itea

información técnica económica agraria

REVISTA DE LA ASOCIACIÓN INTERPROFESIONAL PARA EL DESARROLLO AGRARIO



Volumen 116

Número 4

Noviembre 2020

aida-itea.org

itea

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

2020- AÑO LI Vol. 116 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: José Manuel Alonso, CITA de Aragón. España
Javier Álvarez, Universidad de Lleida. España
Alicia Cirujeda, CITA de Aragón. España
Paula Gaspar, Universidad de Extremadura. España
Gabriel Pardo, CITA de Aragón. España
Helena Resano, IA2-Universidad de Zaragoza. 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: Alfonso Abecia, Universidad de Zaragoza. España.
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 y EBSCO. 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: J.M. García Ruíz

Perspectiva del Somontano de Barbastro
A los pies del Prepirineo aragonés se extiende un territorio relativamente accidentado a modo de piedemonte que recibe el nombre de Somontano, sobre un sustrato rocoso dominado por la presencia de areniscas y arcillas que han producido suelos fértiles, bien drenados y soleados. Es un excelente ejemplo de la capacidad de adaptación de las sociedades humanas a la heterogeneidad espacial. Tradicionalmente estos territorios han formado parte de la clásica trilogía mediterránea, con cereales, vid y cultivos arbóreos, especialmente el olivo, dando lugar a un paisaje complejo y bien aprovechado en el que algunas zonas marginales desde un punto de vista agrícola se dejaban a los encinares. En la actualidad, parte de esas características se siguen manteniendo, aunque el mercado y la necesidad de especialización han condicionado la expansión reciente del viñedo, sobre todo en el Somontano de Barbastro, donde la calidad ambiental y los cuidados humanos producen algunos de los mejores vinos mediterráneos. Cuando los viñedos quedan altitudinalmente por debajo del Canal del Cinca es posible el riego por goteo, para aumentar la producción y controlar el grado alcohólico. Persisten aún restos de los antiguos encinares, que dan complejidad a un paisaje humanizado en el que cereales, almendros y olivos ocupan superficies más reducidas.

Sumario

Producción Vegetal

Crecimiento y absorción total nutrimental de lechuga romana tipo baby cultivada con iluminación led bajo sistema fábrica de plantas.
Growth and total nutrimental absorption of baby romaine lettuce cultivated with led lighting under plant factory system.
V.H. Avendaño-Abarca, D.C. González-Sandoval, J.P. Munguía-López, R. Hernández-Cuevas, A.I. Luna-Maldonado, J.A. Vidales-Contreras, G. Niño-Medina y H. Rodríguez-Fuentes 280

Producción Animal

Uso potencial de extractos de Creosote bush (*Larrea tridentata*) como desinfectante sobre *Salmonella typhimurium* en instalaciones avícolas.
Potential use of Creosote bush extract as disinfectant on Salmonella typhimurium *for broiler pens.*
S. López-Aguirre, J.M. Pinos-Rodríguez, G. Álvarez-Fuentes, J.C. García-López y H. Méndez-Cortes 294

La actividad sexual de corderos a los ocho meses de edad como predictor de su actividad sexual adulta.
Sexual activity of eight-month old ram-lambs as a tool to predict adult sexual activity.
J.A. Abecia, C. Ferreira y M. Carvajal-Serna 306

Emisiones en la producción de forrajes de las explotaciones lecheras.
Emissions in forage production of dairy farms.
G. Salcedo 311

Nuevas alternativas en la alimentación del cerdo Ibérico: uso de la avellana Gevuína.
New alternatives in Iberian pig feeding: use of hazelnut Gevuina.
M.P. Serrano, N. Ruiz-de Dulanto y A.I. Rey 338

Economía Agraria

La sucesión agrícola de unidades de producción del centro de México.
Farm succession of family farms in Mexico center.
A. Romero-Padilla, S.R. Márquez-Berber, V.H. Santoyo-Cortés, A.V. Ayala-Garay y J.R. Altamirano-Cárdenas 353

Crecimiento y absorción total nutrimental de lechuga romana tipo baby cultivada con iluminación led bajo sistema fábrica de plantas

V.H. Avendaño-Abarca[1], D.C. González-Sandoval[1], J.P. Munguía-López[2], R. Hernández-Cuevas[1], A.I. Luna-Maldonado[1], J.A. Vidales-Contreras[1], G. Niño-Medina[1] y H. Rodríguez-Fuentes[1,*]

[1] Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Agronomía, Francisco Villa s/n, Col. Ex-Hacienda "El Canadá", C.P. 66050, General Escobedo, Nuevo León, México

[2] Centro de Investigación en Química Aplicada, Blvd. Enrique Reyna Nº 140, Col. San José de los Cerritos, C.P. 25294, Saltillo, Coahuila, México

Resumen

En esta investigación se evaluó la influencia de la calidad e intensidad de luz en el crecimiento y absorción total de nutrimentos en el cultivo de lechuga romana tipo baby. Las variables de crecimiento evaluadas fueron: peso fresco y seco de raíz y hojas, número de hojas y absorción total nutrimental (N, P, K, Ca, Mg, Cu y Zn). Los resultados evidenciaron diferencias significativas entre tratamientos ($p \leq 0,05$), destacando un mayor crecimiento del cultivo bajo el tratamiento de luz roja + azul + suplemento de luz blanca, tanto en peso seco y fresco, número de hojas y absorción total de nutrimentos, demostrando así que, a mayor intensidad de luz, considerando su calidad (espectros electromagnéticos irradiados), se promueve un mayor crecimiento en el cultivo. La eficiencia energética en la producción de peso seco con respecto a la intensidad de luz acumulada se vio disminuida en el tratamiento 3 debido a que el suplemento de luz blanca proporcionó otros espectros electromagnéticos que no son tan eficientes en los procesos fotosintéticos comparados con el rojo y azul (tratamientos 1 y 2); requiriendo una intensidad de luz acumulada de 1,87 mol·m^{-3} para producir 1,0 g de peso seco, valor superior al tratamiento 1 (1,57 mol·m^{-3}) y tratamiento 2 (1,53 mol·m^{-3}).

Palabras clave: *Lactuca sativa* L., calidad de luz, intensidad lumínica, hidroponía.

Growth and total nutrimental absorption of baby romaine lettuce cultivated with led lighting under plant factory system

Abstract

In this research, the influence of the quality and intensity of light on the growth and total absorption of nutrients in the baby romaine lettuce crop was evaluated. The growth variables evaluated were: fresh and dry weight of root and leaves, number of leaves and total nutrient absorption (N, P, K, Ca, Mg, Cu

* Autor para correspondencia: humberto.rodriguezfn@uanl.edu.mx

Cita del artículo: Avendaño-Abarca VH, González-Sandoval DC, Munguía-López JP, Hernández-Cuevas R, Luna-Maldonado AI, Vidales-Contreras JA, Niño-Medina G, Rodríguez-Fuentes H (2020). Crecimiento y absorción total nutrimental de lechuga romana tipo baby cultivada con iluminación led bajo sistema fábrica de plantas. ITEA-Información Técnica Económica Agraria 116(4): 280-293. https://doi.org/10.12706/itea.2020.011

and Zn). The results showed significant differences between treatments ($p \leq 0.05$), highlighting a greater growth of the crop under the treatment of red + blue + white light supplement, both in dry and fresh weight, number of leaves and total absorption of nutrients, demonstrating that a higher intensity of light considering its quality (irradiated electromagnetic spectra) promotes greater growth in the crop. The energy efficiency in the production of dry weight with respect to the accumulated light intensity was diminished in treatment 3 because the white light supplement provided other electromagnetic spectra that are not as efficient in photosynthetic processes compared to red and blue (treatment 1 and treatment 2); requiring an accumulated light intensity equal to 1.87 mol·m^{-3} to produce 1.0 g of dry weight, higher value than treatment 1 (1.57 mol·m^{-3}) and treatment 2 (1.53 mol·m^{-3}).

Keywords: *Lactuca sativa* L., light control, light intensity, hydroponics.

Introducción

El Sistema Fabrica de Plantas (Sistema Plant Factory, por sus siglas en inglés) (SPF) es el modelo de la horticultura protegida cuyo propósito es optimizar la producción de algunas especies vegetales a partir del conocimiento y control total de sus requerimientos climáticos, hídricos y nutrimentales (Ohyama *et al*., 2000; Yokoi *et al*., 2003; Yokoi *et al*., 2005; Kozai *et al*., 2015). Este sistema de producción está conformado por seis elementos principales (Kozai *et al.,* 2006), de los cuales la iluminación artificial es el elemento que presenta uno de los mayores retos para la producción agrícola, debido a que la condición de la luz tiene un efecto importante sobre calidad nutricional de los cultivos (contenido mineral, antioxidantes, vitaminas, etc.) y el crecimiento (Savvas y Passam, 2002; Hunter y Burritt, 2004; Li y Kubota, 2009; Stutte *et al*., 2009; Johkan *et al*., 2010; Kang *et al*., 2013; Chen *et al.*, 2014). Algunos estudios en el cultivo de lechuga demuestran que al incrementarse la intensidad de luz se promueve el crecimiento, acumulación de peso (debido a una mayor actividad fotosintética) y absorción mineral (Hunter y Burritt, 2004; Fu *et al*., 2012; Morewane, 2014); la magnitud de este efecto dependerá en parte de la especie vegetal y su variedad, además de aspectos como la calidad de luz incidente y el fotoperiodo; de ahí la importancia de investigar más al respecto (Hunter y Burritt, 2004; Li y Kubota, 2009; Fu *et al*., 2012; Kang *et al*., 2013; Sago, 2016).

La nutrición del cultivo en este tipo de sistemas de producción es aportada directamente por la solución nutritiva (SN), la cual debe ser formulada en base a los requerimientos nutrimentales de la especie vegetal para su óptimo crecimiento, permitiendo el uso eficiente de fertilizantes y reducción de costos de producción. En este sentido, una herramienta útil para estimar la demanda nutrimental de una especie vegetal es el concepto de balance de masa, el cual se basa en que la materia seca de una planta está conformada por 16 elementos químicos esenciales, de los cuales 13 son disueltos en la SN para ser absorbidos por la planta por medio de las raíces. Con la cantidad de materia seca producida por planta y su concentración de cada uno de los elementos se puede estimar la cantidad total de cada nutrimento que la planta absorbió (Rodas-Gaitán *et al*., 2012).

La iluminación a base de diodos emisores de luz (LEDs) es la tecnología más reciente en ingresar al campo de la agricultura en ambientes controlados como fuente principal de energía para las plantas. Estos dispositivos presentan la ventaja de emitir longitudes de onda electromagnética específicas, las cuales pueden ser ajustadas para proporcionar la energía adecuada para estimular los pig-

mentos fotosintéticos; principalmente espectros del color rojo (610-750 nm) y azul (400-520 nm), que implica una mayor acumulación de peso seco haciendo un uso más eficiente de la energía en comparación con dispositivos convencionales como lámparas de sodio de alta presión o fluorescentes, aumentando así el potencial productivo del SPF (Fang y Jao, 2000; Lefsrud *et al*., 2008; Mizuno *et al*., 2011; Žukauskas *et al*., 2011; Tarakanov *et al*., 2012).

El crecimiento de los cultivos está muy relacionado con la temperatura ambiental y, mediante el uso de un índice térmico denominado grados-día, pueden hacerse programaciones de ciclos de cultivos y pronósticos de fechas de cosecha (Almaguer-Sierra *et al*., 2014). Este principio puede ser aplicable en el SPF si consideramos emplear el concepto de intensidad de radiación fotosintética activa (PAR) acumulada, que estima los requerimientos de cantidad de energía lumínica necesaria para el crecimiento de un cultivo, permitiendo manipular la duración de los ciclos de producción a conveniencia.

La lechuga es una de las especies vegetales producidas con gran éxito en el SPF, siendo una hortaliza de gran importancia económica debido al aumento de su demanda en los mercados consumidores (Fallovo *et al*., 2009). Por lo anterior, el objetivo de esta investigación fue: estimar la influencia de la calidad-intensidad de luz acumulada en la producción de biomasa y en la absorción mineral en el cultivo de lechuga romana baby.

Material y métodos

Sitio experimental, material vegetal y condiciones de crecimiento

El trabajo experimental se realizó en el Laboratorio de Sistema de Producción en Ambiente Controlado de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León (FA-UANL), ubicada en el municipio de General Escobedo, Nuevo León, México.

Para este estudio se emplearon semillas de *Lactuca sativa* L. var. *longifolia* Lam cv. 'Parris Island' (lechuga "romana") sembradas en charolas de poliestireno expandido de 200 cavidades usando roca volcánica como sustrato previamente desinfectado. El trasplante al sistema de producción se llevó a cabo a los 20 días después de la siembra considerando una densidad de población de 201 plantas·m^{-3}.

Las condiciones ambientales de crecimiento para la producción de plántula y de cultivo fueron: temperatura promedio ambiental de 26,21 ± 2,67 °C (Choi *et al*., 2000); humedad relativa de 37,43 ± 6,52 %; concentración de CO_2 ambiental promedio diaria de 510,78 ± 283,16 ppm (Park *et al*., 2012) y fotoperiodo de 24·h·d^{-1} (Kozai *et al*., 2015). La intensidad de luz empleada para la producción de plántula fue de 154,21 µmol·m^{-2}·s^{-1} compuesta por 33,9 % del espectro electromagnético rojo; 35,2 % azul; 13,1 % violeta; 6,7 % verde; 2,6 % amarillo y 8,3 % naranja. Esta etapa concluyó a los 20 días. Las lecturas de las variables ambientales se monitorearon y almacenaron cada 30 min las 24 h del día con un sensor de concentración de CO_2 ambiental (Carbon Dioxide and Temperature Monitor de Telaire®, EUA) y un Data Logger con sensores de temperatura, humedad relativa e intensidad de luz (modelo U12-012, HOBO®, EUA). La temperatura y humedad relativa ambiental se controlaron con un Minisplit (modelo 53UPQ183A, Carrier, EUA.), un deshumificador (modelo DD50PE, De'Longhi America Inc, EUA) y un humificador (modelo BUL7923-CN de Bionaire® Canadá).

Para la nutrición del cultivo se empleó la SN (Tabla 1) propuesta por Rodríguez-Fuentes *et al*. (2011), considerando la calidad del agua para su formulación. Los valores de pH, conductividad eléctrica (CE), oxígeno disuelto y temperatura de la SN fueron 5,69 ± 0,33; 2,1

Tabla 1. Solución nutritiva estándar y fuentes de nutrimentos empleados para su elaboración.
Table 1. Standard nutritive solution and nutrients sources used for its preparation.

Elemento	Concentración (mg L^{-1})	Fuente
Nitrógeno (N)	200	–
Fósforo (P)	60	$NH_4H_2PO_4$
Potasio (K)	250	KNO_3
Calcio (Ca)	200	$Ca(NO_3)_2$ $4H_2O$
Magnesio (Mg)	50	$Mg(NO_3)_2$
Azufre (S)	100	H_2SO_4
Fierro (Fe)	0,5	$FeSO_4$ $7H_2O$
Manganeso (Mn)	0,25	$MnSO_4$ H_2O
Boro (B)	0,25	H_3BO_3
Cobre (Cu)	0,03	$CuSO_4$ $5H_2O$
Zinc (Zn)	0,25	$ZnSO_4$ H_2O
Molibdeno (Mo)	0,01	Na_2MoO_4 $2H_2O$

Fuente: Rodríguez-Fuentes *et al.* (2011).

± 0,15 $mS \cdot cm^{-1}$; 6,35 ± 0,85 ppm y 25,81 ± 0,71 °C, respectivamente (Magalhães, 2006; Rodríguez-Fuentes *et al*., 2016). Los parámetros de SN se monitorearon diariamente empleando sensores de pH (modelo HI98108, HANNA Instruments, UK), conductividad eléctrica (modelo HI98300, HANNA Instruments, UK), oxígeno disuelto y temperatura (modelo HI9143, HANNA Instruments, UK). Para asegurar una nutrición óptima la SN fue renovada cada 5 días.

Tratamientos

Se evaluaron tres tratamientos de luces de fabricación comercial, dos tratamientos de color rojo y azul, (t1 = 127,49 y t2 = 147,32 $\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$) y un tercer tratamiento con luz roja, azul y suplementación de luz blanca (t3 = 235,69 $\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$) (Tabla 2). Para cada tratamiento se establecieron 14 repeticiones; cada una conformada por una unidad experimental de 9 plantas, haciendo un total de 126 plantas por tratamiento a una densidad de población de 201 plantas$\cdot m^{-3}$ bajo un diseño completamente al azar. Se estableció un fotoperiodo de 24 h luz$\cdot d^{-1}$ en los tres tratamientos para cumplir con la luz integral diaria requerida por el cultivo (Kozai *et al*., 2015). Como fuente de iluminación artificial se emplearon lámparas tubulares LED T8 color rojo, azul (modelo 21019, DUBAI) y blanco frío (modelo ML-TU-CR1 de DLM S de R. L. de C. V., México). Para determinar el número de lámparas requeridas para establecer los tres tratamientos de luz se usó un sensor de radiación PAR (modelo LightScout de Spectrum Technologies, Inc, EUA) y un espec-

Tabla 2. Caracterización de espectros electromagnéticos presentes en los tratamientos de luz establecidos para el crecimiento de lechuga romana tipo baby bajo el Sistema Plant Factory.
Table 2. Characterization of electromagnetic spectra present in the light treatments established for the growth of baby romaine lettuce under the Plant Factory System.

Color	Banda de espectro electromagnético (nm)	Intensidad (μmol m^{-2} s^{-1})		
		t1	t2	t3
Violeta	380-450	33,68	29,78	50,93
Azul	450-495	18,97	25,19	30,36
Verde	495-570	0	0	31,31
Amarillo	570-590	0	0	10,58
Naranja	590-620	2,41	3,75	16,52
Rojo	620-750	72,43	88,6	95,99
Rojo + Azul	(620-750) + (620-750)	91,4	113,79	126,35
Relación rojo:azul (%)	(620-750):(620-750)	79,24:20,75	77,86:22,13	75,97:24,02
Intensidad total (μmol m^{-2} s^{-1})	380-750	127,49	147,32	235,69

troradiómetro (Apogge modelo PS-300 de Apogge Instruments, Inc, EUA) para la caracterización de los espectros electromagnéticos (calidad de la luz) presentes en cada tratamiento.

Para este experimento se utilizó un sistema hidropónico NFT (Nutrient Film Technique, por sus siglas en inglés) multinivel, cubriendo los espacios con película reflejante para evitar contaminación de luz entre tratamientos.

Variables evaluadas

Determinación de concentración y absorción nutrimental

Al finalizar el ciclo de producción (21 días después de trasplante) se extrajeron dos plantas completas representativas de la unidad experimental. En cada una de ellas se midió el peso fresco y seco (en g·planta^{-1}) y numero de hojas. Para la determinación de la concentración de N, P, K, Ca, Mg, Cu y Zn sobre base seca se usó una planta representativa de la población de cada unidad experimental (haciendo un total de 14 plantas por tratamiento).

Para obtener la concentración nutrimental, las muestras fueron secadas a temperatura de 60 °C hasta peso constante. Posteriormente al proceso de secado cada muestra fue molida y tamizada con malla de 0,05 mm. Las muestras para la determinación de concentración de P, K, Ca, Mg, Cu y Zn fueron previamente digeridas en una mufla a una temperatura de 450 a 500 °C por 4 h para posteriormente obtener tres extractos de cada muestra (cada extracto consistió de 0,5 g de biomasa seca diluida y aforada a 25 mL con ácido clorhídrico al 1,0 N). La determinación de la concentración de P se realizó mediante la técnica de espectrofotometría óptica y las determinaciones de K, Ca, Mg, Cu y Zn se realizaron por la técnica de espectroscopía de absorción atómica (Rodríguez-Fuentes y Rodríguez-Absi, 2015).

La determinación de la concentración de N total se hizo con el método Kjeldhal, empleando 0,1 g de biomasa seca de cada muestra, esta determinación se realizó (al igual que los elementos antes mencionados) por triplicado.

Para la obtención de la absorción nutrimental total por planta (N, P, K, Ca, Mg, Cu y Zn) se aplicó el concepto de balance de masa (Rodas-Gaitán *et al.,* 2012).

Análisis estadístico

El análisis estadístico de los datos obtenidos de las variables evaluadas se realizó mediante un análisis de varianza bajo un diseño completamente al azar y prueba de comparación de medias Tukey ($p \leq 0,05$); haciendo una transformación de datos para las variables número de hojas (raíz cuadrada). Los análisis se realizaron usando el software InfoStat 2017 en su versión estudiantil de la Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

Resultados y discusión

Peso fresco y seco

En los análisis de varianza y comparación de medias realizadas en las variables peso fresco y seco de planta (Tabla 3) se presentaron diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0,05$) entre los tratamientos de luz, siendo el t3 (235,69 $\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$) el que acumuló la mayor cantidad de peso fresco y seco en raíz, hojas y total (raíz + hojas). Esto posiblemente fue promovido por una mayor actividad fotosintética (Fu *et al.,* 2012) debido a una mayor cantidad de luz de los espectros electromagnéticos del color rojo, azul y blanco en t3, en comparación con el t1 y t2 (Tabla 2 y Tabla 4). En este sentido, Lin *et al.* (2013) reportan una mayor acumulación de peso fresco y seco en el cultivo de lechuga bajo la combinación de luz roja y azul más suplemento de luz blanca (que proporciona los espectros electromagnéticos violeta, verde, amarillo y naranja), lo que coincide con los resultados del presente trabajo. Kim *et al.* (2004) y Johkan *et al.* (2012), siendo más específicos, mencionan que la presencia simultánea (efecto sinérgico) de luz roja, azul y verde son muy importantes para lograr un crecimiento normal en el cultivo de lechuga, mejorando las características morfológicas de la planta, como un mayor número de hojas y mayor área foliar de estas permitiendo una mayor recepción de luz que se traduce en mayor actividad fotosintética. Sin embargo, estos resultados son el efecto combinado de las variables intensidad y calidad de luz, puesto que no fueron evaluadas por separado.

En el cultivo de la lechuga la biomasa aérea es comercialmente importante. Basados en los datos obtenidos (Tabla 3), la distribución (parte aérea-raíz en %) del peso seco total ($g \cdot planta^{-1}$) para los tratamientos fue de 81,8-18,2 % (2,2 $g \cdot planta^{-1}$), 88-12 % (2,5 $g \cdot planta^{-1}$) y 82,9-17,1 % (3,5 $g \cdot planta^{-1}$) para t1, t2 y t3 respectivamente. Estos resultados concuerdan con lo encontrado por Kang *et al.* (2013) en el que reporta porcentajes similares bajo una intensidad de 200 $\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ usando luz roja, azul y blanca.

