas de tamaño DIN A4 con márgenes de 2,5 cm y numeración de líneas continua. Se utilizará interlineado doble, fuente Times New Roman tamaño 12 (también en tablas y figuras). Las referencias bibliográficas, tablas y figuras se presentarán al final del documento en hojas separadas (una hoja por tabla y/o figura).

Todos los manuscritos incluirán, en la primera página:

Título: será lo más conciso posible. No incluirá fórmulas químicas (excepto símbolos químicos para indicar isótopos) y se evitarán las abreviaturas. El formato del título será en negrita y formato tipo oración.

Apellido de los autores, precedido de las iniciales del nombre, e indicando con un asterisco el autor para correspondencia. Los autores penúltimo y último irán separados por una "y". En caso de que pertenezcan a distintas instituciones, señalar a cada autor con números superíndices diferentes. Si un autor desea aparecer con dos apellidos, éstos deberán unirse con un guión.

Dirección postal profesional de los autores. Si se desea indicar la dirección actual, deberá escribirse con una letra minúscula como superíndice.

Correo electrónico del autor a quien se va a dirigir la correspondencia.

Ejemplo:

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

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

*autor para correspondencia: gpardos@aragon.es

El manuscrito incluirá a continuación:

Resumen, que deberá tener un máximo de 250 palabras, e incluirá brevemente los objetivos del trabajo, la metodología empleada, los resultados más relevantes y las conclusiones. Se evitará el uso de abreviaturas.

Palabras clave, un máximo de 6, evitando las ya incluidas en el título.

En inglés: Título del artículo, Resumen, Palabras clave

4. Apartados del manuscrito

El formato de títulos de los apartados será en negrita, el del primer sub-apartado en negrita y cursiva, y el siguiente nivel en cursiva.

- **Introducción**: deberá explicar la finalidad del artículo. El tema se expondrá de la manera más concisa posible, indicando al final los objetivos del trabajo.
- **Material y métodos**: deberá aportar la información necesaria que permita la réplica del trabajo, incluyendo el nombre del fabricante de productos o infraestructuras utilizadas. Los manuscritos deberán incluir una descripción clara y concisa del diseño experimental y de los análisis estadísticos realizados. Se indicará el número de individuos/muestras, valores medios y medidas de variabilidad iniciales.
- **Resultados**: los resultados se presentarán en Tablas y Figuras siempre que sea posible. No se repetirá en el texto la información recogida en las Figuras y Tablas. Se recomienda presentar el valor de significación para que el lector pueda disponer de información más detallada. Puede redactarse de forma conjunta con el apartado de discusión.
- **Discusión**: deberá interpretar los resultados obtenidos, teniendo en cuenta además otros trabajos publicados. Se recomienda utilizar un máximo de 4 referencias para apoyar una afirmación en la discusión, exceptuando en las revisiones.
- **Conclusiones**: a las que se han llegado, así como las posibles implicaciones prácticas que de ellas puedan derivarse (aproximadamente 200 palabras).
- **Agradecimientos**: deberá mencionarse el apoyo prestado por personas, asociaciones, instituciones y/o fuentes de financiación del trabajo realizado.
- **Referencias bibliográficas**: sólo se citarán aquellas referencias relacionadas con el trabajo o que contribuyan a la comprensión del texto. Como máximo se podrán utilizar 40 citas en los artículos de investigación, y 60 en las revisiones bibliográficas. En el manuscrito, se mantendrá el orden cronológico en caso de citar varios autores. Las **citas en el texto** deben hacerse siguiendo los siguientes ejemplos:

  *un autor (Padilla, 1974)

  *dos autores (Vallace y Raleigh, 1967)

  *más de 3 autores: (Vergara *et al.*, 1994)

  *mismos autores con varios trabajos (Martín *et al*., 1971 y 1979)

  *autores con trabajos del mismo año: Prache *et al*. (2009a,b)

  *Si la cita forma parte del texto: "como indicaban Gómez *et al*. (1969)"

  *Leyes y reglamentos: (BOE, 2005) o BOE(2005) si forma parte del texto

Los nombres de entidades u organismos que figuren como autores, por ejemplo Dirección General de la Producción Agraria (DGPA), deberán citarse completos en el texto la primera vez.

Al final del trabajo se referenciarán en orden alfabético, por autor, todas las citas utilizadas en el texto. En caso de más de una referencia de un mismo autor principal, se mantendrá el orden cronológico entre ellas. Se podrán citar trabajos "en prensa", siempre que hayan sido aceptados para su publicación. En casos excepcionales, se aceptarán menciones como "Comunicación personal" o "Resultados no publicados", aunque no constarán entre las referencias bibliográficas. Se indican a continuación ejemplos de **referencias bibliográficas**:

Artículo

Blanc F, Bocquier F, Agabriel J, D'Hour P, Chilliard Y(2006). Adaptative abilities of the females and sustainabilityof ruminant livestock systems. A review. AnimalResearch 55: 489-510. https://doi.org/10.1051/animres:2006040.

Capítulo de libro

Verlander JW (2003). Renal physiology. En: Textbook of Veterinary Physiology (Ed. Cunningham JG), pp. 430-467. W.B. the Saunders Company, an Elsevier imprint.

Libro

AOAC (1999). Official Methods of Analysis, 16th. Ed. AOAC International, MD, EE. UU. 1141 pp.

Acta de congreso

Misztal I (2013). Present and future of genomic selection at the commercial level. Book of Abstracts of the 64th Annual Meeting of the EAAP, 20-30 de agosto, Nantes, Francia, pp. 100. https://doi.org/.3920/978-90-8686-782-0.