Número de hojas

Los valores de la variable número de hoja observados en el t3 fueron superiores ($p \leq 0,05$) en comparación con el tratamiento t1 en un 25,19 % (Tabla 3) y numéricamente mayor que el tratamiento t2 en un 12,32 %. Esto concuerda con lo encontrado por Ohashi-Kaneko *et al.* (2007) bajo un suplementado de luz blanca. Yanagi *et al*. (1996) reportan que, al aumentar la intensidad de luz en el cultivo de lechuga, se promueve un mayor número de hojas, encontrando un incremento significativo del 8 % cuando la intensidad de luz se duplica (de 85 $\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ a 170 $\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$).

Tabla 3. Número de hojas, peso fresco y seco de hojas, raíz y total (raíz + hojas) por planta (g) de lechuga romana tipo baby a los 21 días después de trasplante cultivada en un Sistema Plant Factory ($\bar{x}$ ± DE, n = 14) bajo tres tratamientos de intensidad de luz (t1 = 127,49 µmol·m^{-2}·s^{-1}; t2 = 147,32 µmol·m^{-2}·s^{-1} y t3 = 235,69 µmol·m^{-2}·s^{-1}).
Table 3. Number of leaves, fresh and dry weight of leaves, root and total (root + leaves) per plant (g) of baby romaine lettuce 21 days after transplant, cultivated in a Plant Factory System ($\bar{x}$ ± SD, n =14) under three light intensity treatments (t1 = 127.49 µmol·m^{-2}·s^{-1}; t2 =147.32 µmol·m^{-2}·s^{-1} and t3 = 235.69 µmol·m^{-2}·s^{-1}).

	Nº. Hojas	Peso fresco (g·planta^{-1})			Peso seco (g·planta^{-1})		
		Hojas	Raíz	Total	Hojas	Raíz	Total
t1	13,1 ± 1,2 b	21,3 ± 7,5 c	4,0 ± 0,8 b	25,3 ± 7,9 c	1,8 ± 0,4 c	0,4 ± 0,1 b	2,2 ± 0,5 b
t2	14,6 ± 1,0 ab	33,8 ± 7,4 b	5,0 ± 1,1 b	38,8 ± 7,7 b	2,2 ± 0,4 b	0,3 ± 0,1 b	2,5 ± 0,4 b
t3	16,4 ± 2,8 a	47,4 ± 11,7 a	9,7 ± 9,7 a	57,1 ± 14,1 a	2,9 ± 0,4 a	0,6 ± 0,2 a	3,5 ± 0,5 a

Medias de columnas con una letra diferente son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$).
$\bar{x}$ = media; DE = desviación estándar; n = tamaño de muestra.

Tabla 4. Intensidad de luz acumulada de cada banda del espectro electromagnético irradiada para la producción de lechuga romana tipo baby cultivada en un Sistema Plant Factory.
Table 4. Accumulated light intensity of each band of the electromagnetic spectrum radiated for the production of baby romaine lettuce grown in a Plant Factory System.

Color	Longitud de onda (nm)	t1 (mol·m^{-3})	t2 (mol·m^{-3})	t3 (mol·m^{-3})
Violeta	380-450	183,3	162,1	277,2
Azul	450-495	103,3	137,1	165,3
Verde	495-570	0,0	0,0	170,4
Amarillo	570-590	0,0	0,0	57,6
Anaranjado	590-620	13,1	20,4	89,9
Rojo	620-750	394,3	482,3	522,5
Rojo + Azul	(620-750)+(620-750)	497,6	619,4	687,8
Total	380-750	694,0	801,9	1282,9
Proporción Rojo:Azul	3,8:1	3,5:1	3,2:1	

Acumulación total nutrimental del cultivo

Los tratamientos mostraron diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0,05$) en la absorción total de nutrimentos por planta de lechuga (Figura 1 y 2), destacando el t3 con los mayores valores de N, P, K, Ca, Mg, Cu y Zn, en comparación a los observados en el t1 y t2; esto posiblemente fue debido a un mayor crecimiento radicular y parte aérea estimulado por el tipo y cantidad de luz irradiada al cultivo (Johkan *et al*., 2012). Shin *et al.* (2012) coinciden en que, en el cultivo de lechuga, la absorción de nutrimentos está influenciada por la calidad de luz, reportando una mayor acumulación de nutrimentos con espectros electromagnéticos específicos como: la presencia de luz blanca, luz monocromática roja y azul o su combinación, lo cual provocó el incremento de P, Ca, Mg y N, respectivamente.

La relación entre los espectros electromagnéticos rojo:azul (en base solo a la suma de sus intensidades) fue de 80:20 % aproximadamente en todos los tratamientos (Tabla 2). Chen *et al*., (2014) reporta que bajo esta relación se promueve una mayor acumulación de Ca, Mg, Na, Fe, Mn, Zn y B; por lo que la mayor acumulación de nutrimentos en el tratamiento t3 (Figura 1 y 2) fue debido principalmente a la presencia de luz blanca y a una mayor intensidad de luz de los espectros electromagnéticos rojo y azul.

Por otra parte, desde el punto de vista de calidad nutrimental para consumo humano, la ingesta de productos hortícolas con un mayor contenido mineral promueve una mejor condición para cumplir con la cantidad diaria recomendada; principalmente microelementos como el Fe y Zn que en las plantas están deficientes y que su ingesta es de gran importancia para la salud humana (Dibb *et al*., 2005). En la Figura 2 se puede observar que el t3 (0,35 mg·planta^{-1}) presentó una mayor absorción de Zn ($p \leq 0,05$), incrementando hasta 84,21 y 40 % más con respecto a los valores obtenidos por t1 (0,19 mg·planta^{-1}) y t2 (0,25 mg·planta^{-1}) respectivamente.

Intensidad de luz acumulada y requerimiento nutrimental

En este estudio las cantidades obtenidas de peso seco total (raíz + hojas) producido fueron: t1 = 442,2 g·m^{-3}, t2 = 502,5 g·m^{-3} y t3 = 703,5 g·m^{-3} (considerando una densidad de población de 201 plantas cultivadas en un volumen de 1 m^3) con un total de luz acumulada (del trasplante a la cosecha) de 694,0; 801,9 y 1282,9 mol·m^{-3}, respectivamente (Tabla 5). El desglose de la intensidad de luz PAR acumulada en cada uno de los espectros electromagnéticos se presenta en la Tabla 4.

Considerando los valores de intensidad total acumulada (Tabla 4) y peso seco de hojas (parte comercial) producido (Tabla 3), empleando como criterio la eficiencia energética, se puede inferir que para la producción de 1,0 g de materia seca después de plántula se requirió una intensidad de luz acumulada de 1,92; 1,81 y 2,20 mol·m^{-3} para el t1, t2 y t3, respectivamente, observándose que las plantas del t2, seguidas de las del t1, requirieron menor cantidad de luz para la producción del mismo peso seco (1,0 g), esto debido a que las plantas fueron irradiadas con luz roja y azul principalmente, lo que generó una mayor eficiencia en la producción de materia seca a causa de que estos espectros electromagnéticos son las principales fuentes de energía que las plantas usan para el proceso de fotosíntesis (Kasajima *et al.,* 2008). Por otra parte, la luz blanca como suplemento (t3) proporcionó otros espectros electromagnéticos que no son aprovechados en el proceso de fotosíntesis (ya que pueden ser reflejados, trasmitidos o poco absorbidos); pero que influyen en el crecimiento indirectamente, como, por ejemplo, un mayor crecimiento radicular, mayor área foliar y mayor peso fresco (Kim *et al.,* 2004; Johkan *et al.,* 2012; Lin *et al.*, 2013). Este último se evidencia si se consideran los valores de peso fresco de hojas (Tabla 3), el cual requiere de una intensi-

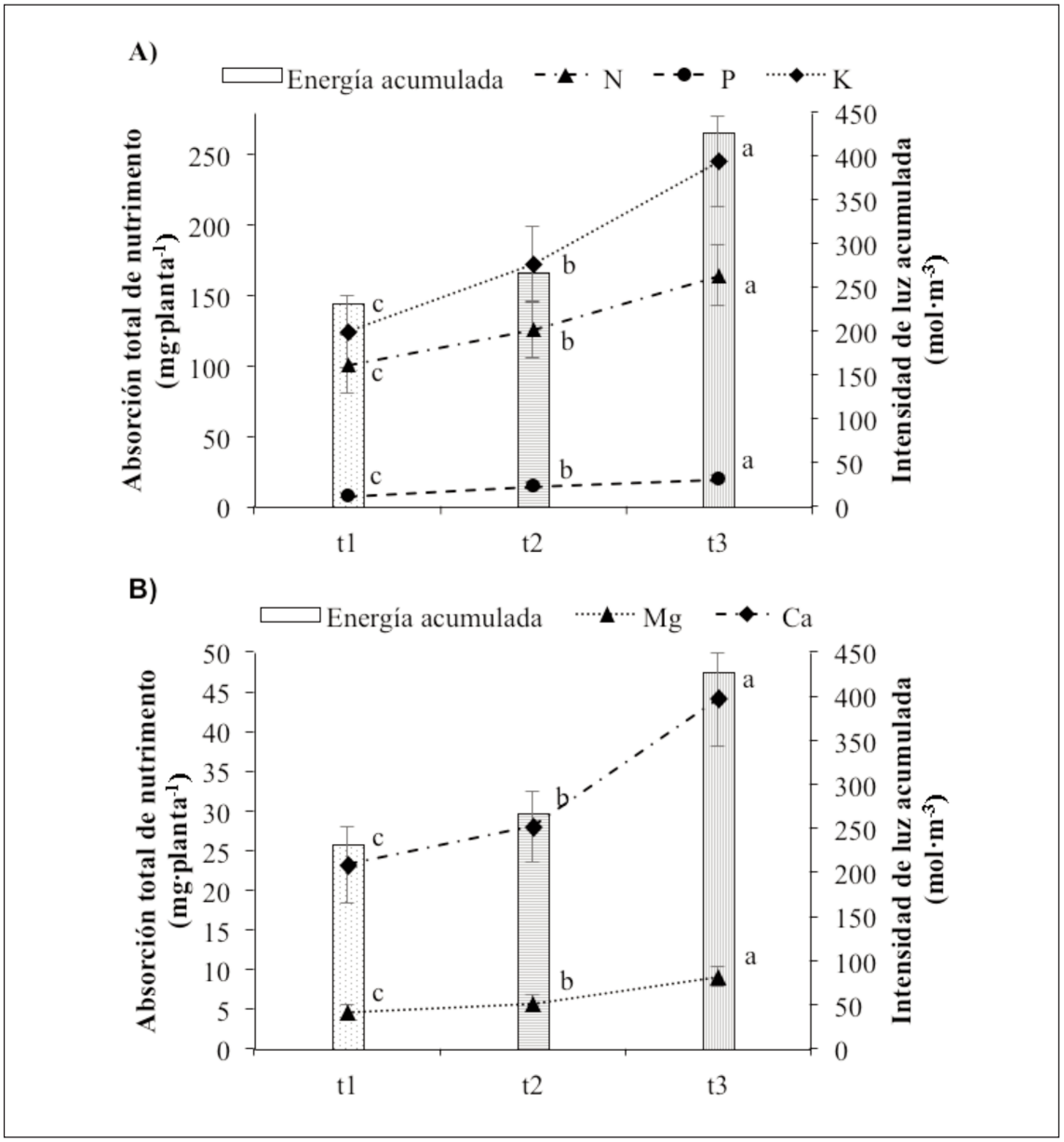


Figura 1. Absorción total de nutrimentos por planta, A) N, P y K y B) Ca y Mg, en el cultivo de lechuga romana tipo baby en base a peso seco (raíz + hojas) a los 21 días después de trasplante bajo tres tratamientos de intensidad de luz (t1 = 127,49 µmol·m^{-2}·s^{-1}; t2 = 147,32 µmol·m^{-2}·s^{-1} y t3 = 235,69 µmol·m^{-2}·s^{-1}) cultivada en un Sistema Plant Factory ($\bar{x}$ ± DE, n = 14).

Figure 1. Total absorption of nutrients per plant, A) N, P and K and B) Ca and Mg, in the cultivation of baby romaine lettuce *based on dry biomass (root + leaves) at 21 days after transplantation under three light intensity treatments(t1 = 127.49 µmol·m^{-2}·s^{-1}; t2 =147.32 µmol·m^{-2}·s^{-1} and t3 = 235.69 µmol·m^{-2}·s^{-1}) grown in a Plant Factory System ($\bar{x}$ ± SD, n = 14).*

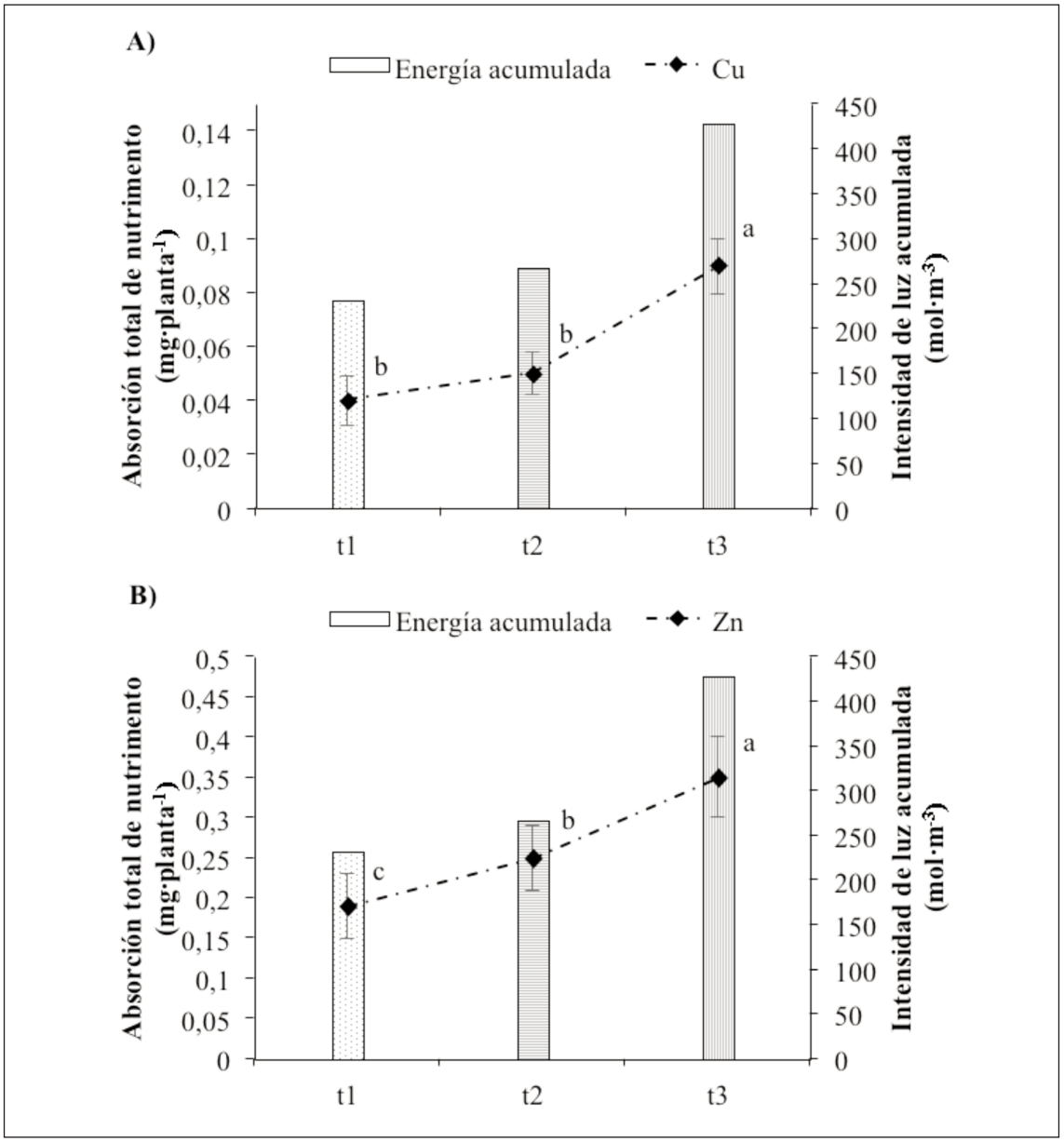


Figura 2. Absorción total de nutrimentos por planta, A) Cu y B) Zn, en el cultivo de lechuga romana tipo baby en base a peso seco (raíz + hojas) a los 21 días después de trasplante bajo tres tratamientos de intensidad de luz (t1 = 127,49 μmol·m^{-2}·s^{-1}; t2 = 147,32 μmol·m^{-2}·s^{-1} y t3 = 235,69 μmol·m^{-2}·s^{-1}) cultivada en un Sistema Plant Factory ($\bar{x}$ ± DE, n = 14).

Figure 2. Total absorption of nutrients per plant, A) Cu and B) Zn, in the cultivation of baby romaine lettuce *based on dry biomass (root + leaves) at 21 days after transplantation under three light intensity treatments(t1 = 127.49 μmol·m^{-2}·s^{-1}; t2 =147.32 μmol·m^{-2}·s^{-1} and t3 = 235.69 μmol·m^{-2}·s^{-1}) grown in a Plant Factory System ($\bar{x}$ ± SD, n = 14).*

dad de luz acumulada para la producción del mismo peso fresco (1,0 g) igual a 0,16; 0,12 y 0,13 mol·m^{-3} para el t1, t2 y t3, respectivamente.

En base a la producción de peso seco se establecieron los requerimientos de intensidad de luz acumulada y nutrimentos requeridos (Tabla 5) para la producción de 201 plantas de lechuga romana tipo baby cultivadas en un volumen de 1 m^3 en un periodo de 21 días bajo el SPF. Esta información sirve para estimar la cantidad de biomasa que se producirá y los nutrimentos requeridos, como por ejemplo, en un volumen de 10 m^3 de producción en un Sistema Plant Factory (se producirán 114,771 kg de biomasa fresca equivalentes a 7,035 kg de biomasa seca bajo las condiciones de manejo de t3) se requerirán agregar 335 g de N, 39 g de P, 501 g de K, 90 g de Ca, 18 g de Mg, 0,2 g de Cu y 0,7 g de Zn.

Tabla 5. Requerimiento de intensidad de luz acumulada y nutrimentos para la producción de 201 plantas de lechuga romana tipo baby cultivadas en un espacio de 1 m^3 bajo el Sistema Plant Factory en un periodo de 21 días.
Table 5. Requirement of accumulated light intensity and nutrients for the production of 201 baby romaine lettuce plants grown in a space of 1 m^3 under the Plant Factory System in a period of 21 days.

Tratamiento	Intensidad de luz acumulada (mol·m^{-3})	N (g)	P (g)	K (g)	Ca (g)	Mg (g)	Cu (g)	Zn (g)
t1	694,0	20,5	1,4	25,2	4,7	0,9	0,01	0,04
t2	801,9	24,6	2,9	33,7	5,5	1,1	0,01	0,05
t3	1282,9	33,5	3,9	50,1	9,0	1,8	0,02	0,07

Conclusiones

Una intensidad total de 235,69 µmol·m^{-2}·s^{-1} (t3 = rojo + azul + blanco) compuesta principalmente por los rangos 450-495, 495-570 y 620-750 nm del espectro electromagnético incrementaron ($p \leq 0,05$) de 40 a 59,09 % la producción de peso seco, de 47,16 a 125,69 % del peso fresco y de 12,32 a 25,19 % el número hojas con respecto a una intensidad total de 147,32 (t2 = rojo + azul) y 127,49 (t1 = rojo + azul) µmol·m^{-2}·s^{-1} (rangos de longitud de onda de 450-495 y 620-750 nm respectivamente). Así mismo en el t3 la absorción mineral de todos los elementos considerados presentó un aumento ($p \leq 0,05$) con base en t1 de 62,56 % N; 170,42 % P; 97,65 % K; 90,47 % Ca; 95,65 % Mg; 125 % Cu y 84,21 % Zn y de 30,54 % N; 31,50 % P; 42,63 % K; 57,70 % Ca; 57,89 % Mg; 80 % Cu y 40 % Zn con respecto a t2.

Agradecimientos

El autor agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y al Programa de Apoyo a la Investigación Científica y Tecnológica (PAICYT) de la Dirección General de Investigación de la Universidad Autónoma de Nuevo León por el financiamiento otorgado para el desarrollo de este proyecto de investigación y al Centro de Investigación en Química Aplicada por el apoyo en la caracterización del espectro electromagnético emitido por la fuente de iluminación artificial.

Referencias bibliográficas

Almaguer-Sierra P, Rodríguez-Fuentes H, Barrientos-Lozano L, Mora-Ravelo SG, Vidales-Contreras JA (2014). Relación entre grados-día y la producción de *Opuntia ficus-indica* para consumo humano en Marín, Nuevo León. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 5: 1055-1065.

Chen XL, Guo WZ, Xue XZ, Morewane MB (2014). Effects of LED spectrum combinations on the absorption of mineral elements of hydroponic lettuce. Spectroscopy and Spectral Analysis 34: 1394-1397. https://doi.org/10.3964/j.issn.1000-0593(2014)05-1394-04

Choi KY, Paek KY, Lee YB (2000). Effect of air temperature on tipburn incidence of butterhead and leaf lettuce in a plant factory. En: Transplant Production in the 21st Century (Eds. Kubota C, Chun C), pp. 166-171. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-015-9371-7_27

Dibb DW, Roberts TL, Welch RM (2005). De la cantidad a la calidad: la importancia de los fertilizantes en la alimentación humana. Informaciones Agronómicas 28: 1-8.

Fallovo C, Rouphael Y, Cardarelli M, Rea E, Battistelli A, Colla G (2009). Yield and quality of leafy lettuce in response to nutrient solution composition and growing season. Journal of Food, Agriculture and Environment 7: 456-462.

Fang W, Jao RC (2000). A review on artificial lighting of tissue cultures and transplants. En: Transplant Production in the 21st Century (Eds. Kubota C, Chun C), pp. 108-113. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-015-9371-7_17

Fu W, Li P, Wu Y, Tang J (2012). Effects of different light intensities on anti-oxidative enzyme activity, quality and biomass in lettuce. Horticultural Science 39:129-134. https://doi.org/10.17221/192/2011-HORTSCI

Hunter DC, Burritt DJ (2004). Light quality influences adventitious shoot production from cotyledon explants of lettuce (*Lactuca sativa* L.). In Vitro Cellular and Developmental Biology-Plant 40: 215-220. https://doi.org/10.1079/IVP2003492

Johkan M, Shoji K, Goto F, Hashida SN, Yoshihara T (2010). Blue light-emitting diode light irradiation of seedlings improves seedling quality and growth after transplanting in red leaf lettuce. HortScience 45: 1809-1814. https://doi.org/10.21273/HORTSCI.45.12.1809

Johkan M, Shoji K, Goto F, Hahida SN, Yoshihara T (2012). Effect of green light wavelength and intensity on photomorphogenesis and photosynthesis in *Lactuca sativa*. Environmental and Experimental Botany 75: 128-133. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2011.08.010

Kang JH, KrishnaKumar S, Atulba SLS, Jeong BR, Hwang SJ (2013). Light intensity and photoperiod influence the growth and development of hydroponically grown leaf lettuce in a closed-type plant factory system. Horticulture, Environment and Biotechnology 54: 501-509. https://doi.org/10.1007/s13580-013-0109-8

Kasajima, SY, Inoue N, Mahmud R, Kato M (2008). Developmental responses of wheat cv. Norin 61 to fluence rate of green light. Plant Production Science 11: 76-81. https://doi.org/10.1626/pps.11.76

Kim HH, Goins GD, Wheeler RM, Sager JC (2004). Green-light supplementation for enhanced lettuce growth under red-and blue-light-emitting diodes. HortScience 39: 1617-1622. https://doi.org/10.21273/HORTSCI.39.7.1617

Kozai T, Ohyama K, Chun C (2006). Commercialized closed systems with artificial lighting for plant production. Acta Horticulturae 711: 61-70. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2006.711.5

Kozai T, Niu G, Takagaki M (2015). Plant factory: an indoor vertical farming system for efficient quality food production. Ed. Academic Press, London, Reino Unido. 405 pp.

Lefsrud MG, Kopsell DA, Sams CE (2008). Irradiance from distinct wavelength light-emitting diodes affect secondary metabolites in kale. HortScience 43: 2243-2244. https://doi.org/10.21273/HORTSCI.43.7.2243

Li Q, Kubota C (2009). Effects of supplemental light quality on growth and phytochemicals of baby leaf lettuce. Environmental and Experimental

Botany 67: 59-64. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2009.06.011

Lin KH, Huang MY, Huang WD, Hsu MH, Yang ZW, Yang CM (2013). The effects of red, blue, and white light-emitting diodes on the growth, development, and edible quality of hydroponically grown lettuce (*Lactuca sativa* L. var. *capitata*). Scientia Horticulturae 150: 86-91. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.10.002

Magalhães AG (2006). Caracterização de genótipos de alface (*Lactuca sativa* L.) em cultivo hidropônico sob diferentes valores de condutividade elétrica da solução nutritive. Tesis Doctoral. Universidad Federal Rural de Pernambuco, Brasil. 96 pp.

Mizuno T, Amaki W, Watanabe H (2011). Effects of monochromatic light irradiation by LED on the growth and anthocyanin contents in leaves of cabbage seedlings. Acta Horticulturae 907: 179-184. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2011.907.25

Ohashi-Kaneko K, Takase M, Kon N, Fujiwara K, Kurata K (2007). Effect of light quality on growth and vegetable quality in leaf lettuce, spinach and komatsuna. Environmental Control in Biology 45: 189-198. https://doi.org/10.2525/ecb.45.189

Ohyama K, Yoshinaga K, Kozai T (2000). Energy and mass balance of a closed-type transplant production system (part 2). Water balance. Journal of Society of High Technology in Agriculture 12: 217-224. https://doi.org/10.2525/jshita.12.217

Park YG, Park JE, Hwang SJ, Jeong BR (2012). Light source and CO_2 concentration affect growth and anthocyanin content of lettuce under controlled environment. Journal Horticulture, Environment and Biotechnology 53: 460-466. https://doi.org/10.1007/s13580-012-0821-9

Rodas-Gaitán HA, Rodríguez-Fuentes H, Ojeda-Zacarías MC, Vidales-Contreras JA, Luna-Maldonado AI (2012). Curvas de absorción de macronutrientes en calabacita italiana (*Cucurbita pepo* L.). Revista Fitotecnia Mexicana 35: 57-60.

Rodríguez-Fuentes H, Rodríguez-Absi J, Almaguer-Sierra P, Rodríguez-Ortiz JC (2011). Cultivo hidropónico del Nopal. Ed. Trillas S.A. de C.V., México, D. F. 62 pp.

Rodríguez-Fuentes H, Rodríguez-Absi J (2015). Métodos de análisis de suelo y plantas Criterios de interpretación. Ed. Trillas S. A. de C. V., México, D. F. 239 pp.

Rodríguez-Fuentes H, Rodríguez-Ortiz JC, Vidales-Contreras JA, Luna-Maldonado AI (2016). Cultivo hidropónico de *Lilium* (Azucena): para flor de corte y en maceta. Ed. Trillas S. A. de C. V., México, D. F. 109 pp.

Sago Y (2016). Effects of light intensity and growth rate on tipburn development and leaf calcium concentration in butterhead lettuce. HortScience 51: 1087-1091. https://doi.org/10.21273/HORTSCI10668-16

Savvas D, Passam HC (2002). Hydroponic production of vegetable and ornamentals. Ed. Embryo Publications, Greece, Egaleo. 463 pp.

Shin YS, Lee MJ, Lee ES, Ahn JH, Lim JH, Kim HJ, Park HW, Um YG, Park SD, Chai JH (2012). Effect of LEDs (light emitting diodes) irradiation on growth and mineral absorption of lettuce (*Lactuca sativa* L. 'Lollo Rosa'). Korean Journal of Bio-Environmental Control 21: 180-185.

Stutte GW, Edney S, Skerritt T (2009). Photoregulation of bioprotectant content of red leaf lettuce with light-emitting diodes. HortScience 44: 79-82. https://doi.org/10.21273/HORTSCI.44.1.79

Tarakanov I, Yakovleva O, Konovalova I, Paliutina G, Anisimov A (2012). Light-emitting diodes: on the way to combinatorial lighting technologies for basic research and crop production. Acta Horticulturae 956: 171-178. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.956.17

Yanagi T, Okamoto K, Takita S (1996). Effect of blue and red light intensity on photosynthetic rate of strawberry leaves. Acta Horticulturae 440: 371-376. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1996.440.65

Yokoi S, Kozai T, Ohyama K, Hasegawa T, Chun C, Kubota C (2003). Effects of leaf area index of tomato seedling populations on energy utilization efficiencies in a closed transplant production system. Journal of Society of High Technology in Agriculture 15: 231-238.

Yokoi S, Kozai T, Hasegawa T, Chun C, Kubota C (2005). CO_2 and water Utilization efficiencies of a closed transplant production system as affected by leaf area index of tomato [*Lycopersicon esculentum*] seedling populations and the number of air exchanges. Journal of Society of High Technology in Agriculture 18:182-181.

Žukauskas A, Bliznikas Z, Breivė K, Novičkovas A, Samuolienė G, Urbonavičiūtė A, Brazaitytė A, Jankauskienė J, Duchovskis P (2011). Effect of supplementary pre-harvest LED lighting on the antioxidant properties of lettuce cultivars. Acta Horticulturae 907: 87-90. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2011.907.8

(Aceptado para publicación el 5 de mayo de 2020)

Uso potencial de extractos de Creosote bush (*Larrea tridentata*) como desinfectante sobre *Salmonella typhimurium* en instalaciones avícolas

S. López-Aguirre[1,2], J.M. Pinos-Rodríguez[2], G. Álvarez-Fuentes[3], J.C. García-López[3,*] y H. Méndez-Cortes[1]

[1] Facultad de Agronomía y Veterinaria, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, C.P. 78000, San Luis Potosí, México
[2] Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Veracruzana, C.P. 91710, Veracruz, México
[3] Instituto de Investigación de Zonas Desérticas, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, C.P. 78377, San Luis Potosí, México

Resumen

Se evaluaron extractos de hojas de Creosote bush para control de *Salmonella typhimurium* en instalaciones avícolas. Se determinaron el disolvente y la técnica que obtuvieran la mayor proporción de material extractable, *in vitro*; se determinó su capacidad bactericida y se evaluó la capacidad para desinfectar instalaciones avícolas, comparando desinfección con Creosote (DC), desinfección de rutina (DR) y vacío sanitario (VS). Al término de la desinfección, se colectaron muestras en piso, pared, techo y cortina. Se sembraron en medio selectivo, se realizaron pruebas bioquímicas diferenciales y se calcularon las unidades formadoras de colonia (UFC). El análisis de varianza se realizó con el procedimiento GLM y la comparación de medias por Tukey, con el programa SAS. Usando agua y proceso de decocción, con 40 minutos de extracción, se obtuvo el mayor porcentaje de material extractable (36,43%), la menor concentración bactericida (300 mg mL^{-1}) y halos de inhibición de 13 mm. En la pared disminuyeron las UFC con DC, en techo y cortinas fueron similares con DC y DR, en piso fueron menores con DR. Se concluye que el extracto acuoso de hojas de Creosote bush es una alternativa de desinfección eficaz para control de *Salmonella typhimurium* en instalaciones avícolas.

Palabras clave: Concentración mínima bactericida, concentración mínima inhibitoria, decocción, disolventes, infusión.

Potential use of Creosote bush extract as disinfectant on *Salmonella typhimurium* for broiler pens

Abstract

Extracts of Creosote bush leaves were evaluated for control of *Salmonella typhimurium* in poultry pens. Solvent and the technique that obtained the highest proportion of extractable material, *in vitro*, were determined; its bactericidal capacity was determined and the capacity to disinfect poultry pens was eva-

* Autor para correspondencia: jcgarcia@uaslp.mx

Cita del artículo: López-Aguirre S, Pinos-Rodríguez JM, Álvarez-Fuentes G, García-López JC y Méndez-Cortes H (2020). Uso potencial de extractos de Creosote bush (*Larrea tridentata*) como desinfectante sobre *Salmonella typhimurium* en instalaciones avícolas. ITEA-Información Técnica Económica Agraria 116(4): 294-305. https://doi.org/10.12706/itea.2020.004

luated, comparing disinfection with Creosote bush (DC), routine disinfection (DR) and sanitary vacuum (VS). At the end of the disinfection, samples were collected in floor, wall, ceiling and curtain. Seeded in selective medium, differential biochemical tests were performed and colony forming units (CFU) were calculated. The analysis of variance was performed with the GLM procedure and the comparison of means by Tukey, with the SAS software. Using water and the decoction process, with 40 minutes of extraction, the highest percentage of extractable material (36.43%), the lowest bactericidal concentration (300 mg mL^{-1}), and inhibition halos of 13 mm were obtained. On the wall, the CFU with DC decreased, while in ceiling and curtains they were similar with DC and DR and in floor, lower with DR. It is concluded that the aqueous extract of Creosote bush leaves is an effective disinfection alternative for control of *Salmonella typhimurium* in poultry pens.

Keywords: Minimum bactericidal concentration, minimum inhibitory concentration, decoction, solvents, infusion.

Introducción

A nivel mundial, *Salmonella* es uno de los patógenos que causa gastroenteritis en humanos. Las infecciones por el serovar *typhimurium*, generalmente, se asocian con el consumo de carne de aves o huevos contaminados. El control de la bacteria es fundamental, debido a que ha desarrollado resistencia a los compuestos antimicrobianos disponibles para su tratamiento (Buzby *et al*., 2001; Fàbrega y Vila, 2013) y por su habilidad para sobrevivir durante largos periodos de tiempo en el ambiente, particularmente en presencia de materia orgánica (Argüello *et al*., 2011). Las instalaciones (galpones, comederos, bebederos) de los sistemas de producción avícola son la principal fuente de transmisión entre aves y sus productos, para prevenirlo, al término del ciclo productivo se realizan desinfecciones con productos químicos, como los surfactantes ácidos aniónicos, surfactantes anfotéricos, bromuros, cloruros, clorhexidina, yoduros, compuestos fenólicos, alcohol, amonio cuaternario entre otros. Su mecanismo de acción depende del sitio blanco donde actúan en los microorganismos (Cabrera *et al*., 2007; Arreguín y Macías, 2012), con la desventaja de ser tóxicos para el hombre y contaminante del ambiente (Block, 2001; Lira-Saldívar *et al*., 2006), por lo que al término, se debe de realizar un lavado con agua y jabón para eliminar residuos (Parra *et al*., 2002; Rojas *et al*., 2002), generando un gasto de grandes volúmenes de agua. Es por ello que se han explorado alternativas menos contaminantes como el ozono (Chih-Shan y Yu-Chun, 2003), el oxígeno ionizado (Higgins *et al.,* 2005) así como la búsqueda de nuevas estrategias empleando fitoquímicos presentes en las plantas nativas de cada región. Una alternativa podría ser el uso de extractos de Creosote bush, arbusto perenne característico de los desiertos Chihuahuense, Sonorense y Mojave, el cual contiene diversos metabolitos secundarios (ácido nordihidroguayarético, NDGA; 3'-O-metilnordihidroguayarético; Nor-3'-demetoxisoguayacina; Nor-isoguayacina; 3'-Demetoxiisoguayacina; 6,3'-Di-O-demetilisoguayacina; el lignano (7R, 7'R)-7,7'-bis(4', 3, 4-trihidroxifenilo)-(8R, 8'S)-8, 8'-dimetiltetrahidrofurano y el flavonol 3-metoxi-6,7,4'-trihidroxiflavonol), identificados como eficaces compuestos antiparasitarios (Bashya *et al*., 2017). Experimentos *in vitro*, han demostrado que tiene acción antifúngica contra 17 hongos fitopatógenos; al ser agregada al suelo, inhibe el crecimiento de hongos, además tiene efecto nematicida y nematostático. Bacterias, levaduras, hongos y parásitos intestinales en humanos, también son susceptibles a esta planta (Lira-Saldívar *et al.,* 2006). Posee actividad antioxidante, anti-VIH, inhibitoria de enzimas y antitumoral (Gnabre *et*

al., 2015; Guzmán-Beltran *et al*., 2016), destacando que en la revisión de literatura realizada, su uso como desinfectante en instalaciones pecuarias, no ha sido reportado. Por lo tanto, el objetivo de este estudio, fue determinar la técnica y el disolvente que permita obtener la mayor proporción de material extractable de hojas de Creosote bush, y evaluar su uso como desinfectante para control de *Salmonella typhimurium* al aplicarlo en instalaciones avícolas.

Material y métodos

Experimento 1. Obtención, cuantificación de material extractable y estudio de susceptibilidad antimicrobiana de S. typhimurium

Material vegetal

Las muestras vegetales se colectaron en el municipio de Matehuala, en la localidad "Cerrito Blanco" coordenadas latitud: 23.6667 y longitud: –100.583 en San Luis Potosí. De las plantas seleccionadas se cortó únicamente el último tercio de la copa, para preservarlas y asegurar el rebrote (Bruneton, 2001). Un ejemplar completo se colecto e identificó y se depositó en el herbario Isidro Palacios del Instituto de Investigación de Zonas Desérticas de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Las muestras se limpiaron y se secaron a la sombra hasta peso constante, una vez secas, se separaron las hojas de los tallos. Las hojas se molieron hasta alcanzar un tamaño de partícula de 1 mm (Thomas Wiley mill, Thomas Scientific LLC, Swedesboro, NJ, EEUU) y se almacenaron en un recipiente de vidrio obscuro a temperatura del medio (22°C) para su posterior uso.

Obtención y cuantificación de material extractable

La obtención de material extractable de las hoja de Creosote bush, se realizó por proceso de infusión, con cinco tiempos de extracción (calentamiento): 0, 10, 20, 30 y 40 minutos, usando tres diferentes disolventes: agua desionizada (AI), etanol (E) y metanol (M) al 90% v/v. 1 g de las hojas secas y molidas se colocaron en tubos de ensayo (20 x 200 mm) y se adicionaron 40 mL de cada uno de los disolventes previamente mencionados, se agitaron y se sumergieron en baño serológico (Fisherbrand, Hampton, Nuevo Hampshire, EEUU) a temperatura de 65°C constante y agitación programada cada 5 minutos; además se evaluó un método de decocción usando únicamente agua desionizada como disolvente (AD), el cual consistió en elevar la temperatura de la suspensión (1 gramo de planta y 40 mL de agua) hasta 98°C con los mismos tiempos de extracción. Al término de cada tiempo, los tubos se retiraron del baño serológico, se filtraron por vacío a través de papel wathman número 4 (GE Healtcare, Chicago, Illinois, EEUU), se dejaron enfriar durante 30 minutos a temperatura ambiente (22°C), posteriormente, previa agitación, se colecto 1 mL de cada tubo y se transfirió a un crisol identificado, seco y pesado y se colocó en una estufa de desecación por aire forzado (Modelo 509076, Labolan, España) a 96°C durante 48 horas. La cuantificación de material extractable, se determinó por diferencia de peso final y peso inicial. Este procedimiento se realizó tres veces, con una semana de diferencia entre proceso (replicas), usando tres tubos por disolvente y por tiempo de calentamiento (repeticiones).

Concentración del material extractable

Se repitió el procedimiento usando 25 gramos del material vegetal para obtener 1 L de suspensión. Las suspensiones obtenidas usando E y M, se concentraron en un rotavapor (Buchi R-124 y Watherbarth B-481, Labortechnik AG, Alemania) con presión reducida a 55°C, y las obtenidas usando AI y AD se concentraron en una olla de impregnación al vacío Gastrovac (International Cooking Concepts, Barcelona, España), a 55°C, acoplada a un destilador durante 45 minutos. Los concentrados acuosos y alcohólicos obtenidos se llevaron a sequedad total en estufa de desecación por aire forzado a 50°C durante 48 horas.

Métodos de estudio de susceptibilidad antimicrobiana de S. typhimurium *a los extractos de Creosote*

Para determinar la concentración mínima inhibitoria (CMI) y la concentración mínima bactericida (CMB) de los extractos obtenidos de Creosote sobre *S. typhimurium*, se usó la cepa ATCC 14028, serotipo B, donada por el Laboratorio Estatal de Salud Pública del Estado de San Luis Potosí, México. Las pruebas de sensibilidad se realizaron de acuerdo a los métodos estandarizados por el Clinical and Laboratory Standards Institute (2017); el medio de cultivo fue caldo tripticasa de soya (Becton, Dickinson and Company, EEUU) para la técnica de microdilucion en caldo, usando un equipo Sensititre ARIS 2X (Thermo Scientific), y agar mueller-hinton (Becton, Dickinson and Company, EEUU) para la técnica de pozos en agar. Las concentraciones del extracto evaluado fueron 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900 y 1000 mg mL^{-1} de agua estéril, y únicamente agua estéril como control positivo de crecimiento; como control negativo se usó el antibiótico ceftriazona solución inyectable (PiSA Farmacéutica, Guadalajara, Jalisco, México) en concentración de 100 mg mL^{-1}. Además se elaboraron las gráficas de relación entre los puntos de corte de la técnica de microdilucion y el diámetro de los halos de inhibición de los extractos de Creosote sobre *S. typhimurium* como lo describen Taroco *et al*. (2006) para determinar los criterios de sensibilidad y resistencia a cada extracto.

Análisis estadístico

Los resultados de la tasa de extracción se analizaron en un diseño completamente al azar, el análisis de la varianza se efectuó utilizando el procedimiento para modelos lineales generales (PROC GLM) del programa SAS (2008), incluyendo la réplica en el modelo (Pinos-Rodríguez *et al*., 2002). La comparación de medias, se realizó por prueba de Tukey del paquete estadístico SAS (2008).

Experimento 2. Desinfección de instalaciones

Para comprobara el efecto bactericida del extracto contra *S. typhimurium*, se realizó una prueba de desinfección de instalaciones.Este experimento se realizó en una granja de aves del municipio de Rio Verde, San Luis Potosí, adecuándose a las políticas internas de la granja. Se usaron nueve galpones (10 m de ancho, 100 m de largo y 4 m de alto a la cumbrera). Al término del ciclo de engorda y salida de los pollos, los galpones se cerraron durante 24 horas (vacío sanitario), posteriormente se abrieron y con pala mecánica se retiró la pollinaza (heces de los pollos).

Cada uno de los siguientes tratamientos se aplicó aleatoriamente a tres galpones:

1) Desinfección de rutina (DR), el lavado se realizó tallando las superficies con una solución al 5% de detergente en polvo DLM-300 (Química Vita S.A. de C.V., México) y enjuagando conforme se aplicaba; se dejó secar durante 24 horas. Al término de este tiempo, se realizó un segundo lavado con una solución de Biosolve® (Bayer de México S.A. de C.V., Mé-

xico), 150 mL disueltos en 15 L de agua, se enjuago y se dejó secar 24 horas. Posteriormente, se roció una solución de hipoclorito de sodio al 5% (Ácidos y Solventes S.A. de C.V., México), una vez seco, se desinfectó usando el producto comercial Farm Fluid® (Bayer de México S.A. de C.V., México) empleando una dilución 1:200, posteriormente, se aplicó el producto comercial SPF 11-15® (Sanfer, México) en una dilución de 1:1000, ambos, utilizando un termonebulizador (SSF-200, Swissmex, México) transcurriendo un tiempo de 24 horas entre aplicaciones y lavando con agua al finalizar la desinfección.

2) Desinfección con Creosote (DC): Del material extractable por el método de decocción, se preparó un solución con 400 mg mL^{-1} de agua (pH 3,2), se roció usando una aspersora motorizada de mochila portátil (Campera 4T Swissmex, México) con caudal de 7,1 L min^{-1} y se dejó secar durante 24 horas.

3) Vacío sanitario (VC), únicamente se usó como método de desinfección el vacío sanitario anteriormente mencionado.

Este procedimiento se realizó durante tres ciclos de engorda consecutivos (replicas).

Toma de muestras y conteo bacteriano

En los galpones, se marcaron al azar en el piso, la pared, el techo y la cortina, 10 cuadros de 25 cm^2, (5 x 5 cm), distribuidos aleatoriamente. Las tomas de las muestras se realizaron siguiendo el protocolo de la granja, para ello se realizó un frote con hisopos estériles en los cuadros delimitados y se colocaron en tubos de ensayo que contenían 9 mL de solución amortiguadora de fosfato salino (Becton, Dickinson and Company, EEUU). Inmediatamente después se trasladaron al laboratorio de control de calidad de la granja. De cada uno de estos tubos se tomó una alícuota de 20 μL, se sembraron en placa con medio *Salmonella Shigella* (Becton, Dickinson and Company, EEUU) y se incubaron a 37°C durante 24 h. Al finalizar, se contaron las unidades formadoras de colonias (UFC), identificadas por su color beige con centros blancos, y se realizaron los cálculos para obtener el número de UFC por metro cuadrado.

Pruebas bioquímicas diferenciales realizadas a las colonias aisladas

De las UFC, aisladas en las diferentes partes del galpón, se tomaron aleatoriamente 3 UFC por sitio de muestreo (piso, pared, techo y cortina), se colocaron en tubos de ensayo de 12 x 75 mm que contenían 3 mL de solución salina estéril (Becton, Dickinson and Company, EEUU), se ajustó la turbiedad a 0,50 unidades de la escala de McFarland con un densitómetro DensiChek (Biomérieux, Francia). Para realizar las pruebas bioquímicas diferenciales y confirmar el serovar *typhimurium,* se utilizó un equipo VITEK 2 (Biomérieux, Francia).

Análisis estadístico

El número de UFC se transformó a logaritmo natural para que cumplieran con homogeneidad de varianza y se analizaron en un diseño completamente al azar. El análisis de varianza se efectuó utilizando el procedimiento para modelos lineales generales (PROC GLM), la comparación de medias, se realizó por prueba de Tukey del paquete estadístico SAS (2008).