Fuente electrónica

FAOSTAT (2011). Food and Agriculture Organization statistical database. Disponible en:
http://faostat.fao.org/default.aspx
(Consultado: 30 enero 2012).

Documento oficial

MARM (2009). Anuario de estadística agroalimentaria y pesquera 2007. Subsecretaría General Técnica, Ministerio de Medio Ambiente, Medio rural y Marino, 937 pp.

Leyes / Reglamentos

BOE (2005). Real Decreto 368/2005, de 8 de abril, por el que se regula el control oficial del rendimiento lechero para la evaluación genética en las especies bovina, ovina y caprina. Boletín Oficial del Estado, núm. 97, de 23 de abril de 2005, pp. 13918-13937

Indicar la URL del DOI, en las referencias que dispongan del mismo, al final del resto de datos de la referencia. Ejemplo: Albaladejo-García JA, Martínez-Paz JM, Colino J (2018). Evaluación financiera de la viabilidad del uso del agua desalada en la agricultura de invernadero del Campo de Níjar (Almería, España). ITEA-Información Técnica Económica Agraria 114(4): 398-414. https://doi.org/10.12706/itea.2018.024.

- **Tablas y Figuras**: su número se reducirá al mínimo necesario, y los datos no deberán ser presentados al mismo tiempo en forma de tabla y de figura. Se recomienda un tamaño de 8 o 16 cm. Las tablas y figuras llevarán numeración diferente y deberán estar citadas en el texto. Sus encabezamientos deberán redactarse de modo que el sentido de la ilustración pueda comprenderse sin necesidad de acudir al texto. Los encabezamientos y pies de figuras deberán aparecer en español e inglés (en cursiva).

Para el diseño de las tablas sólo se usarán filas y columnas, no se usarán tabulaciones ni saltos de línea. No se utilizarán líneas verticales entre columnas ni horizontales entre filas. Sólo se separarán con líneas horizontales los títulos.

Ejemplo de tabla:

Tabla 3. Tarjetas de productos hipotéticos expuestos a los encuestados

Table 3. Hypothetical products cards shown to those surveyed

Nº Tarjeta	Precio €/kg	Tipo de carne	Origen	Sistema
1	22	Lechal	Nacional	Convencional
2	22	Cebo	Extranjero	Ecológico
3	18	Lechal	CLM	Ecológico
4	18	Ternasco	Extranjero	Convencional

Fuente: Diaz *et al.* (2013)

Las figuras se presentarán con la mayor calidad posible. Se podrán presentar en blanco y negro o en color. Los dibujos, gráficos, mapas y fotografías se incluirán como figuras. Para mayor claridad se recomienda el uso, en primer lugar, de líneas continuas; en segundo lugar, de puntos; y en último lugar, de rayas. Se recomienda el uso de símbolos □, ■, ○, ●, Δ, ▲, , ♦, +, y ×. No utilizar líneas de división horizontales en el gráfico. Incluir barras de error cuando no entorpezcan la interpretación de la figura. En los ejes figurarán las unidades de las medidas referidas (entre paréntesis o separadas por coma). El número de la figura y su leyenda se indicarán en la parte inferior de la misma. Si las figuras se confeccionan con un programa distinto de los del paquete Office deberán ser de una calidad de 300 píxeles por pulgada o superior o escalable. Se enviarán las fotografías por separado como archivos de imagen (jpg, tiff o similar) con una resolución final de al menos 300 píxeles por pulgada.5.

5. Normas de estilo

- Se aplicará el Sistema Internacional de Unidades.
- Los decimales se indicarán en español con una coma (,) y en inglés con un punto (.).
- Las abreviaturas se definirán la primera vez que se citen en el texto.
- Las frases no podrán comenzar con una abreviatura o un número.
- Los nombres de hormonas o productos químicos comenzarán con minúsculas (sulfato de metilo, en vez de Sulfato de Metilo).
- Las fórmulas químicas se nombrarán según las normas IUPAC (p. ej. H_2SO_4 en vez de SO_4H_2) y los nombres comerciales comenzarán con mayúscula (p.ej. Foligón). En el caso de iones, debe indicarse el signo (p. ej. NO_3^-, SO_4^{2-})
- Los nombres científicos de organismos vivos (botánicos, microbiológicos o zoológicos) deberán incluir en su primera cita la denominación completa de género, especie y del autor. En siguientes apariciones se abreviará el género con la inicial del mismo y se mantendrá el nombre de la especie. Ejemplo: *Papaver rhoeas* L. y posteriormente, *P. rhoeas*.
- Los nombres latinos de géneros, especies y variedades se indicarán en cursiva y los nombres de cultivares entre comillas simples (p. ej. 'Sugar Baby').
- Las llamadas en nota a pie de página o cuadro deberán ser las menos posibles y, en todo caso, se indicarán mediante números correlativos entre paréntesis (p. ej. (1), (2), evitando el uso de asteriscos, letras o cualquier otro signo).
- Los niveles de significación estadística no necesitan explicación (* = P<0,05; ** = P<0,01; ***= P<0,001; NS = no significativo).

Volumen 115
Número 4
Dciembre 2019

itea

información técnica económica agraria

www.aida-itea.org

REVISTA DE LA ASOCIACIÓN INTERPROFESIONAL PARA EL DESARROLLO AGRARIO

2019 CALIDAD REVISTAS CIENTIFICAS ESPAÑOLAS
FECYT
Nº DE CERTIFICADO: FECYT-159/2019
FECHA DE CERTIFICACIÓN: 6 de octubre 2014 (4ª convocatoria)
ESTA CERTIFICACIÓN ES VÁLIDA HASTA EL: 12 de julio 2020