Resultados y discusión

Experimento 1

Obtención del material extractable

En relación a la obtención y cuantificación de material extractable, el uso de los disolventes al igual que los tiempos de calentamiento para la extracción, mostraron diferencia significativa ($P < 0,01$). Usando agua con el proceso de decocción se obtuvo el mayor por-

centaje de extracción, (36,43%, Tabla 1), no se encontró efecto de la interacción disolvente por tiempo ($P > 0,01$). Los diversos disolventes usados para obtener los extractos, tales como etanol, metanol (Tequida-Meneses *et al*., 2002; Martins *et al*., 2009; Martins *et al*., 2013;) y acetona (Moreno-Limón *et al*., 2011; Martins *et al*., 2012) entre otros, así como los diferentes métodos, entre los que se citan el de reflujo en equipo soxlet (Lira-Saldívar *et al*., 2006), extracción asistida por microondas (Martins *et al*., 2009) o por remojo (Tequida-Meneses *et al*., 2002) y el tiempo en el proceso de extracción, los cuales varían desde 1 minuto (Martins *et al*., 2009) hasta 13 días (Moreno-Limón *et al*., 2011), son factores que en conjunto con las características fisicoquímicas de los compuestos de las hojas de la planta, entre los que destacan los lignanos fenólicos, como el ácido dihidroguayaretico, el hemi-norisoguayacin y el ácido nordihidroguayaretico, flavonoides, triterpenos y saponinas (Lira-Saldívar *et al*., 2006), pueden influir en el porcentaje de material extractable obtenido y la actividad antimicrobiana, lo que explicaría la inconsistencia de los resultados reportados en diversos experimentos. Al respecto de estos resultados, los porcentajes de extracción obtenidos en todos los tratamientos, son mayores a los reportados por Rhoades (1977) y Lira-Saldívar (2003), quienes obtuvieron 20% y 26% de material extractable respectivamente. Martins *et al*. (2012) reportó que usando metanol como disolvente, se obtiene la mayor concentración de lignanos fenólicos, compuestos a los que se les atribuyen las propiedades biocidas de los extractos, sin embargo, la toxicidad del metanol (EPA, 2013) limitaría su uso en áreas como las destinadas a la producción de alimento para consumo humano. En este estudio se demostró que el empleo de agua como disolvente, con 40 minutos de inmersión, permite extraer el más alto porcentaje de fitoquímicos de las hojas de la planta, con la ventaja que el agua no representa toxicidad como el metanol.

Tabla 1. Porcentaje de material extractable usando diferentes disolventes y tiempos de extracción.
Table 1. Percentage of extractable material using different solvents and extraction times.

Disolvente	Tiempo (min)				
	0	10	20	30	40
E	8,01^{c}	14,33^{c}	18,16^{c}	22,00^{c}	28,00^{d}
M	9,24^{b}	16,22^{b}	22,66^{b}	26,28^{b}	31,22^{c}
AI	6,10^{c}	13,17^{c}	19,28^{c}	27,52^{c}	35,57^{b}
AD	16,21^{a}	23,04^{a}	25,03^{a}	28,18^{a}	36,43^{a}
EEM	0,014	0,013	0,013	0,013	0,014

E, etanol; M, metanol; AI, agua por proceso de infusión; AD, agua por proceso por decocción. EEM= error estándar de la media. ^{a,b} Superíndices diferentes dentro de la misma columna, indican diferencia estadística significativa ($P < 0,01$).

En cuanto a las pruebas de control de *Salmonella*, usando agua como disolvente y el proceso de decocción, se encontró mayor efecto bactericida a menor dosis (Tabla 2), la concentración mínima inhibitoria se alcanzó con 200 mg mL^{-1}, con un halo de inhibición de 10 mm de diámetro y la mínima bactericida con 300 mg mL^{-1}, generando un halo de 13 mm de diámetro, lo mismo se observa en los criterios de susceptibilidad antimicrobiana según la relación entre los puntos de corte y el diámetro de los halos de inhibición (Figura 1).

El ensayo *in vitro* (Tabla 2) demostró que el extracto acuoso obtenido por decocción inhibe el crecimiento de *S. typhimurium* con una mayor eficiencia a una concentración de 150 mg mL^{-1}, generando halos de inhibición de mayor diámetro (10 mm), comparado con los extractos alcohólicos (8 mm con metanol y 9 mm con etanol). López-Aguirre *et al*. (2016) realizaron la identificación por espectrofotometría de los compuestos activos extraídos de hojas de Creosote usando el proceso de infusión con agua desionizada, confirmaron la presencia de dos compuestos principales, el ácido nordihidroguayarético y Kaempferol, ambos pertenecen al grupo químico de los fenoles. Su mecanismo de acción en los patógenos se debe a que provoca una pérdida de sitios activos en el citoplasma y desacoplamiento de la fosforilación oxidativa (Cabrera *et al*., 2007; Arreguín y Macías, 2012; Park *et al*., 2012). Esto sugiere que las propiedades biocidas del extracto obtenido pueden atribuirse directamente a los metabolitos presentes en las soluciones acuosas y no por efecto de disolvente como el metanol o etanol usados para su extracción.

Tabla 2. Concentración mínima inhibitoria, concentración mínima bactericida y diámetro de los halos de inhibición obtenidos con los extractos de Creosote bush sobre *S. typhimurium.*
Table 2. Minimum inhibitory concentration, minimum bactericidal concentration and diameter of the inhibition halos obtained with the extracts of Creosote bush on S. typhimurium.

Tratamiento	Concentración mínima inhibitoria		Concentración mínima bactericida	
	Dosis (mg mL^{-1})	Diámetro del halo (mm)	Dosis (mg mL^{-1})	Diámetro del halo (mm)
E	400	9	500	12
M	300	8	400	11
AI	300	10	400	12
AD	200	10	300	13
Ceftriazona	100	20	100	20

E, etanol; M, metanol; AI, agua por proceso de infusión; AD, agua por proceso por decocción.

Experimento 2

Desinfección de instalaciones

Los procedimientos de desinfección resultaron con diferencia estadísticamente significativa en relación al número de unidades formadoras de colonia (UFC). La mayor cantidad de UFC ($P < 0,01$) se presentó con el procedimiento de VS, en todos los tipos de superficie (Tabla 3). En el techo y la cortina las UFC fueron estadísticamente iguales ($P > 0,01$) con los procedimientos de DR y DC. Sin embargo, en el piso, la cantidad de UFC al apli-

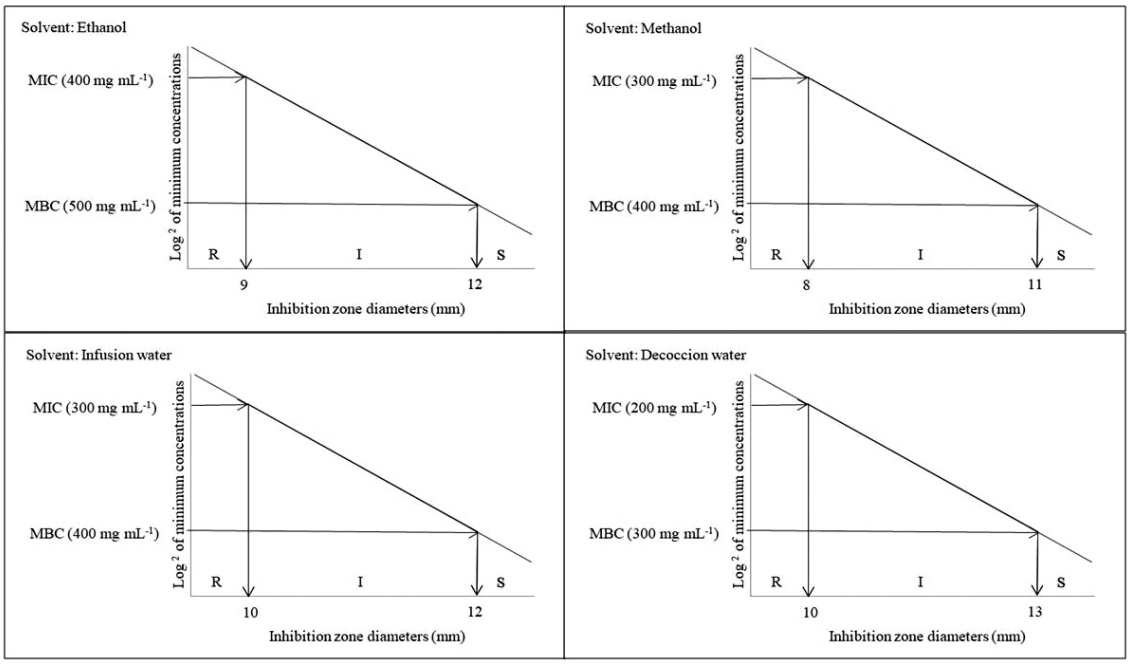


Figura 1. Criterios de susceptibilidad antimicrobiana según la relación entre el punto de corte de la concentración mínima inhibitoria (MIC) y bactericida (MBC), obtenidos de la técnica de microdilución, y el diámetro de los halos de inhibición, obtenidos con la técnica de pozo en agar con extractos de Creosote bush sobre *S. typhimurium.* R = resistente, I = intermedio, S = sensible.
Figure 1. Criteria for antimicrobial susceptibility according to the relationship between the cut-off point of the minimum inhibitory concentration (MIC) and bactericide (MBC), obtained from the microdilution technique, and the diameter of the inhibition halos, obtained with the well technique in agar with extracts of Creosote bush on S. typhimurium*. R = resistant, I = intermediate, S = sensitive.*

Tabla 3. Numero de UFC* aisladas en las diferentes partes del galpón.
Table 3. Number of CFU isolated in the different parts of the pens.

Procedimiento	Superficie			
	Piso	Pared	Techo	Cortina
Vacío sanitario	9,6[a]	8,0[a]	8,4[a]	6,9[a]
Desinfección de rutina	6,5[c]	7,5[b]	7,3[b]	5,5[b]
Desinfección con Creosote	7,6[b]	7,0[c]	7,6[b]	5,0[b]
EEM	0,20	0,10	0,87	0,10

*UFC: Unidades Formadoras de colonias, expresadas como Ln. [a,b,c] Superíndices diferentes dentro de la misma columna, indican diferencia estadística significativa ($p < 0,01$). EEM = Error Estándar de la Media.

car DR fue menor ($P < 0,01$) en comparación con la aplicación de DC. En tanto que en la pared el procedimiento con DC mostró una capacidad de desinfección más eficiente pues se registró una menor cantidad de UFC ($P < 0,01$), en comparación con el procedimiento de DR.

Lainez *et al.* (2008) mencionan que aproximadamente en el 60% de las naves avícolas se puede encontrar *Salmonella* en las instalaciones después de la limpieza y desinfección, principalmente en comederos y bebederos, así como en las superficies, comúnmente en las de difícil acceso, como consecuencia de un fallo del programa de limpieza y desinfección realizado durante el vacío sanitario.

Identificación de microorganismos aislados

La confirmación realizada por el equipo Vitek 2 por reacciones bioquímicas al microorganismo aislado en el galpón (Tabla 4), corres-

Tabla 4. Resultados de las pruebas bioquímicas realizadas por el equipo Vitek 2 aplicadas al microorganismo aislado.
Table 4. Results of the biochemical tests performed by the Vitek 2 device applied to the isolated microorganism.

Prueba Bioquímica y resultado							
Ala–Phe–Pro–Arylamidase	–	D Mannose	+	L Proline Arlamidase	+	Beta N Acetyl Galactosaminidase	–
Adonitol	–	Beta Xylosidase	–	Lipase	–	Alpha Galactosidase	+
L–Pyrrolydonyl–Arylamidase	–	Beta Alanine arytamidase pNA	–	Palatinose	+	Phosphatase	+
L–Arabitol	–	L Proline Arlamidase	–	Tyrosine Arylamidase	–	Glycine Arylamidase	–
D–Cellobiose	–	Lipase	–	Urease	+	Ornithine decarboxylase	+
Beta–Galactosidase	–	Palatinose	–	D Sorbitol	+	Lysine Decarboxylase	+
H_2S Production	+	Tyrosine Arylamidase	+	Saccharose / Slicrose	–	Decarboxylase base	–
Beta–N–Acetyl–Glucosaminidase	–	Urease	–	D Tagatose	–	L Histidine assimilation	–
Gutamyl Arylamidase pNA	–	D Sorbitol	+	D Trehalose	+	Colimarate	+
D Glucose	+	Saccharose / Slicrose	–	Citrate Sodium	+	Beta Glucoronidase	–
Gamma Glutamyl transferase	–	D Tagatose	–	Malonate	–	O 129 Resistance (comp. Vibrio)	+
Fermentation Glucose	+	D Trehalose	+	S Keto D Gluconate	–	Glu Gly Arg Arylamidase	–
Beta Glucosidase	–	Citrate Sodium	+	L Lactate alkalinisation	+	L Malate assimilation	–
D Maltose	+	Malonate	–	Alpha Glucosidase	–	Ellman	–
D Mannitol	+	Beta Alanine arytamidase pNA	–	Sliccinate alkalinisation	–	L Lactate assimilation	–

Interpretación realizada por el equipo Vitek 2, de acuerdo a las reacciones bioquímicas diferenciales: Organismo identificado = *Salmonella typhimurium,* 99% de probabilidad.

ponde con un 99% de seguridad a la bacteria *Salmonella* serovariedad *typhimurium*, de acuerdo a la guía de interpretación de reacciones bioquímicas diferenciales (CLSI, 2017).

La desinfección por DR, requiere del uso de diversos agentes químicos y un gasto excesivo de agua, incluye el uso de detergentes, los cuales, en condiciones de almacenamiento inadecuadas, pueden contaminarse por bacilos gram negativos, además, en los procedimientos de desinfección con productos químicos, para poder lograr su máxima eficiencia, se requiere que se aplique más de un producto, debido a los diferentes mecanismos de acción para el control de patógenos (Kahrs, 1995; Block, 2001), estos, como ya se mencionó, generalmente son tóxicos y tienen efecto residual contaminante. La menor concentración de UFC aisladas en piso y paredes, cuando se realiza DR, podría deberse, además del efecto de los productos químicos aplicados, a los lavados y enjuagues de las superficies entre aplicaciones, por efecto de arrastre de microorganismo (Kahrs, 1995; Block, 2001), efecto que no se observa en cortinas y techos por la dificultad que representa hacerles un lavado riguroso. Los compuestos fenólicos también actúan sobre los lípidos, es por ello que al aplicar el extracto de Creosote en las instalaciones, puede tener efecto directo sobre *Salmonella typhimurium*, al causarle disrupción de la membrana plasmática debido a que está formada principalmente por lípidos y proteínas (Parra *et al*., 2002). López-Aguirre *et al*. (2016) no encontraron signos de toxicidad aguda o crónica en nefrocitos, hepatocitos, perfil enzimático y parámetros bioquímicos en sangre por efecto de la ingesta de infusión de Creosote en ratas, pero si reguló la expresión génica de citoquinas TNF-α, IL-1B e IL-6, concluyendo que el uso de extractos acuosos de hojas de Creosote, en caso de ser ingeridos, no representan peligro de toxicidad.

Conclusión

El extracto acuoso de hojas de Creosote es una alternativa de desinfección natural y de fácil aplicación para control de *Salmonella typhimurium* en instalaciones avícolas comerciales, así mismo, se podría utilizar en sistemas de producción de traspatio de zonas rurales, donde las instalaciones rústicas, el acceso limitado o el alto costo de desinfectantes comerciales son factores limitantes para desinfectar sus instalaciones.

Referencias bibliográficas

Argüello H, Rubio P, Jaramillo A, Barrios V, Garcia M, Carvajal A (2011). Evaluation of cleaning and disinfection procedures against *Salmonella enterica* at swine farms, transport and lairage facilities. 9th International Conference on the Epidemiology and Control of Biological, Chemical and Physical Hazards in Pigs and Pork. Safepork 2011. 19-22 de junio, Maastricht, The Netherlands, pp. 254-257. https://doi.org/10.31274/safepork-180809-636

Arreguín V, Macías JH (2012). Asepsia, uno de los grandes logros del pensamiento. Revista Digital Universitaria 13: 1-11.

Bashya B, Li L, Bains T, Debnath A, La Barbera DV (2017). *Larrea tridentata*: A novel source for anti-parasitic agents active against *Entamoeba histolytica*, *Giardia lamblia* and *Naegleria fowleri*. PLoS Neglected Tropical Diseases 11(8): e0005832. https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0005832

Block SS (2001). Disinfection, Sterilization, and Preservation. Lippincott Williams and Wilkins, Philadelphia,PA.

Bruneton J (2001). Farmacognosia, fitoquímica, plantas medicinales, 2ª edición. Acribia, Zaragoza, España. 1100 pp.

Buzby JC, Frenzen PD, Rasco B (2001). Product liability and foodborne illness Food and Rural Economics Division, Economic Research Service, U.S. Department of Agriculture, Washington, DC. 41 pp. https://doi.org/10.22004/ag.econ.34059

Cabrera CE, Gómez RF, Zúñiga AE (2007). La resistencia de bacterias a antibióticos, antisépticos y desinfectantes una manifestación de los mecanismos de supervivencia y adaptación. Colombia Médica 38: 149-158.

Chih-Shan L, Yu-Chun W (2003). Surface Germicidal Effects of ozone for Microorganisms. AIHA Journal 64: 533-537. https://doi.org/10.1080/15428110308984851

Clinical and Laboratory Standards Institute (CLSI) (2017). Performance Standards for Antimicrobial Susceptibility Testing. 27th ed. CLSI supplement M100. Wayne, PA; 320 pp.

EPA (2013). Toxicological review of methanol (noncancer) (CAS No. 67-56-1) In Support of Summary Information on the Integrated Risk Information System (IRIS) September. Environmental Protection Agency Washington, DC. 212 p.

Fàbrega A, Vila J (2013). *Salmonella enterica* serovar *Typhimurium* skills to succeed in the host: virulence and regulation. Clinical Microbiology Review 26: 308-41. https://doi.org/10.1128/CMR.00066-12

Gnabre J, Bates R, Huang RC (2015). Creosote bush lignans for human disease treatment and prevention: Perspectives on combination therapy. Journal of Traditional and Complementary Medicine 5: 119-126. https://doi.org/10.1016/j.jtcme.2014.11.024

Guzmán-Beltran S, Rubio-Badillo MA, Juárez E, Hernández-Sánchez F, Torres M (2016). Nordihydroguaiaretic acid (NDGA) and alpha-mangostin inhibit the growth of *Mycobacterium tuberculosis* by inducing autophagy. International Immunopharmacology. 31: 149-157. https://doi.org/10.1016/j.intimp.2015.12.027

Higgins SE, Wolfenden AD, Bielke LR, Pixley CM, Torres-Rodriguez A, Vicente JL, Bosseau D, Neighbor N, Hargis BM, Tellez G (2005). Application of ionized reactive oxygen species for disinfection of carcasses, table eggs, and fertile eggs. The Journal of Applied Poultry Research 14: 716-720. https://doi.org/10.1093/japr/14.4.716

Kahrs RF (1995). Principios generales de la desinfección. Scientific and technical review of the office international des epizooties 14(1): 143-163.

Lainez M, Hernandis A, Marín C (2008). Limpieza y desinfección de granjas de puesta: La herramienta para luchar contra *Salmonella* spp. Selecciones Avícolas 19: 7-16.

Lira-Saldívar RH (2003). Estado Actual del Conocimiento sobre las Propiedades Biocidas de la Gobernadora [*Larrea tridentata* (D.C.) Coville]. Revista Mexicana de Fitopatología 21(2): 214-222.

Lira-Saldívar RH, Hernández-Suárez M, Hernández-Castillo FD (2006). Activity of *Larrea tridentata* (D.C.) Coville. Extracts and chitosan against fungi that affect horticultural crops. Revista Chapingo Serie Horticultura 12(2): 211-216. http://dx.doi.org/10.5154/r.rchsh.2006.05.023

López-Aguirre S, García-López JC, Pinos-Rodriguez JM, Yáñez-Estrada L, López-Hernández Y (2016). Chemical characterization and oral toxicity of an aqueous extract of *Larrea tridentata*. Journal of Natural Products Resource 2(2): 79-82.

Martins S, Aguilar CN, De La Garza Rodriguez I, Mussatto SI, Teixeira JA (2009). Kinetic study of nordihydroguaiaretic acid recovery from *Larrea tridentata* by microwave assisted extraction. Book of Abstracts of MicroBiotec09, 28-30 de noviembre, Vilamoura, Portugal.

Martins S, Aguilar CN, Teixeira JA, Mussatto SI (2012). Bioactive compounds (phytoestrogens) recovery from *Larrea tridentata* leaves by solvents extraction. Separation and Purification Technology 88: 163-167. https://doi.org/10.1016/j.seppur.2011.12.020

Martins S, Amorim E, Peixoto Sobrinho T, Saraiva AM, Pisciottano M, Aguilar C, Teixeira JA, Mussatto SI (2013) Antibacterial activity of crude methanolic extract and fractions obtained from *Larrea tridentata* leaves. Industrial Crops and Products 41: 306-311. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.04.037

Moreno-Limón, S, González-Solís LN, Salcedo-Martínez SM, Cárdenas-Avila ML, Perales-Ramírez A (2011). Efecto antifúngico de extractos de gobernadora (*Larrea tridentata* L.) sobre la inhibición *in vitro* de *Aspergillus flavus* y *Penicillium* sp. Polibotánica 32: 193-205.

Park JS, Brown MT, Han T (2012). Phenol toxicity to the aquatic macrophyte *Lemna paucicostata*. Aquatic Toxicology 106-107: 182-188. https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2011.10.004

Parra M, Durango J, Máttar S (2002). Microbiología, patogénesis, epidemiología, clínica y diagnóstico de las infecciones producidas por *Salmonella*. Revista MVZ Córdoba 7(2): 187-200. https://doi.org/10.21897/rmvz.521

Pinos-Rodríguez JM, González Muñoz SS, Mendoza Martínez GD, Martínez Garza A (2002). Análisis estadístico de experimentos de digestibilidad *in vitro* con forrajes. Interciencia 27(3): 143-146.

Rhoades DF (1977). Integrated antiherbivore, antidesiccant and ultraviolet screening properties of Creosote bush resin. Biochemistry and Systematics Ecology 5: 281-290. https://doi.org/10.1016/0305-1978(77)90027-8

Rojas MJ, García M, Masdeu V (2002). Resultados del análisis microbiológico de yacijas de paja de arroz utilizadas en la avicultura. Revista Cubana de Ciencia Avícola 26: 121-123.

Statistical Analysis System (SAS) (2008). Statistics Software. Release 9.1.3, SAS Institute, Inc., Cary, NC, USA.

Taroco R, Seija V, Vignoli R (2006). Métodos de estudio de la sensibilidad antibiótica. en: Temas de Bacteriología y Virología Médica (Ed. Departamento de Bacteriología y Virología. Instituto de Higiene), pp. 663-671. Facultad de Medicina, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay.

Tequida-Meneses M, Cortez-Rocha M, Rosas-Burgos EC, López-Sandoval S, Corrales-Maldonado C (2002). Effect of alcoholic extracts of wild plants on the inhibition of growth of *Aspergillus flavus*, *Aspergillus niger, Penicillium chrysogenum, Penicillium expansum, Fusarium moniliforme* and *Fusarium poae* moulds. Revista Iberoamericana de Micología 19: 84-88.

(Aceptado para publicación el 18 de febrero de 2020)

Nota técnica

La actividad sexual de corderos a los ocho meses de edad como predictor de su actividad sexual adulta

J.A. Abecia[1,*], C. Ferreira[2] y M. Carvajal-Serna[1]

[1] Instituto Universitario de Investigación en Ciencias Ambientales de Aragón (IUCA). Universidad de Zaragoza, Calle de Miguel Servet, 177, 50013 Zaragoza, España
[2] Instituto Universitario de Matemáticas y Aplicaciones (IUMA). Universidad de Zaragoza, Calle de Miguel Servet, 177, 50013 Zaragoza, España

Resumen

Predecir la actividad sexual de un morueco lo antes posible puede ser una herramienta de gran utilidad, especialmente en centros de selección y recogida de semen. El objetivo de este trabajo fue estudiar la concordancia de la actividad sexual –medida a través de test de comportamiento– de moruecos a los 8 y a los 32 meses de edad, para predecir el comportamiento sexual adulto a una edad temprana. Para ello, se sometió a sendos test de monta en el mes de junio (20 minutos de exposición a tres ovejas en celo) a 18 moruecos nacidos en octubre, a los 8 y 32 meses de edad. Se midieron el número de aproximaciones a las hembras y los intentos de monta con y sin eyaculado de cada animal. Cada macho fue clasificado en un ranking del 1 al 18 (1: mejor macho; 18: peor macho) tras calcularse su calificación (número total de eventos observados). Se aplicó un modelo de regresión lineal para predecir el ranking y la calificación adulta a partir de la juvenil. Ambos parámetros adultos se relacionaron en gran medida con los tempranos (r^2 = 0,594 y 0,365, respectivamente; $p < 0,0001$). La predicción fue especialmente buena para los peores machos, de modo que los ocho últimos corderos del ranking fueron igualmente los ocho últimos moruecos a los 32 meses. En conclusión, la actividad sexual adulta de un morueco podría predecirse con una alta determinación a partir de su medición a edades tempranas, siendo una herramienta especialmente útil para eliminar precozmente los peores machos.

Palabras clave: Ovinos, moruecos, actividad sexual, predicción.

Sexual activity of eight-month old ram-lambs as a tool to predict adult sexual activity

Abstract

The possibility of predicting sexual activity of rams during their adult life at the earliest opportunity could be a very useful tool, especially in ram selection centers. With the aim of predicting serving capacity of adult rams by their performance at 8 months of age, 18 October-born rams were used. At 8 and 32 months of age (June) they were individually exposed for 20 min to three estrous ewes, and the num-

* Autor para correspondencia: alf@unizar.es

Cita del artículo: Abecia JA, Ferreira C, Carvajal-Serna M (2020). La actividad sexual de corderos a los ocho meses de edad como predictor de su actividad sexual adulta. ITEA-Información Técnica Económica Agraria 116(4): 306-310. https://doi.org/10.12706/itea.2020.005

ber of approaches, attempted mountings, and mountings were recorded. Rams were ranked (1 to 18) after the calculation of their scores (total number of observed events). A regression model was applied to predict sexual rank at 32 months of age based on the 8-month ranking. Adult ram ranking and score were largely the result of the rank at 8 months of age ($r^2 = 0.594$ and 0.365, resp.; $p < 0.0001$). The prediction of the rank at 30 months of age was outstanding for the worst rams, so that the worst 8 rams ranked at 8 months were the same than at 32 months of age. Serving capacity tests carried out with ram-lambs at early ages may be a tool to estimate sexual activity of adult rams, especially to eliminate the worst ram-lambs before they reach adult life.

Keywords: Sheep, rams, sexual activity, prediction.

Introducción

La posibilidad de predecir la actividad sexual de un morueco durante su vida adulta lo antes posible podría ser una herramienta muy útil para la selección y el manejo de los futuros reproductores, especialmente en ganaderías especializadas en la venta de sementales, o en aquellos centros de recogida de semen para inseminación artificial. De ese modo, ciertos machos podrían ser retirados a edades tempranas, sin necesidad de esperar a su edad adulta, con el consiguiente ahorro de espacio, dinero y tiempo. Ya se ha señalado anteriormente que la determinación del valor genético de un candidato a futuro semental ovino a edades tempranas sería muy importante para ganar eficacia en el proceso de selección, sobre todo al acortar los tiempos necesarios para iniciar los testajes (Elmaz *et al.,* 2008). Además, se ha demostrado que las notas alcanzadas en los test de comportamiento sexual presentan una moderada heredabilidad y alta repetibilidad, de modo que una medición temprana del rendimiento sexual de los moruecos puede ser una herramienta positiva en los procesos de selección (Snowder *et al.,* 2002).

El objetivo de este trabajo fue estudiar la concordancia entre la actividad sexual –medida a través de test de comportamiento– de moruecos a los 8 y a los 32 meses de edad, con el fin de predecir su comportamiento sexual adulto a una edad temprana.

Material y métodos

Este experimento se llevó a cabo en el Servicio de Experimentación Animal de la Universidad de Zaragoza (41° 41' N), bajo la supervisión del Comité de Ética de la Universidad de Zaragoza y de acuerdo a las exigencias de la Unión Europea para la experimentación animal. Se han utilizado 18 machos de raza Rasa Aragonesa, nacidos en octubre. A partir del destete, con 45 días de edad, se alojaron en grupo, aislados de la presencia de ovejas u otros machos adultos de la especie ovina. En el mes de junio, con 8 meses de edad (peso vivo (media ± DS): 37,9 ± 5,4 kg), los machos se sometieron a un test de comportamiento de monta (adaptados de Kilgour y Whale, 1980 y Damián *et al.,* 2015), de modo que fueron expuestos individualmente a tres ovejas sincronizadas en celo (tratamiento con esponjas vaginales –30 mg flugestona– durante 12 días y 480 UI de eCG a la retirada de la esponja; Syncro-part, CEVA Salud Animal, Barcelona) en un box de 15 m^2 en el interior de una nave de alojamiento ovino, durante 20 minutos. Los machos que se encontraban en espera no alcanzaban a ver la realización de los test de otros machos para evitar interacciones. Los eventos registrados fueron: número de aproximaciones a las ovejas, intentos de monta y montas con eyaculado, que fueron registrados por tres observadores independientes habituados a este tipo de test. El mismo test, en las mismas condiciones, se realizó dos años más tarde, cuando los machos

tenían 32 meses de edad (71,0 ± 6,4 kg). Entre el primer test y el segundo los machos fueron alojados en grupo y no tuvieron contacto alguno con ovejas u otros machos ovinos.

Se calculó la suma de eventos observados totales, y con esa calificación, los machos fueron clasificados en un ranking del 1 al 18 (1: mejor macho; 18: peor macho). Se calculó la correlación entre las observaciones registradas en ambas edades. Los registros medios observados en cada test de monta fueron comparados mediante la prueba de t-Student para muestras repetidas. Para predecir la clasificación y la calificación de los machos a los 32 meses mediante las observaciones a los 8, se aplicó un modelo de regresión lineal; además, mediante un modelo de regresión múltiple se determinó el mejor parámetro predictivo.

Resultados y discusión

El número de aproximaciones a las ovejas (r = 0,533) y las montas con eyaculación (r = 0,525), observadas a los 8 meses mostraron una correlación alta y positiva con los observados a los 32 meses ($p < 0,05$). Los machos exhibieron menos aproximaciones (media ± D.E.) (5,0 ± 1,5 *vs.* 13,7 ± 3,2) y montas con eyaculado (0,8 ± 0,3 *vs.* 1,9 ± 0,3) a la edad joven que a la adulta ($p < 0,05$), sin diferencias para el número de intentos de monta (1,8 ± 0,7 *vs.* 1,3 ± 0,5, respectivamente). El ranking y la calificación alcanzadas a la edad adulta fue en gran medida determinado por los valores presentados a los 8 meses de vida ($r^2 = 0,594$ y 0,365, respectivamente; $p < 0,0001$). Tanto la predicción del puesto en el ranking entre machos alcanzado como la nota obtenida (número de eventos presentados por los machos) a los 32 meses fue excepcional para los últimos machos, de modo que los ocho peores machos a los 8 meses fueron los mismos que a los 32 (Figura 1). El análisis de regresión múltiple mostró que el número de montas con eyaculado a los 8 meses fue el parámetro que mejor predijo el rango y la calificación de los machos en su etapa adulta ($y = 11,500 – 3,000x$, $r^2 = 0,427$ para el ranking; $y = 9,826 + 9,081x$, $r^2 = 0,389$ para la calificación, $p < 0,01$).

En machos de raza Kivircik se ha observado una correlación positiva entre el peso vivo, las medidas testiculares, y los niveles de testosterona plasmática entre los días 80 y 120 de edad con la calidad seminal en la etapa adulta, de modo que puede plantearse una selección muy temprana de los futuros sementales (Elmaz *et al*., 2008). Existen más evidencias de predicción de la calidad seminal adulta a partir de medidas registradas incluso antes de la pubertad, tal y como han publicado Yarney y Sanford (1993) o Langford *et al.* (1989), que encontraron que la combinación de peso vivo y testosterona plasmática a los tres meses de edad presentaban una alta relación ($r^2 = 0,79$) con la calidad espermática a los 13-14 meses de edad. Si bien estas relaciones proporcionan una muy buena predicción de la calidad seminal adulta, esto no significa que los animales presenten el suficiente nivel de libido y predisposición a cubrir ovejas, ya que calidad seminal y vigor de cortejo no están relacionados de manera consistente (Gibson y Jewell, 1982). Por ello, estas mediciones anatómicas podrían ser complementarias a los test de comportamiento de monta como los planteados en este trabajo, los cuales, además, pueden servir para predecir la actividad reproductiva de los moruecos en el campo y así poder ajustar de manera más eficiente la ratio macho/hembras en los rebaños (Perkins *et al.,* 1992).

Conclusiones

En conclusión, en las condiciones de nuestro trabajo, la actividad sexual adulta de un morueco podría predecirse con una alta determinación a partir de su medición a edades tempranas, pudiendo ser una herramienta

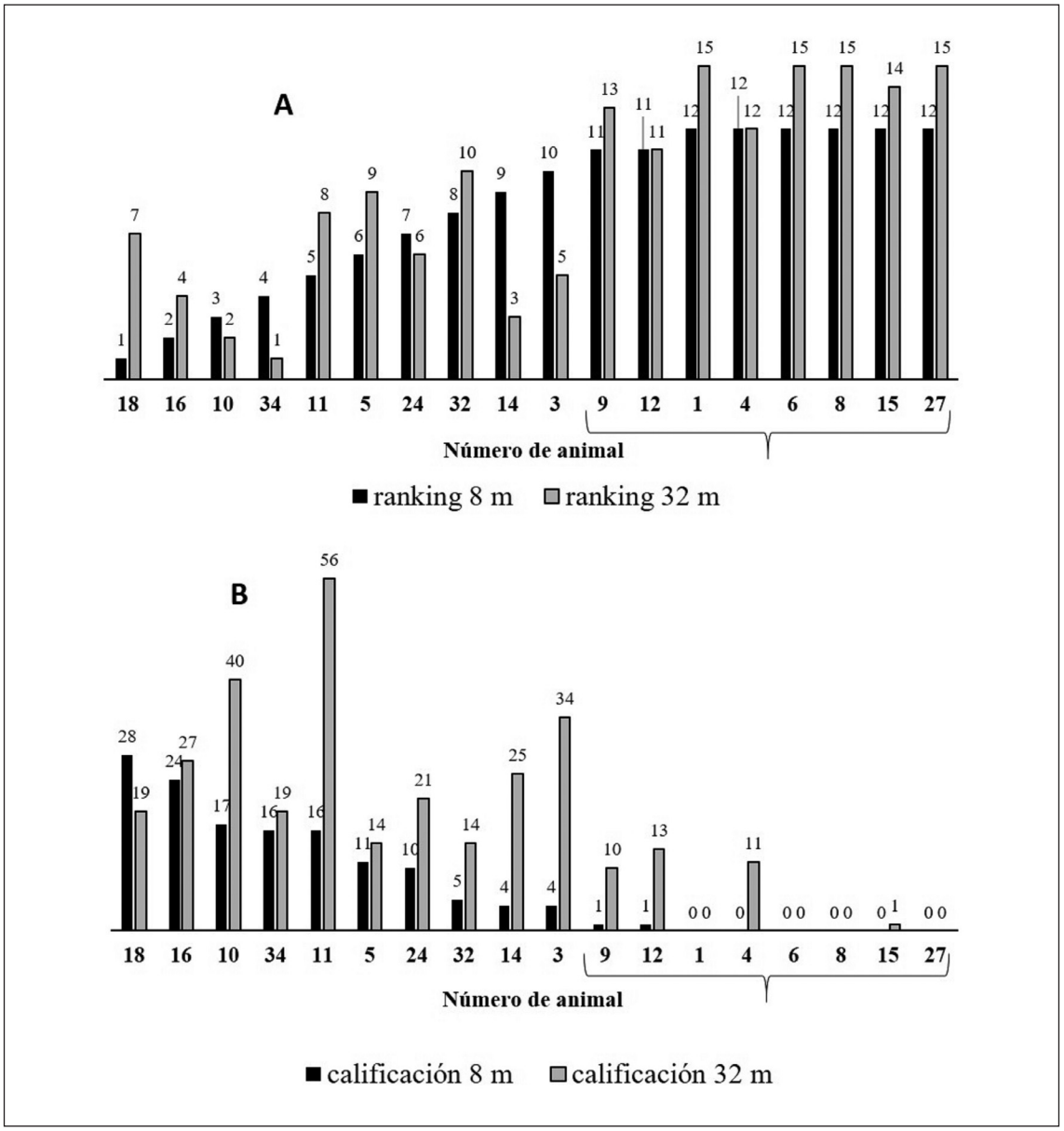


Figura 1. Ranking alcanzado por machos de raza Rasa Aragonesa (A) y calificación obtenida (suma de eventos observados) (B) a los 8 y 32 meses de edad, tras la realización de test de comportamiento de monta (machos con la misma nota resultan empatados, por lo que el ranking oscila entre 1 y 12 a los 8 meses o 1 y 15 a los 32 meses). Las cifras encima de cada columna indican el número en el ranking o la calificación obtenida. Los animales dentro de la llave son los 8 peores en ranking y calificación.
Figure 1. Ranking and note obtained by Rasa Aragonesa rams at 8 and 32 months of age, after serving capacity test (rams with the same score are classified as even). Figures above each column indicate position in the ranking or score obtained.

especialmente útil para eliminar precozmente los peores machos. Sin embargo, son necesarios más trabajos que incluyan test de comportamiento a edades intermedias para confirmar estas observaciones. Además, este test podría simplificarse en condiciones de campo a únicamente la observación de las montas con eyaculación, ya que éste es el parámetro que mejor predice el comportamiento adulto.

Agradecimientos

Los autores agradecen la ayuda de José Antonio Ruiz y Antonio Barrio en la realización de los test de comportamiento. Trabajo financiado por el proyecto AGL2017-82118-R del Programa Estatal de Investigación, Desarrollo e Innovación Orientada a los Retos de la Sociedad.

Referencias bibliográficas

Damián JP, Beracochea F, Hötzel MJ, Banchero G, Ungerfeld R (2015). Reproductive and sexual behaviour development of dam or artificially reared male lambs. Physiology & Behavior 147: 47-53. https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2015.04.004

Elmaz O, Dikmen S, Cirit Ü, Demir H (2008). Prediction of postpubertal reproductive potential according to prepubertal body weight, testicular size, and testosterone concentration using multiple regression analysis in Kivircik ram lambs. Turkish Journal of Veterinary and Animal Science 32: 335-343.

Gibson RM, Jewell PA (1982) Semen quality, female choice and multiple mating in domestic sheep: a test of Trivers' sexual competence hypothesis. Behaviour 80: 9-30. https://doi.org/10.1163/156853982X00418.

Kilgour RJ, Whale RG (1980). The relation between mating activity of rams in pens and subsequent flock mating performance. Australian Journal of Experimental Agriculture 20: 5-8. https://doi.org/10.1071/EA9800005.

Langford GA, Shrestha JNB, Marcus GJ (1989). Repeatability of scrotal size and semen quality measurements in rams in a short-day light regime. Animal Reproduction Science 19: 19-27. https://doi.org/10.1016/0378-4320(89)90043-2.

Perkins A, Fitzgerald JA, Price EO (1992). Sexual performance of rams in serving capacity tests predicts success in pen breeding. Journal of Animal Science 70: 2722–2725. https://doi.org/10.2527/1992.7092722x.

Snowder GD, Stellflug JN, Van Vleck LD (2002). Heritability and repeatability of sexual performance scores of rams. Journal of Animal Science 80: 1508-1511. https://doi.org/10.2527/2002.8061508x

Yarney TA, Sanford LM (1993). Pubertal development of ram lambs: physical and endocrinological traits in combination as indices of postpubescent reproductive function. Theriogenology 40: 735-744. https://doi.org/10.1016/0093-691X(93)90209-N.

(Aceptado para publicación el 4 de abril de 2020)

Emisiones en la producción de forrajes de las explotaciones lecheras

G. Salcedo

Dpto. Calidad e Innovación, CIFP "La Granja", Barrio Estación, 25B. 39792 Heras, Cantabria

Resumen

Los objetivos del presente trabajo fueron los de estimar las emisiones en la producción de forrajes de las explotaciones lecheras de Cantabria y su huella de carbono, considerando el uso indirecto de la tierra y el potencial secuestro de carbono de los restos vegetales y del purín. Sesenta explotaciones de vacuno lechero de Cantabria fueron clasificadas en tres modelos forrajeros: i) Pradera (P); ii) Pradera-Maíz (PMz) y iii) Pradera-Maíz-Cultivos Forrajeros de Invierno (PMzCFI), para estimar los gases de efecto invernadero de los forrajes. Los cultivos forrajeros fueron hierba de pradera en pesebre (HPP); ensilado de hierba (EHM) y raigrás italiano (ERM) en microsilos; ensilados de hierba (EHT) y maíz (EMz) en trinchera. Las emisiones de P, PMz y PMzCFI fueron 1519, 1851 y 2382 kg CO_{2eq} ha^{-1}, respectivamente; de ellas, el 20,1 % proceden de las operaciones de cultivo; 9,2 % de los consumibles y 70,6 % del suelo. Las emisiones de los forrajes dentro de la superficie que ocupan en una hectárea fueron 515 kg CO_{2eq} para HPP, 886 kg CO_{2eq} para EHM, 774 kg CO_{2eq} para EHT, 747 kg CO_{2eq} para EMz y 678 kg CO_{2eq} para HPP. Los restos vegetales aportaron 2866 kg MS ha^{-1} y 3769 kg el purín, equivalente a 4580 kg C con un potencial de secuestro de carbono de 458 kg. En general, la huella de carbono de cada modelo forrajero sin secuestro de carbono fue 0,219; 0,257 y 0,271 kg CO_{2eq} kg^{-1} MS en P, PMz y PMzCFI, respectivamente, y entre forrajes de 0,189; 0,266; 0,232; 0,223 y 0,395 kg CO_{2eq} kg^{-1} MS para HPP, EHM, EHT, EMz y ERM respectivamente. Estos últimos se redujeron hasta 0,0075; 0,069; 0,036; 0,025; 0,17 kg CO_{2eq} kg^{-1} MS para HPP, EHM, EHT, EMz y ERM respectivamente, al considerar el secuestro de carbono. El manejo del nitrógeno fue la variable mejor relacionada incluyendo o no el secuestro de carbono. Se concluye señalando que las emisiones por hectárea aumentan con la intensificación, pero disminuyen por kilogramo de materia seca producido. Reemplazar el uso de microsilos (EHM y ERM) por los de trinchera en hierba (EHT) puede ser una opción de mitigación, con emisiones similares al EMz. El cálculo de la huella de carbono debe considerar como sumidero a los restos vegetales y el purín, quienes pueden contribuir compensando el 80 % del total de carbono emitido en la producción de un kilogramo de materia seca.

Palabras clave: Modelo forrajero, producción de leche, emisiones, gases de efecto invernadero, secuestro de carbono.

Emissions in forage production of dairy farms

Abstract

The aim of this work was to estimate the emissions in the forage production of dairy farms in Cantabria and their carbon footprint, considering the indirect use of the land and the potential carbon sequestration of plant remains and from the slurry. Sixty dairy cattle farms in Cantabria were classified into three fod-

* Autor para correspondencia: gregoriosal57@gmail.com

Cita del artículo: Salcedo G (2020). Emisiones en la producción de forrajes de las explotaciones lecheras. ITEA-Información Técnica Económica Agraria 116(4): 311-337. https://doi.org/10.12706/itea.2020.008

der models: i) Grassland (P); ii) Grassland-Maize (PMz) and iii) Grassland-Maize-Winter Forage Crops (PMzCFI), in order to estimate greenhouse gases from forage. The forage crops were grass in cattle feeder (HPP); grass silage (EHM) and Italian ryegrass (ERM) in round bale silage; grass silage (EHT) and maize (EMz) in trench. The emissions of P, PMz and PMzCFI were 1519, 1851 and 2382 kg CO_{2eq} ha^{-1}, respectively; of which, 20.1 % come from cultivation operations; 9.2 % of consumables and 70.6 % of soil. The emissions of forages within the surface that they occupy in one hectare were 515 kg CO_{2eq} for HPP, 886 kg CO_{2eq} for EHM, 774 kg CO_{2eq} for EHT, 747 kg CO_{2eq} for EMz and 678 kg CO_{2eq} for HPP. Vegetable remains contributed 2866 kg DM ha^{-1} and 3769 kg slurry, equivalent to 4580 kg C with a carbon sequestration potential of 458 kg. In general, the carbon footprint of each fodder model without carbon sequestration was 0.219, 0.257 and 0.271 kg CO_{2eq} kg^{-1} MS in P, PMz and PMzCFI respectively and between forages of 0.189, 0.266, 0.232, 0.223 and 0.395 kg CO_{2eq} kg^{-1} of dry matter for HPP, EHM, EHT, EMz and ERM respectively. The latter decreased to 0.0075, 0.069, 0.036, 0.025, 0.17 kg CO_{2eq} kg^{-1} MS for HPP, EHM, EHT, EMz and ERM respectively when carbon sequestration was taken into account. The nitrogen management was the best related variable, whether taking or not into consideration the carbon sequestration. Emissions per hectare increase with intensification, but decrease per kilogram of dry matter produced. The reduction of use of round bale silage (EHM and ERM) by increasing those in trench grass (EHT) may be a mitigation option, with emissions similar to EMz. For the calculation of the carbon footprint, plant residues and slurry must be considered as a carbon sink, which can contribute to compensate 80 % of the total carbon emitted in the production of one kilogram of dry matter.

Keywords: Fodder model, milk production, emissions, greenhouse gases, carbon sequestration.

Introducción

La producción ganadera y la alimentación animal constituyen el 80 % de las emisiones totales de la agricultura (Andeweg y Reisinger, 2013). La energía fósil (CO_2), el uso del suelo, el óxido nitroso (N_2O) de la producción de alimentos (Smith *et al.,* 2008), junto con el metano (CH_4) de los rumiantes son los agentes causantes de gases de efecto invernadero mayoritarios. Mientras, las actividades agrícolas se han considerado más recientemente que las ganaderas (Hillier *et al.,* 2009; Mahmuti *et al.,* 2009; Gan *et al.,* 2011). La huella de carbono se define como la cantidad de $CO_{2\text{-}eq}$ emitido por unidad de alimento producido, mientras la sostenibilidad del sistema depende en parte de su huella y de la producción de biomasa (Dubey y Lal, 2009). La mayoría de los estudios no incluyen el secuestro de carbono en el cálculo de la huella en los forrajes, debido a limitaciones metodológicas (Brandão *et al.,* 2013) y si en otros (Petersen *et al.,* 2013; Mogensen *et al*., 2014) mediante modelos de simulación. No obstante, la agricultura se comporta como un sumidero potencial de carbono, pudiendo absorber hasta el 89 % del carbono emitido (Smith *et al.,* 2008).

Los prados actúan como sumideros de carbono (Vleeshouwers y Verhagen, 2002) y los suelos agrícolas como emisores, dependiendo del balance de C del suelo. Sin embargo, Lal (2001) señaló para suelos agrícolas secuestros de 0,5 t C ha^{-1} a 1 t C ha^{-1} con solo mejorar su gestión. No obstante, el IPCC (2006) señala que el tipo y manejo del cultivo puede modificar la cantidad de carbono secuestrado por el suelo. Otros como Mahmuti *et al.* (2009), demostraron que una parte significativa de las emisiones de gases de efecto invernadero, pueden reducirse con prácticas agrarias que aumenten el rendimiento y el almacenamiento de carbono en el suelo (Gan *et al.,* 2011).

El carbono acumulado en el suelo es una función del aporte de abonos orgánicos y restos de cosecha, menos el lixiviado disuelto y ligado a partículas del suelo, erosión, descomposición microbiana y la mineralización que

lo convierten en CO_2 (Kindler *et al.,* 2011). La huella de carbono de los alimentos del ganado no tiene un valor fijo y depende entre otros, de su potencial productivo y manejo (Middelaar *et al*., 2013), pudiendo representar el fertilizante nitrogenado el 75 % de la huella en algunos casos (Hillier *et al.,* 2009). Sin embargo, la fertilización nitrogenada, junto con el consumido por la planta y la eficiencia de conversión son estrategias de mitigación en la producción forrajera (Snyder *et al*., 2009).

El objetivo del presente trabajo fue estimar las emisiones en la producción de forrajes de las explotaciones lecheras, considerando el uso indirecto de la tierra y el potencial secuestro de carbono procedente del aporte de los restos vegetales y del purín.

Material y métodos

Explotaciones

Sesenta explotaciones de vacuno lechero de Cantabria fueron encuestadas en los años 2017 y 2018 (30 cada año) y clasificadas según el modelo de producción forrajera en: i) Prado (P, 43,3 % de las explotaciones); ii) Prado-Maíz (PMz, 11,7 %) y iii) Prado-Maíz-Cultivos Forrajeros de Invierno (PMzCFI, 45 %). Las entrevistas *in situ*, incluían cuestiones relacionadas con: i) localización, ii) base territorial, porcentaje de superficie por cultivo forrajero, iii) fertilización, iv) composición y manejo del rebaño, v) alimentación de los animales, vi) producción y composición química de la leche, vii) maquinaria, viii) consumo de energía. Los forrajes analizados fueron hierba de pradera en pesebre (HPP), ensilados de hierba (EHM) y raigrás italiano en microsilos (ERM), ensilados de hierba en trinchera (EHT) y ensilado de maíz (EMz). El porcentaje de superficie de cada forraje dentro de una hectárea de la superficie agrícola útil (SAU) y sus producciones viene señalado en la Tabla 1.

Valoración de las emisiones y de la huella de carbono

La Figura 1 representa los límites del sistema para el cálculo de las emisiones y huella de carbono, tomándose como unidad funcional "1 kg de materia seca" expresado en kg CO_{2eq}. Ambas, emisiones y huella, son valoradas a partir de: i) la superficie de cada cultivo forrajero que ocupan en una hectárea y ii) por hectárea, como la suma del total de emisiones de cada cultivo. Los gases de efecto invernadero de cada forraje fueron analizados siguiendo un análisis de ciclo de vida a partir de las entradas y salidas en la explotación, estimándose en cada caso: i) sin el secuestro de carbono (SC) ni el cambio de uso de la tierra indirecto ($iLUC_{ind}$) definido como (MS_{origen}); ii) considerando el SC, (MS_{origen} – SC) y iii) el $iLUC_{ind}$, (MS_{origen} – SC + iLUC) con el modelo de simulación DairyCant (Salcedo, 2015). Los inputs de las "operaciones de cultivo (OC)", los "consumibles (CON)", del "suelo (SU)" y sus respectivos factores de emisión vienen señalados en la Tabla 2.

El aporte de purín asumido por el DairyCant viene señalado en la Tabla 3 y las estimaciones de la producción de forraje y restos de cosechas en la Tabla 4. Estos últimos fueron divididos como biomasa "por arriba" y "por abajo". La primera incluye el rastrojo (diferencia entre la biomasa recolectada y el material recolectado a nivel del suelo) y, las pérdidas mecánicas (forraje recolectado y caído al suelo), principalmente en el maíz y la segundo, las raíces. La biomasa "por abajo" de la pradera y del raigrás proceden de trabajos previos obtenidos a partir del peso de las raíces contenidas en 0,015 m^3 de tierra. Las del maíz se estimaron mediante la extracción mecánica de 5 m lineales a 25 cm de profundidad y cortadas a la altura de las raíces adventicias o de anclaje. Las raíces fueron lavadas y secadas en estufa para expresarlas en kilogramos de materia seca por hectárea. Posteriormente, la biomasa radicular de los cul-

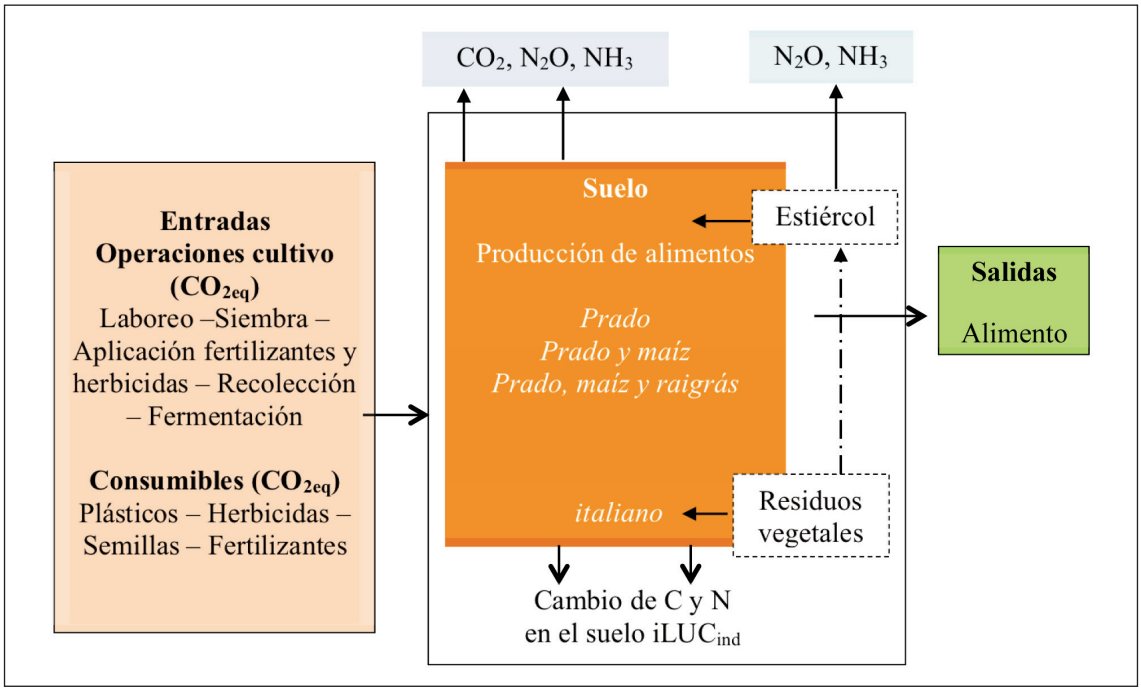


Figura 1. Entradas y salidas de $CO_{2\text{-}eq}$ en la producción de forrajes (Adaptado de Mogensen *et al.,* 2014).
Figure 1. $CO_{2\text{-}eq}$ inputs and outputs in forage production (Adapted from Mogensen et al., 2014).

tivos forrajeros se relacionó con la producción total de materia seca recolectada por hectárea y año para la hierba y el raigrás, (Tabla 2), mientras las del maíz se expresó en porcentaje de la materia seca recolectada. Los restos vegetales y el purín son las fuentes de carbono consideradas e incorporadas al suelo. El primero fue estimado como: kg MS de biomasa x 45 % C, siendo 45 el porcentaje de C contenido en la materia seca incorporada (IPCC, 2006) y el segundo: kg N del purín ha^{-1} x porcentaje de purín aplicado a cada cultivo (Tabla 3) x 11,9. Se asume para el purín, un contenido en materia seca de 106 ± 26 g kg^{-1} y una relación C/N de 11,9 (Salcedo, 2011). Se consideró que el 10 % del C aportado puede ser secuestrado en un horizonte a 100 años (Petersen *et al.,* 2013). El factor de 1,43 t de CO_2 ha^{-1} (Audsley *et al.,* 2009) fue asumido para el $iLUC_{ind}$.

Cálculo de emisiones y factores de emisión

Operaciones de cultivo

Se asume una labor profunda y otra superficial para el maíz y dos superficiales para los cultivos forrajeros de invierno (CFI). La fertilización nitrogenada de síntesis fue de 120 kg ha^{-1} y 62 kg ha^{-1} en maíz y CFI respectivamente. El maíz se siembra con sembradora neumática y los CFI a chorrillo. La hierba para ensilado se siega con segadora rotativa y motosegadora para el suministra en pesebre. La hierba y los CFI son transportados con un autocargador cuando el forraje fermenta en silos trinchera. Mientras la del maíz es contratada a empresas de servicios, ejecutándose con segadora-picadora autopropulsada y conservándose en silos trinchera con doble capa de plástico. El CO_2 de la fermentación

Tabla 1. Características técnico-productivas de las explotaciones.
Table 1. Technical-productive characteristics of farms.

	Conjunto ± sd	P	PMz	PMzCFI
Número de explotaciones	60	26	7	27
Superficie				
Total, ha	30 ± 17	26^{ab}	22^{a}	36^{b}
Prados, %	82,6 ± 19	100^{c}	80^{b}	67^{a}
Maíz, %	30 ± 15	0	20	33
CFI(1), %	31 ± 19	0	0	31
Animales				
UGM ha^{-1}	3,17 ± 1,53	3,00	3,40	3,26
Vacas lecheras ha^{-1}	1,91 ± 0,91	1,74	2,40	1,94
Fertilización				
N orgánico y mineral, kg ha^{-1}	308 ± 222	206^{a}	396^{b}	384^{b}
N orgánico, kg ha^{-1}	279 ± 216	190	353	345
N mineral, kg ha^{-1}	29 ± 46	16	42	39
NUE, %	62,8 ± 14,3	58	62	67
P orgánico y mineral, kg ha^{-1}	48 ± 24	45	46	51
P orgánico, kg ha^{-1}	32 ± 14	38^{b}	29^{ab}	27^{a}
P mineral, kg ha^{-1}	16 ± 21	7^{a}	17^{ab}	25^{b}
Producción de forrajes(2)				
Materia seca, kg MS ha^{-1}	8934 ± 1887	8601^{a}	8720^{a}	10930^{b}
Hierba en pesebre, kg MS	3581 ± 1677	4367^{a}	3145^{ab}	2644^{b}
Ensilado hierba, kg MS	3500 ± 1732	4234^{b}	3313^{ab}	2755^{a}
Maíz, kg MS	3386 ± 1811	–	2262	3677
CFI, kg MS	1854 ± 886	–	–	1854
Compra de alimentos				
Concentrados, kg vaca lechera año^{-1}	3316 ± 1091	3068^{ab}	2735^{a}	3706^{b}
Concentrado, kg ha año^{-1}	7532 ± 5324	6142	8318	8667
Forraje, kg ha año^{-1}	2730 ± 3205	1697^{a}	4754^{b}	3213^{ab}
Producción de leche				
Kg leche vaca lechera año^{-1}	8235 ± 2098	7180^{a}	8020^{ab}	9306^{b}
Kg leche ha^{-1}	16335 ± 10358	13061^{a}	19795^{b}	18592^{b}

P: Pradera; PMz: Pradera-Maíz; PMzCFI: Pradera-Maíz-Cultivos de Invierno; NUE: eficiencia utilización del N suelo; (1): Cultivos forrajeros de invierno; (2): Materia seca correspondiente al porcentaje de superficie de cada cultivo y simulada con el DairyCant (1.0); sd: desviación estándar; $^{a, b}$ y ^{c} dentro de la misma fila difieren $P < 0,05$.

Tabla 2. Factores de emisión utilizados en los diferentes procesos de producción.
Table 2. Emission factors used in the different production processes.

Grupo	Input	Operación	Unidad	Factor emisión	Referencia
Operaciones de cultivo	*Operaciones agrícolas*(1)	Picadora maíz	kg CO_2/ha	320	Eco-invent (2007)
		Abonadora centrífuga	kg CO_2/ha	25,24	
		Hilerador rotativo	kg CO_2/ha	10,76	
		Segadora rotativa	kg CO_2/ha	23,26	
		Sembradora	kg CO_2/ha	22,65	
		Fresadora	kg CO_2/ha	62,25	
		Subsolador y vertedera	kg CO_2/ha	118,2	
		Autocargador	kg CO_2/ m3	0,62	
		Repartidor de purín	kg CO_2/m3	1,2	
		Pulverizador	kg CO_2/ha	25,24	
		Rotoempacadora	kg CO_2/ha	31,1	
Consumibles	*Fertilizantes sintéticos*	N	kg CO_2/ha	6,20	IPCC (2006)
		P_2O_5	kg CO_2/ha	0,939	
		K_2O	kg CO_2/ha	0,51	
	Pesticidas	Metalacloro	kg CO_2/kg MA	9,97	IPCC (2006)
		Terbutilazina	kg CO_2/kg MA	9,09	
		Sulcotriona	kg CO_2/kg MA	9,02	
		Clorpirifos	kg CO_2/kg MA	9,02	
	Plásticos		kg CO_2/kg	2,0	IPCC (2006)
	Semillas		kg CO_2/kg	0,3	Rotz *et al.* (2015)
	Fermentación ensilados		kg CO_2/kg MS	0,234	Davies (2008)

Tabla 2. Factores de emisión utilizados en los diferentes procesos de producción (continuación).
Table 2. Emission factors used in the different production processes (continuation).

Grupo	Input	Unidad	Factor emisión	Referencia
Suelo	Aplicación fertilizante	kg N_2O/kg N	0,01	Velthof y Mosquera (2011)
	Volatilización del amoníaco	kg N_2O/kg N-NH_3 volatilizado	0,005	Velthof y Oenema (1997)
	Lixiviación de nitrato	kg N_2O/kg N lixiviado	0,025	Velthof y Oenema (1997)
	Restos de cosecha	Kg/kg N	0,01	IPCC (2006)
	Aplicación purín	kg N_2O/kg N	0,003	Velthof y Mosquera (2011)
	Fijación biológica	kg N_2O/kg N fijado	0,005	Velthof y Oenema (1997)
	Suelo	Kg N_2O/ha y año	0,9	Velthof y Oenema (1997)
	Pastoreo	kg N_2O/kg N menos NH_3	0,025	Schill *et al*. (2006)
	Deposición atmosférica	Kg N_2O/kg N	0,02	Fraters *et al.* (2007)
	Compra fertilizante	kg N-N_2O/kg N	0,005	Kaspar y Tiedje (1981)

(1): Las emisiones incluyen las de la producción de diésel y maquinaria (50%), y de la combustión del diésel (50%); MA: materia activa; MS: materia seca.

Tabla 3. Porcentaje de purín de cada forraje y destino.
Table 3. Slurry percentage of each forage and destination.

	P	PMz		PMzCFI		
	Prado	Prado	Maíz	Prado	Maíz	Cultivos forrajeros invierno
Hierba verde (%)	50	25	–	16,5	–	16,5
Ensilado (%)	50	25	50	16,5	34	16,5

P: Pradera; PMz: Pradera-Maíz; PMzCFI: Pradera-Maíz-Cultivos de Invierno.

de los ensilados se fijó en 0,24 kg kg^{-1} de materia seca perdida (Davies, 2008), asumiéndose unas pérdidas de 12,3 kg por 100 kg de MS ensilada en los microsilos (Salcedo *et al*., 2009), el 7 % en los de hierba y maíz respectivamente en silos trinchera.

Consumibles

Este grupo lo forman la compra de fertilizantes, fitosanitarios, semillas, plásticos, etc. El herbicida es aplicado en el maíz. Las dosis de siembra consideradas fueron 40 kg ha^{-1} en CFI y 30 kg ha^{-1} en maíz. Las características de los microsilos son de 700 kg de peso; 1,22 m de diámetro; cuatro capas de plástico (47 m^2), que junto con la cuerda equivale a 1,37 kg de plástico y un contenido del 25 % de materia seca. El plástico de los silos trinchera fue asumido de 0,3 kg t^{-1} de materia seca ensilada (Savoie y Jofriet, 2003).

Suelo

Las emisiones del suelo se clasificaron en directas e indirectas y los factores de emisión, vienen reflejados en la Tabla 2. Las emisiones directas son las asociadas al reparto de purín, fertilizantes y restos vegetales (IPCC, 2006). El purín aplicado por unidad de superficie fue estimado a partir de la excreción de N en heces y orina por Unidad Ganado Mayor (UGM) (Salcedo, 2006), multiplicada por la carga ganadera y por el porcentaje de purín asignado a cada cultivo (Tabla 3). Las emisiones de $N\text{-}NH_3$ del reparto de purín fueron de 0,19 kg kg^{-1} N aplicado y 0,025 kg kg^{-1} el N sintético (de Vries *et al.,* 2011). Las emisiones de los residuos vegetales (biomasa senescente, rastrojo y raíces) fueron el resultado de multiplicar la biomasa de cada caso (Tabla 4) por su factor de emisión (Tabla 2). A la deposición de N atmosférico le fue asignado un valor fijo de 10 kg ha^{-1} (Brentrup *et al.,* 2000); mientras, el N fijado por las leguminosas se estimó según Raison *et al.* (2006) a partir del porcentaje de trébol presente en la pradera; este último calculado a partir de la ecuación señalada en la Tabla 4.

Las emisiones indirectas contemplan la volatilización y la lixiviación después de aplicar N orgánico e inorgánico al suelo. El DairyCant estima el $N\text{-}NO_3$ lixiviado como una función del N total aplicado por hectárea y del volumen de agua drenada (Tabla 4), este último estimado a partir de la $ETP_{corregida}$ (Thornthwaite, 1948) menos las precipitaciones.

Cálculos

Balance N de la explotación

Entradas, kg N ha^{-1} = $\sum(N_{orgánico} + N_{inorgánico} + N_{atmosférico} + N_{fijación\ simbiótica} + N_{alimentos})$

Salidas, kg N ha^{-1} = $\sum(N_{leche} + N_{carne})$

Balance *N*, kg N ha^{-1} = Entradas – Salidas

Tabla 4. Ecuaciones del DairyCant.
Table 4. DairyCant equations.

Oferta biomasa, kg MS ha^{-1}	
Hierba pasto(1)	–1026 + (95,6 Altura, cm) – (0,76 Tª media) +(0,13 mm); ee = 117 r^2= 0,87
Hierba silo(1)	624,8 + (81,1 Altura) + (6,3 ETPc) – (34,0 Tª media); ee = 154 r^2 = 0,82
Maíz	21701 – (155,2 Días cultivo) + (15,6 kg N mineral) + (449 Tª media) + (3,13 Exceso de agua(3)); ee = 1148 r^2 = 0,53
CFI(2)	(a) –4319 + (38,4 Días cultivo) + (194,1 Tª media); ee = 405 r^2= 0,94
	(b) –8695 + (76,5 Días cultivo) + (60,9 Tª media) + (11,6 kg N mineral ha^{-1}); ee = 405 r^2 = 0,94
Residuos vegetales de cosecha, kg MS ha^{-1}	
Prado siega	Senescente = –26,4 + (0,107 Kg MS ha^{-1} oferta y corte)
	Rastrojo = 10,5% de la MS oferta y pastoreo y 5% en siega
	Raíces = –47,28 + (0,27 kg MS ha^{-1} oferta)
Prado pasto	Biomasa total primavera-verano = –19,2 + 0,09 kg MS ha^{-1} y corte
	Biomasa total otoño = –14,2 + 0,12 kg MS ha^{-1} y corte
Maíz	Rastrojo = 9,3% de la MS ha^{-1} en oferta
	Recolección = 7% de la MS ha^{-1}
	Raíces = 2,7% de la MS ha^{-1}
CFI(2)	Rastrojo = 5% de la MS ha^{-1} en oferta
	Recolección = 5% de la MS ha^{-1}
	Raíces = 5% de la MS ha^{-1}
Residuos vegetales de cosecha, kg N ha^{-1}	
Prado pasto y siega	Kg N/corte primavera-verano = –0,44 + 0,002 kg MS ha^{-1}
	Kg N/corte otoño = –0,37 + 0,002 kg MS ha^{-1}
Maíz	Concentración de N del rastrojo = 0,96% N sobre materia seca
CFI(2)	Concentración de N del rastrojo = 2% N sobre materia seca
% trébol en el prado	
9,29 – 0,027 kg N mineral ha^{-1}; ee = 0,63 r^2 = 0,83	
Volumen de agua drenada ha^{-1} y año	
–30,5 + (0,683 precipitación durante el tiempo de drenado); ee = 36,7 r^2 = 0,95	
Kg $N\text{-}NO_3$ lixiviado por hectárea	
Extensivos	–0,33 + (0,0004 kg N ha^{-1}) + (0,038 VD); ee = 0,36 r^2 = 0,65
Intensivos y Semiintensivos	–1,84 + (0,011 kg N ha^{-1}) + (0,043 VD); ee = 0,40 r^2 = 0,68
Pastoreo	–1,25 + (0,006 kg N ha^{-1}) + (0,072 VD); ee = 0,71 r^2 = 0,63

(1): Por aprovechamiento (2) Cultivo forrajero de invierno (a: raigrás italiano, b: cereales invierno); (3) Exceso de agua diferencia entre la precipitación y la Evapotranspiración corregida; VD: Volumen de agua drenada; ee: Error estándar de la media.

Eficiencia utilización del N de la explotación ($NUE_{explotación}$), % = (100 × Salidas)/Entradas

Balance N en el suelo

Entradas, kg N ha^{-1} = $\sum(N_{orgánico} + N_{inorgánico} + N_{atmosférico} + N_{fijación\ simbiótica} + N_{reciclado} + N_{de\ origen\ mecánico})$

Salidas, kg N ha^{-1} = $\sum$(Extracciones + N-NH_3 + N-O + N-N_2 + N-N_2O + NO_3)

Balance *N*, kg N ha^{-1} = Entradas – Salidas

NUEsuelo, % = [100 × (Extracciones – Residuos vegetales)]/(Entradas – Balance)

Producción de forraje

MS, kg ha^{-1} = $\sum(MS_{Prado} \times$ % $Superficie_{Prado}) + (MS_{CFI} \times$ %$Superficie_{CFI}$ + $(MS_{Mz} \times$ % $Superficie_{Mz})$ donde: MS_{Prado}, MS_{CFI} y MS_{Mz} son los kilogramos de materia seca de hierba (verde o conservada), cultivos forrajeros de invierno y maíz producidos dentro del porcentaje que ocupa cada uno de ellos en una hectárea.

Análisis estadístico

Los resultados de las encuestas fueron procesados mediante análisis de varianza utilizando el procedimiento GLM del programa SPSS (2006), considerando como efectos principales el modelo forrajero (P, PMz y PMzCFI) y los forrajes (HPP, EHM, EHT, EMz y ERM). Para las variables en que el efecto principal resultó estadísticamente significativo, se utilizó la prueba de Duncan para la comparación de medias. El grado de correlación entre variables fue analizado mediante el PROC REG del SPSS (2006).

Resultados y discusión

Características generales de las explotaciones

Las características técnico-productivas de los modelos forrajeros vienen reflejadas en la Tabla 1. La superficie total resultó mayor en PMzCFI ($P < 0,05$), sin diferencias en la carga ganadera y las vacas lecheras por hectárea. La producción de leche varió de los 13.061 kg ha^{-1} en Pradera (P) a máximos de 19.795 kg en Pradera-Maíz (PMz). La compra de concentrados por hectárea no difiere entre modelos forrajeros, pero sí ($P < 0,05$) la de forrajes, mayor en PMz ($P < 0,05$). La producción de forraje por hectárea fue superior en PMz CFI ($P < 0,05$), íntimamente relacionada con el porcentaje de superficie de maíz (Figura 2), aumentando 81 kg MS ha^{-1} al incrementar una unidad porcentual la superficie de maíz.

Emisiones entre sistemas y cultivos forrajeros

En general, las emisiones por hectárea aumentan con la intensificación forrajera ($P < 0,05$), obteniéndose valores medios de 1946 kg CO_{2eq} ha^{-1} (Tabla 5) y comparables a la producción de cereales grano de 2082 kg (Rajaniemi *et al.,* 2011). Así, cada incremento de una unidad porcentual en la superficie de maíz, las emisiones aumentan 35,2 kg CO_{2eq} y 32,3 kg CO_{2eq} los forrajes de invierno, reduciéndose al aumentar la superficie de pradera (Figura 3).

El suelo (SU) fue el mayor emisor de gases de efecto invernadero e independientemente del modelo forrajero, con porcentajes medios del 70,6 ± 8,3 % (Tabla 5), similares al rango de 64-76 % en trigo (Koga *et al.,* 2006). Mientras, las operaciones de cultivo (OC) representaron el 20,1 ± 5,8 % y superiores en PMzCFI *(P* < 0,05), sin diferencias en los consumibles (CON), con porcentajes medios del 9,2 ± 7,5 %. Las emisiones de cada forraje dentro de la superficie que ocupan fueron diferentes ($P < 0,05$), con mínimas de 515 kg CO_{2eq} en la hierba de pradera en pesebre (HPP) y máximas de 886 kg CO_{2eq} el ensilado de hierba en microsilos (Tabla 5).

La distribución porcentual de las emisiones para OC, CON y SU de cada modelo forrajero y forraje vienen representadas en la Figuras 4

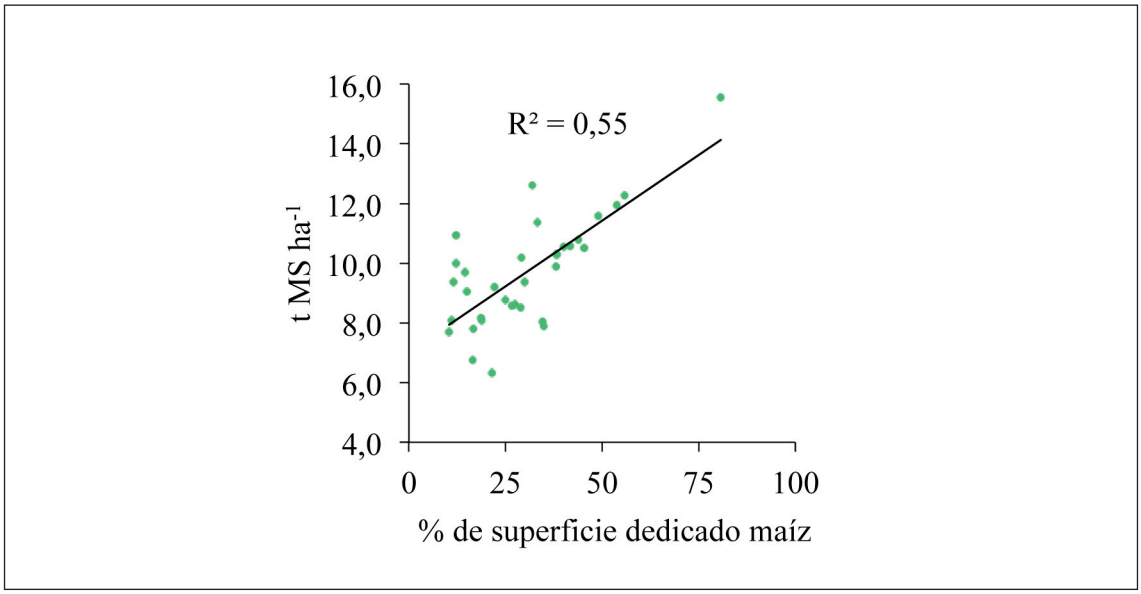


Figura 2. Relación porcentaje de maíz cultivado y la biomasa total por hectárea.
Figure 2. Relationship the percentage of maize grown and total biomass per hectare.

Tabla 5. Emisiones de cada modelo y tipo de forraje.
Table 5. Emissions of each model and type of fodder.

Kg $CO_{2\text{-eq}}$ ha^{-1}					
	P	PMz	PMzCFI	Medias	sd
	1519[a]	1851[ab]	2382[b]	1946	842
% $CO_{2\text{-eq}}$ ha^{-1}					
OC	17,7[b]	18,7[ab]	22,8[a]	20,1	5,8
CON	7,5	11,9	10,2	9,2	7,5
SU	74,7[a]	69,3[ab]	66,9[a]	70,6	8,3
Kg $CO_{2\text{-eq}}$ de cada forraje dentro del porcentaje de superficie que ocupa en una hectárea					
HPP	EHM	EHT	EMz	ERM	sd
515[a]	886[b]	774[b]	747[b]	678[ab]	498

P: Pradera; PMz: Pradera-Maíz; PMzCFI: Pradera-Maíz-Cultivos de Invierno; OC: operaciones de cultivo; CON: consumibles; SU: suelo y residuos vegetales; HPP: hierba de pradera en pesebre; EHM: ensilado de hierba en microsilos; EHT: ensilado de hierba en trinchera; EMz: ensilado de maíz; ERM: ensilado de raigrás en microsilos; sd: desviación estándar; [a] y [b] dentro de la misma fila difieren $P < 0,05$.

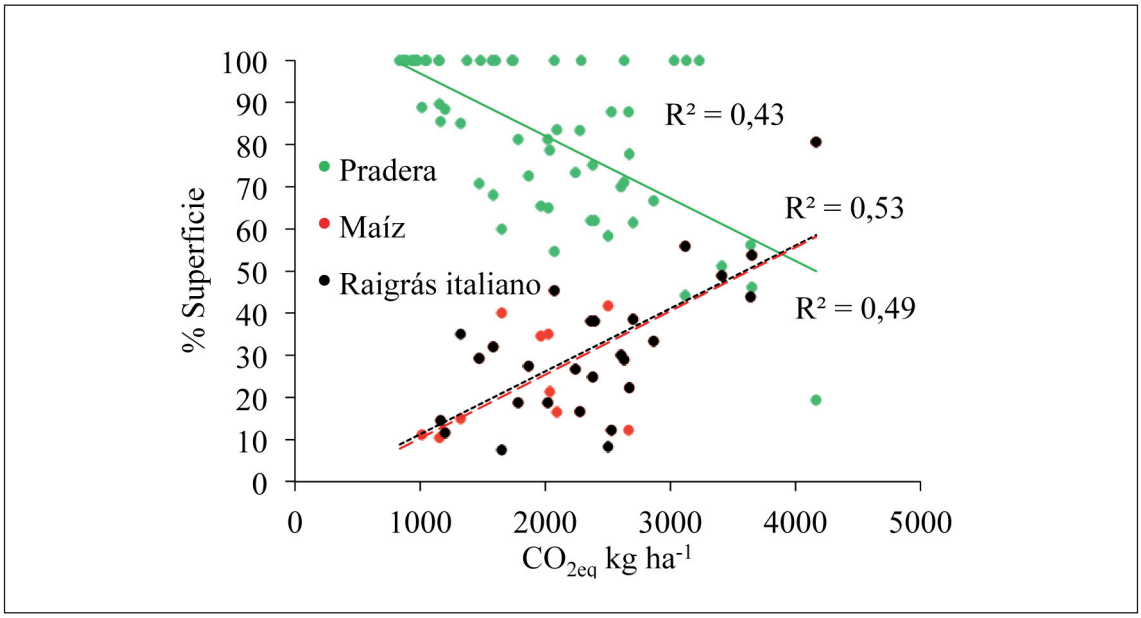


Figura 3. Relación entre emisiones de $CO_{2\text{-eq}}$ y la superficie dedicada a cada forraje.
Figure 3. Relationship between $CO_{2\text{-eq}}$ emissions and the area dedicated to each forage.

y 5. La mineralización del suelo y los restos de cosecha del (SU) representan el 32,1 % del total de CO_{2eq} en el conjunto de modelos, seguido de la volatilización del NH_3 y lixiviados de NO_3^- del 11,7 % y 10,7 % respectivamente (Figura 4). Los fertilizantes del grupo (CON) formaron las emisiones mayores con el 10,3 %; mientras, la fermentación de los ensilados lo hizo con el 6,6 % de (OC) y similares al 7,3 % ocasionadas por la siega y la recolección juntas, sin diferencias entre modelos (Figura 4).

Entre forrajes y para OC, las mayores emisiones relativas se localizaron en los procesos de fermentación del forraje, equivalentes al 11,7 % en EHM; 9,6 % en EHT y del 8,3 % en ERM (Figura 5). Mientras, las de siega y recolección fueron superiores en EMz del 13 % y las inferiores del 2,5 % en ERM, quienes representan el 43,6 % en EMz y el 12,8 % en ERM y 29,4 % en ERM del total de emisiones en este grupo. Sin embargo, el superior número de aprovechamientos en HPP, fue la causa del mayor porcentaje de emisiones en HPP del 63,5 % del total de las operaciones de cultivo. La contribución de los fertilizantes a las emisiones totales en el grupo CON fue máxima en EHT con el 11,7 % y la mínima del 3,9 % en ERM (Figura 5). El plástico de los microsilos fue 6,3 kg t^{-1} materia seca y 0,3 kg en los de trinchera, dando lugar a porcentajes de emisiones mínimas del 0,13 % en EMz y máximos de 7,2 % y 4,3 % en EHM y ERM respectivamente. Las procedentes de la mineralización y restos vegetales del suelo fueron superiores en ERM (43,2 %) y HPP (37,2 %) y, las menores en EHR del 27,6 %. Las bajas precipitaciones de verano dieron lugar a drenajes inapreciables, esta circunstancia es la causa de la ausencia de emisiones procedentes de los lixiviados en SU.

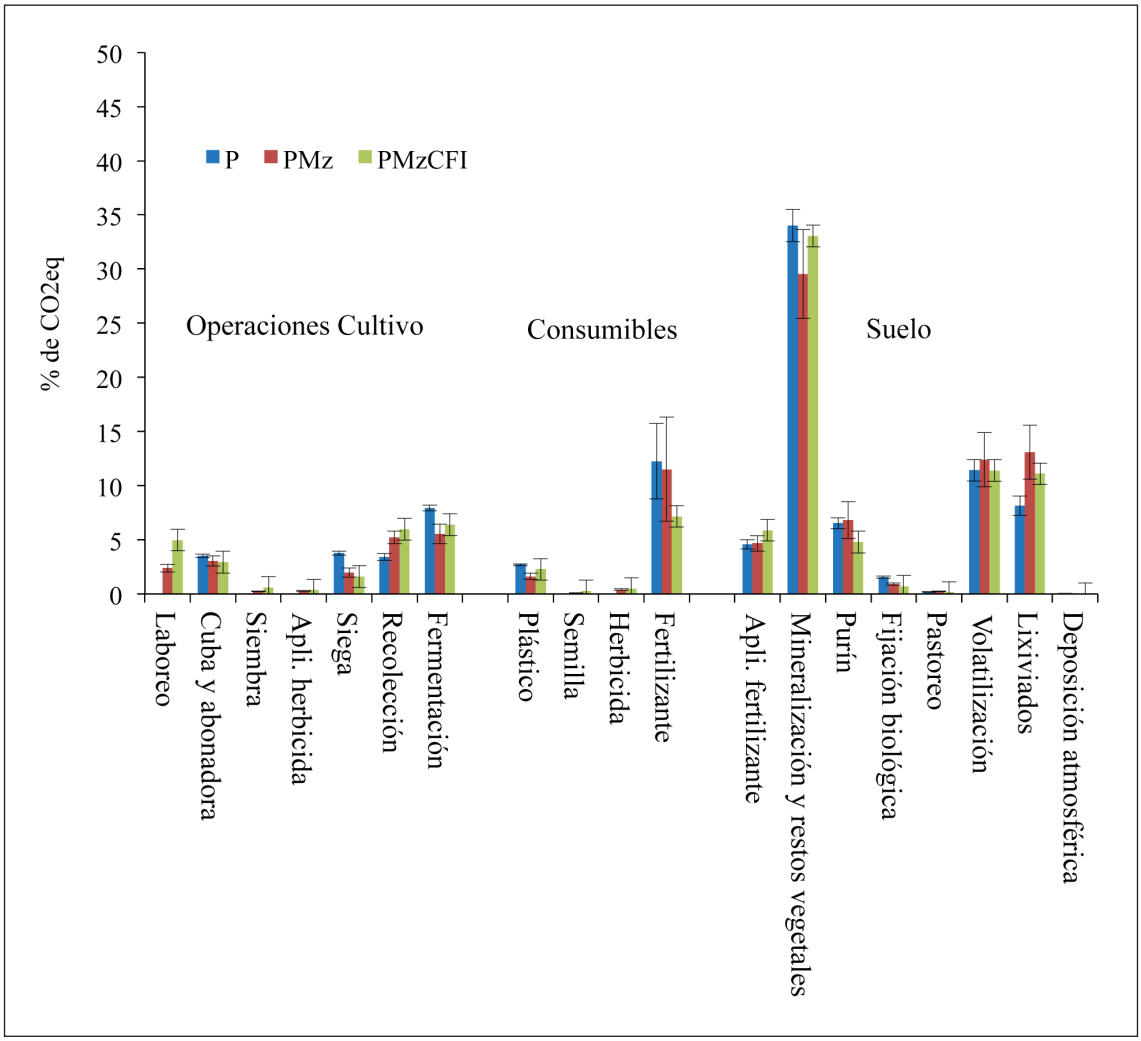


Figura 4. Distribución porcentual de las emisiones según el sistema forrajero.
Figure 4. Percentage distribution of emissions according to the forage system.

Variables relacionadas con las emisiones de las operaciones de cultivo (OC)

El porcentaje de superficie de maíz se relacionó positivamente con el CO_{2eq} de OC (r^2 = 0,89) y negativamente (r^2 = 0,88) con el de pradera (Figura 6). Incrementos de una unidad porcentual en la superficie de maíz puede aumentar 9,27 kg de CO_{2eq}, con máximos de 8,8 kg CO_{2eq} en PMzCFI (r^2 = 0,94) y mínimos de 5,4 kg CO_{2eq} en PMz (r^2 = 0,69). Las emisiones de OC se relacionaron positivamente con la producción final de materia seca por hectárea según la ecuación: –176 + 0,062 kg MS ha^{-1}; ± 129 r^2 = 0,45, con pendientes de 0,005; 0,04; 0,029; 0,062 y 0,069 kg CO_{2eq} kg^{-1} MS en HPP, EHM; EHT; EMz y ERM respectivamente (Figura 6).

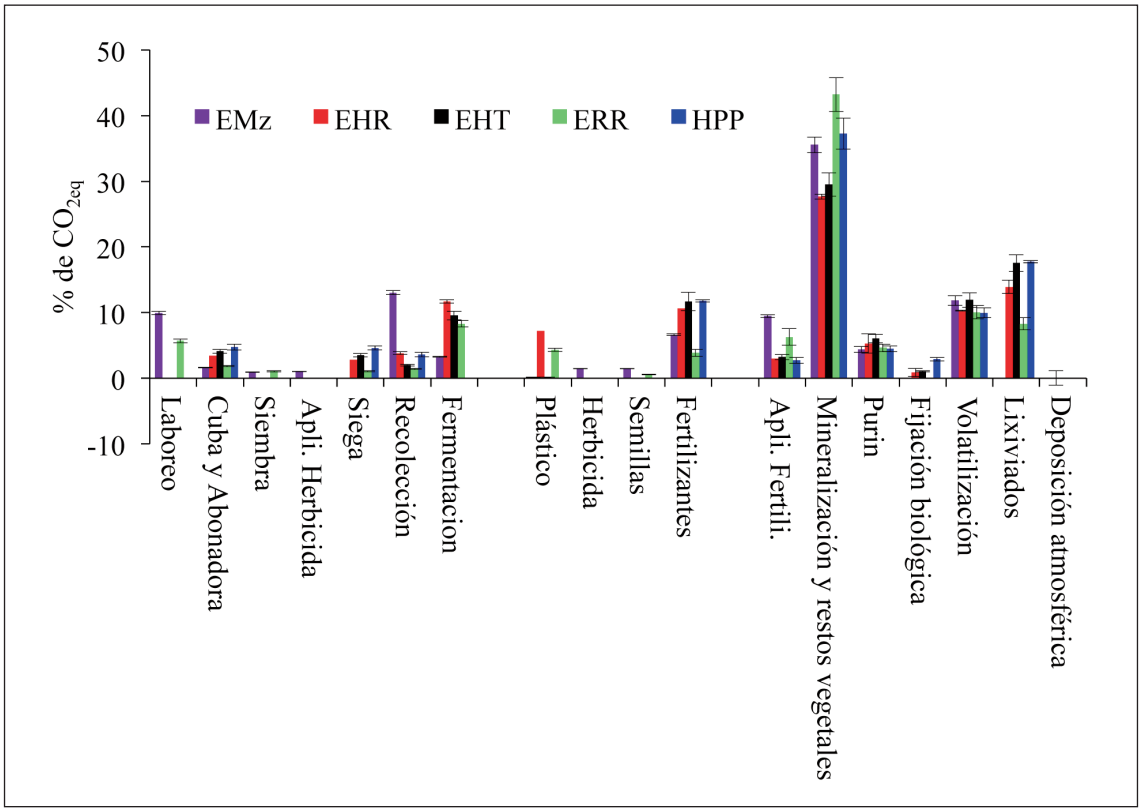


Figura 5. Distribución porcentual de las emisiones según el cultivo forrajero.
Figure 5. Percentage distribution of emissions by forage crop.

Variables relacionadas con las emisiones de CO_{2eq} de los consumibles (CON)

La compra de fertilizante nitrogenado representó aumentos de 4,6 kg CO_{2eq} por kilogramo (Figura 7A). Las emisiones de CO_2 del plástico fueron de 54 kg ha^{-1} en PMzCFI y de 30 kg ha^{-1} en PMz; entre forrajes, mayor en EHM y ERM con valores de 63 kg CO_2 ha^{-1} y 29 kg CO_2 ha^{-1}. Las emisiones del plástico se relacionan positivamente con la materia seca total ensilada por hectárea (Figura 7B) y tipo de silo: (Microsilos = 30,9 + 0,006 kg MS ensilada; ± 18,4 r^2 = 0,46 o Trinchera = –17,3 + 0,005 kg MS ensilada; ± 9,7 r^2 = 0,69).

Variables relacionadas con las emisiones del suelo (SU)

Los suelos emiten óxido nitroso (N_2O) de forma natural como producto intermedio de la nitrificación y desnitrificación y, dependiendo entre otros, de la disponibilidad de N (IPCC, 2006). El N aportado al suelo se relacionó positivamente con el N_2O en CO_{2eq} ha^{-1} (Figura 8A), según la ecuación de conjunto: kg CO_{2eq} ha^{-1} = 1161 + 2,72 kg N (orgánico + inorgánico) ± 581 r^2 = 0,52 y pendientes diferentes entre modelos forrajeros de 3,10; 1,91 y 2,09 kg CO_{2eq} kg^{-1} N en P, PMz y PMzCFI respectivamente. La pendiente de 2,74 kg fue si-

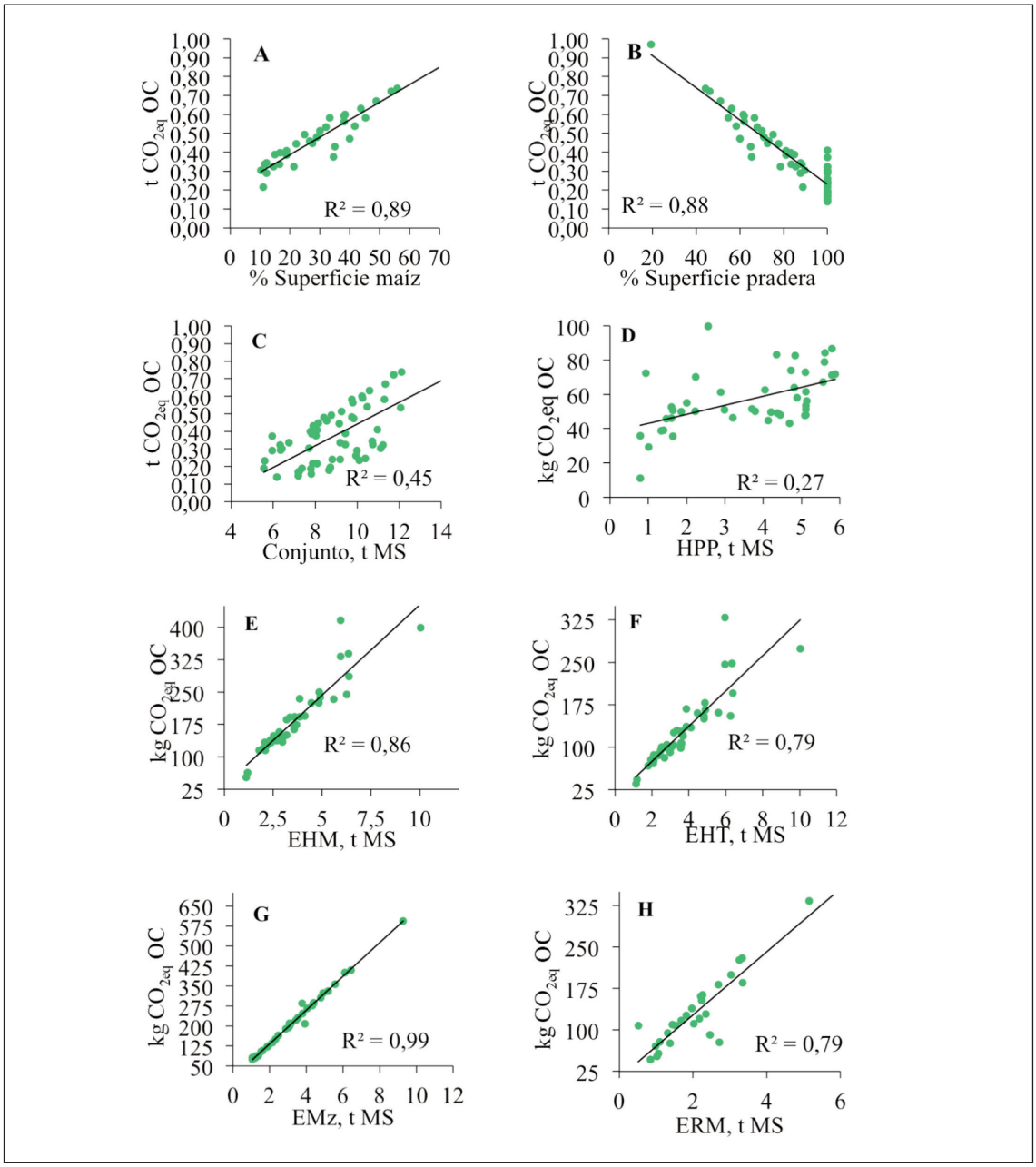


Figura 6. Relación entre producción de biomasa y el CO_{2eq} de las operaciones de cultivo (OC); A: superficie de maíz; B: superficie de pradera; C: por kilogramo de materia seca (conjunto forrajes); D: por kilogramo de materia seca en HPP; E: EHM; F: EHT; G: EMz; H: ERM.

Figure 6. Relationship between biomass production and CO_{2eq} from crop operations (OC); A: corn surface; B: prairie surface; C: per kilogram of dry matter (fodder set); D: per kilogram of dry matter in HPP; E: EHM; F: EHT; G: EMz; H: ERM.

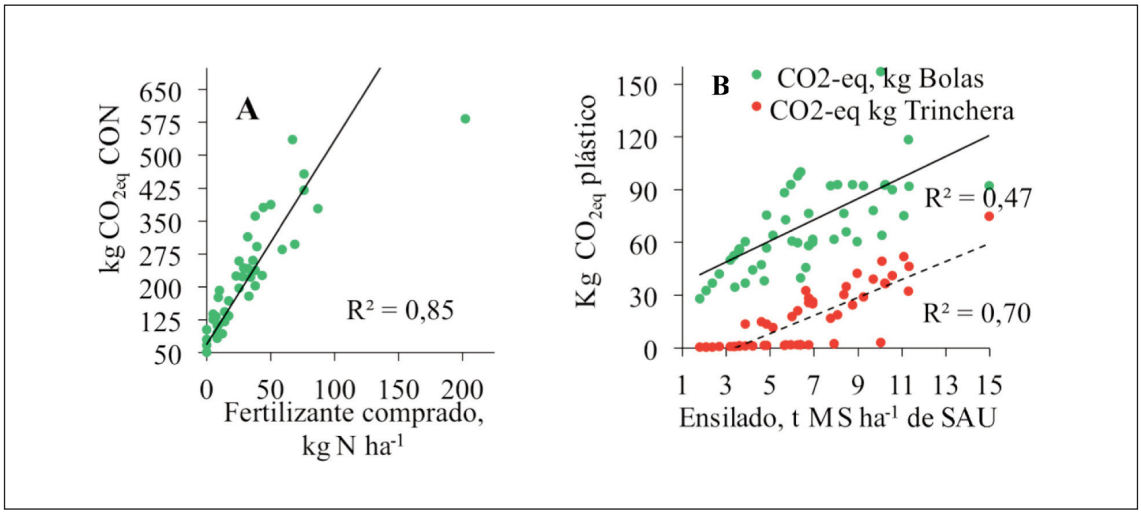


Figura 7. A: Relación entre el fertilizante nitrogenado comprado ha^{-1} y CO_{2eq} de los consumibles (CON); B: Relación kilogramos de materia seca ensilada y el CO_{2eq} del plástico.
Figure 7. A: Relationship between nitrogen fertilizer purchased ha^{-1} and CO_{2eq} of consumables (CON); B: Relationship kilogram of dry silage and CO_{2eq} of plastic.

milar a la señalada por Hillier *et al.* (2009) en leguminosas, cereales de invierno y verano, oleaginosas y patatas. Los resultados mostraron además descensos en las emisiones del suelo al aumentar la producción de materia seca por hectárea, según la ecuación: 94,7 – 0,003 kg MS ha^{-1}; ± 6,6 r^2 = 0,37 (Figura 8B), sin relaciones significativas respecto al total de CO_{2eq} por hectárea, ni con el porcentaje de superficie de maíz.

La eficiencia de utilización del nitrógeno del suelo (NUE_s) se relacionó negativamente con las emisiones del suelo, pero con bajo coeficiente de determinación (Figura 8C), según la ecuación: 2296 – 14,8 % NUE_s; ± 560 r^2 = 0,13. Janssens *et al.* (2005) señalaron recuperaciones del 60 % del N total aportado, similares al 62,8 % para el conjunto de modelos forrajeros (Tabla 1). Entre otros, el exceso de N en el suelo, incrementa las emisiones indirectas de N_2O derivadas de los lixiviados; sin embargo, pueden reducirse al aumentar la NUE_s. Este trabajo mostró relaciones positivas entre el exceso de N de la explotación y las emisiones del suelo según la ecuación: 821 + 2,41 exceso N; ± 425 r^2 = 0,50, (Figura 8D), mayor en P (2,95 kg CO_{2eq} kg^{-1} N exceso; r^2 = 0,62) y la menor de 1,77 kg en PMz (r^2 = 0,62). El N lixiviado y el amoniacal se relacionaron positivamente con las emisiones del suelo (Figuras 8E y 8F), con pendientes de 52,3 kg kg^{-1} y 15,6 kg kg^{-1} respectivamente en P; 31,1 kg kg^{-1} y 8,5 kg en PMz y 32,1 kg kg^{-1} y 9,9 kg kg^{-1} en PMzCFI.

Balance y secuestro de carbono

Los restos vegetales y el purín aportado al suelo, así como su equivalencia en carbono, vienen indicados en la Tabla 6. Los primeros por arriba (rastrojo y pérdidas mecánicas) contribuyen con 1008 kg MS ha^{-1} y 1857 kg por abajo (raíces), y diferentes entre modelos forrajeros (P < 0,001), incrementando 0,26 kg kg^{-1} ha^{-1} conforme lo hace la producción de forraje (Figura 9A). El 48,3 %;

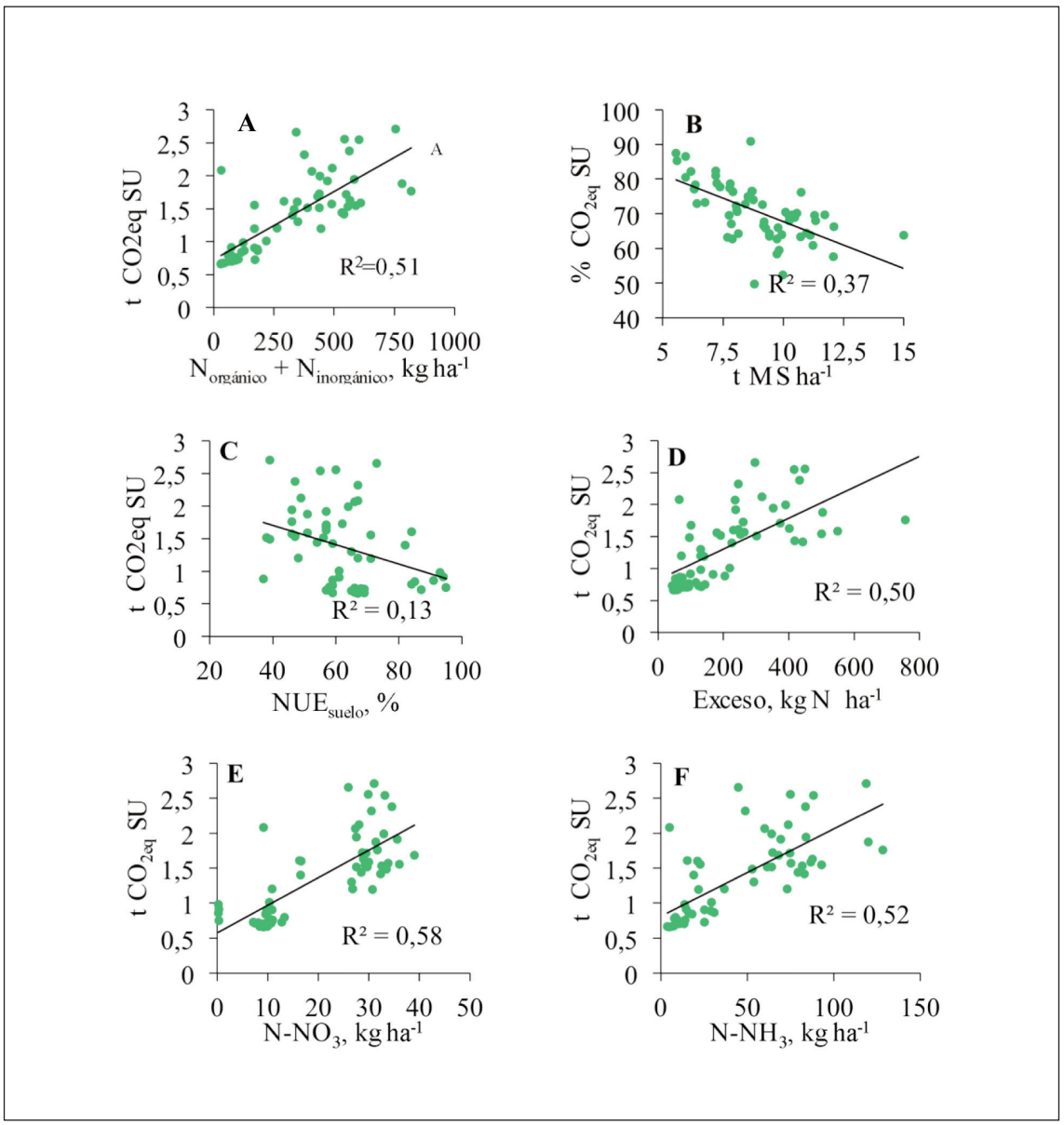


Figura 8. A: Relación toneladas de CO_{2eq} y el aporte de N por hectárea; B: porcentaje de CO_{2eq} del suelo (SU) y la producción de biomasa por hectárea; C: toneladas de CO_{2eq} y la eficiencia de utilización del N del suelo (NUE_{suelo}); D: toneladas de CO_{2eq} y el exceso de N por hectárea; E: toneladas de CO_{2eq} y los kilogramos de N-NO_3 lixiviado; F: toneladas de CO_{2eq} y los kilogramos de N-NH_3 volatilizado.

Figure 8. A: Relationship between mass of CO_{2eq} (t) and the contribution of N per hectare; B: percentage of CO_{2eq} of the soil (SU) and the production of biomass per hectare; C: tons of CO_{2eq} and the efficiency of use of the N of the soil (NUE ground); D: tons of CO_{2eq} and the surplus of N per hectare; E: tons of CO_{2eq} and the kilogram of leached N-NO_3; F: tons of CO_{2eq} and the kilos of volatilized N-NH_3.

Tabla 6. Aportes de carbono entre los modelos forrajeros y forrajes.
Table 6. Carbon contributions between forage and fodder models.

		P	PMz	PMzCFI	sd	P
	C contenido en los forrajes, kg ha^{-1}	1965	1415	1190	755	***
	MS residuos vegetales arriba, kg	659	467	535	263	***
	MS residuos vegetales debajo, kg	1140	808	926	456	***
	MS residuos vegetales, kg	1800	1275	1060	719	***
HPP	MS purín, kg	1063	1028	507	767	NS
	MS totales, kg	2863	2304	1568	961	***
	C restos vegetales, kg	809	574	485	323	***
	C purín, kg	827	814	489	631	NS
	C totales, kg	1636	1388	967	603	***
	CO_2 secuestrado, kg	599	508	355	220	***
	C contenido en los forrajes, kg ha^{-1}	1945	1491	1240	779	***
	MS residuos vegetales arriba, kg	216	165	174	86	***
	MS residuos vegetales debajo, kg	1128	853	904	471	***
	MS residuos vegetales, kg	1345	1019	840	5,57	***
EHM	MS purín, kg	2060	2128	1089	2414	NS
	MS totales, kg	3406	3147	1929	2684	NS
	C restos vegetales, kg	605	459	378	252	***
	C purín, kg	1568	1962	1350	1783	***
	C totales, kg	2173	2420	1728	1919	NS
	CO_2 secuestrado, kg	794	886	633	699	NS
	C contenido en los forrajes, kg ha^{-1}	1945	1491	1240	779	***
	MS residuos vegetales arriba, kg	216	165	174	86	***
	MS residuos vegetales debajo, kg	1128	853	904	471	***
	MS residuos vegetales, kg	1345	1019	840	557	***
EHT	MS purín, kg	2060	2128	1089	2414	NS
	MS totales, kg	3406	3147	1929	2684	NS
	C restos vegetales, kg	605	459	378	251	***
	C purín, kg	1568	1962	1350	1783	***
	C totales, kg	2173	2420	1728	1919	NS
	CO_2 secuestrado, kg	794	886	633	699	NS

		P	PMz	PMzCFI	sd	P
	C contenido en los forrajes, kg ha^{-1}	–	1018	1654	815	NS
	MS residuos vegetales arriba, kg	–	368	551	295	NS
	MS residuos vegetales debajo, kg	–	61	91	48	NS
	MS residuos vegetales, kg	–	430	699	344	NS
EMz	MS purín, kg	–	2862	1408	1302	***
	MS totales, kg	–	3292	2107	1385	*
	C restos vegetales, kg	–	193	314	155	NS
	C purín, kg	–	1579	1582	1138	NS
	C totales, kg	–	1772	1896	1233	NS
	CO_2 secuestrado, kg	–	645	692	450	NS
	C contenido en los forrajes, kg ha^{-1}	–	–	834	398	–
	MS residuos vegetales arriba, kg	–	–	264	139	–
	MS residuos vegetales debajo, kg	–	–	457	241	–
	MS residuos vegetales, kg	–	–	722	380	–
ERM	MS purín, kg	–	–	1408	838	–
	MS totales, kg	–	–	2130	965	–
	C restos vegetales, kg	–	–	324	171	–
	C purín, kg	–	–	789	534	–
	C totales, kg	–	–	1114	641	–
	CO_2 secuestrado, kg	–	–	406	234	–
	C contenido en los forrajes, kg ha^{-1}	3684	3520	4478	849	***
	MS residuos vegetales arriba, kg	799	868	1246	354	***
	MS residuos vegetales debajo, kg	2138	1492	1682	476	***
	MS residuos vegetales, kg	2937	2360	2928	609	NS
Conjunto	MS purín, kg	3001	5725	4255	3201	NS
	MS totales, kg	5939	8055	7154	2955	NS
	C restos vegetales, kg	1322	1062	1318	274	NS
	C purín, kg	2299	4122	4030	3291	*
	C entrado totales suelo, kg	3621	5185	5348	2521	*
	CO_2 secuestrado, kg	1324	1896	1958	922	*

P: Pradera; PMz: Pradera-Maíz; PMzCFI: Pradera-Maíz-Cultivos de Invierno; sd: desviación estándar; * $P < 0,05$; ** $P < 0,01$; *** $P < 0,001$; NS: no significativo.

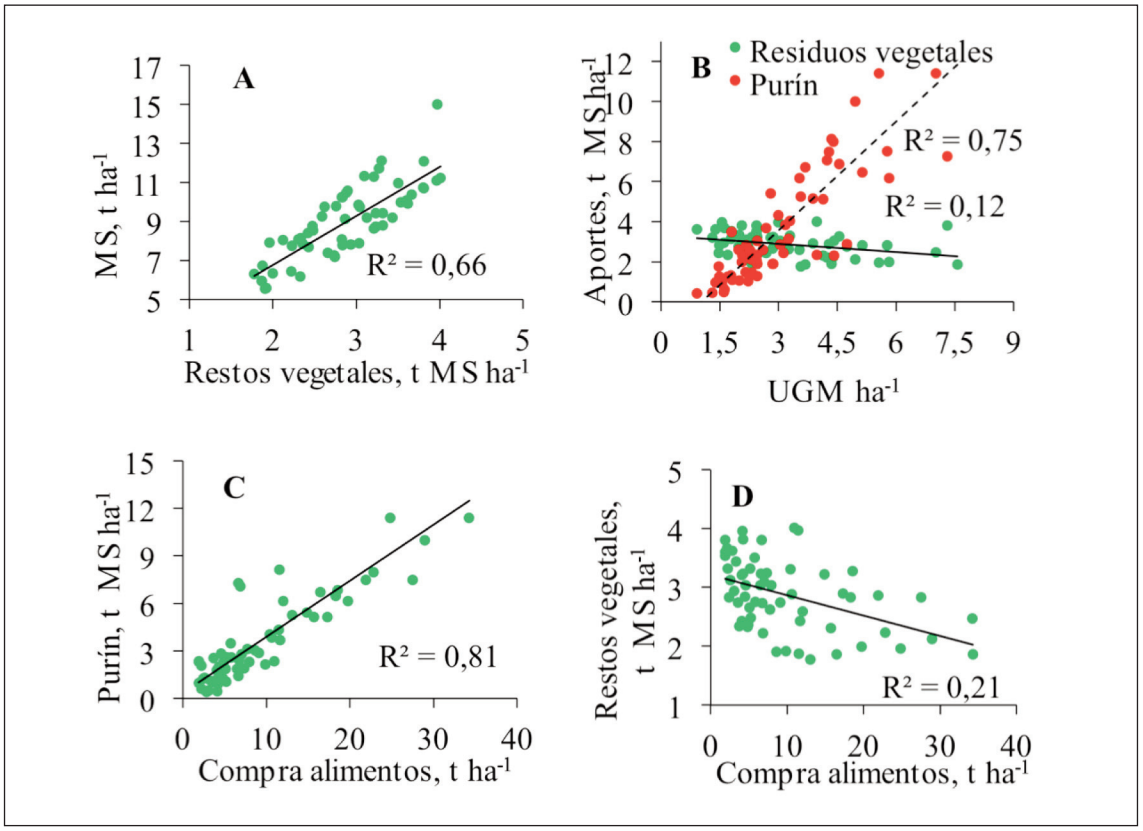


Figura 9. Relación de la producción de biomasa con los restos vegetales (A); Aportes de biomasa y purín con carga ganadera (B); aportes de purín con la compra de alimentos (C) y restos vegetales con la compra de alimento (D).

Figure 9. Relationship of biomass production with plant remains (A); Contributions of biomass and slurry with livestock load (B); slurry contributions with the purchase of food (C) and plant remains with the purchase of food (D).

39,6 %; 23,1 % y 24,5 % de materia seca de los restos vegetales procede respectivamente de la hierba en pesebre, la ensilada, el maíz y el raigrás italiano. Mogensen *et al.* (2014) señalaron para el maíz aportes de restos vegetales del 30,2 % para rendimientos de 11,1 t MS ha^{-1}, ligeramente superiores al 23,1 % y 11,3 t MS ha^{-1} en este trabajo. Asumiendo la asignación de purín a cada cultivo forrajero el señalado en la Tabla 23, éste aportó 3869 kg MS ha^{-1}, equivalentes a 1815 kg MS por UGM (Figura 9B). No obstante, la producción de purín a nivel de granja es una función de la cantidad de alimento comprado (Tabla 1), donde cada kilogramo de materia seca como alimento adquirido fuera de la explotación puede incrementar 0,35 kg MS de purín (Figura 9C) y reducir 0,035 kg MS los residuos vegetales (Figura 9D).

Coincidente con Snyder *et al.* (2009) y O'Brien *et al.* (2014) los restos vegetales y el purín son las fuentes de C más importantes para el mantenimiento de los suelos agrícolas. Mientras,

las praderas permanentes son consideradas como sumideros de carbono (Soussana *et al.,* 2010). El carbono de las cosechas, el aportado por los restos vegetales y el purín de conjunto fueron de 4022 kg ha^{-1}, 1289 kg ha^{-1} y 3291 kg ha^{-1} respectivamente (Tabla 6), siendo la diferencia entre las entradas y salidas de –63 kg para P, 1655 kg en PMz y 870 kg en PMzCFI.

Entre otros aspectos agronómicos, la aplicación de purín al suelo incrementa la producción de forraje y el carbono a través de las raíces (Conant *et al.,* 2001). La Figura 10A representa la relación entre la carga ganadera y el aporte de C del purín, donde aumentos de una UGM, el C puede incrementar 1396 kg ha^{-1}. Sin embargo, aportes sucesivos y continuados como consecuencia de prácticas agrícolas ineficientes o alta carga ganadera, como ocurre en el presente trabajo (Tabla 1), puede aumentar el riesgo de eutrofización terrestre (Rodríguez y Macías, 2006). Los resultados pusieron de manifiesto que un kilogramo de N de purín aplicado al suelo puede aumentar la eutrofización y acidificación en 2,2 kg NO_{3eq} y 0,58 kg SO_{2eq} respectivamente (Figuras 10B y 10C).

Vleeshouwers y Verhagen (2002) señalaron liberaciones anuales de 0,84 t C ha^{-1} para las

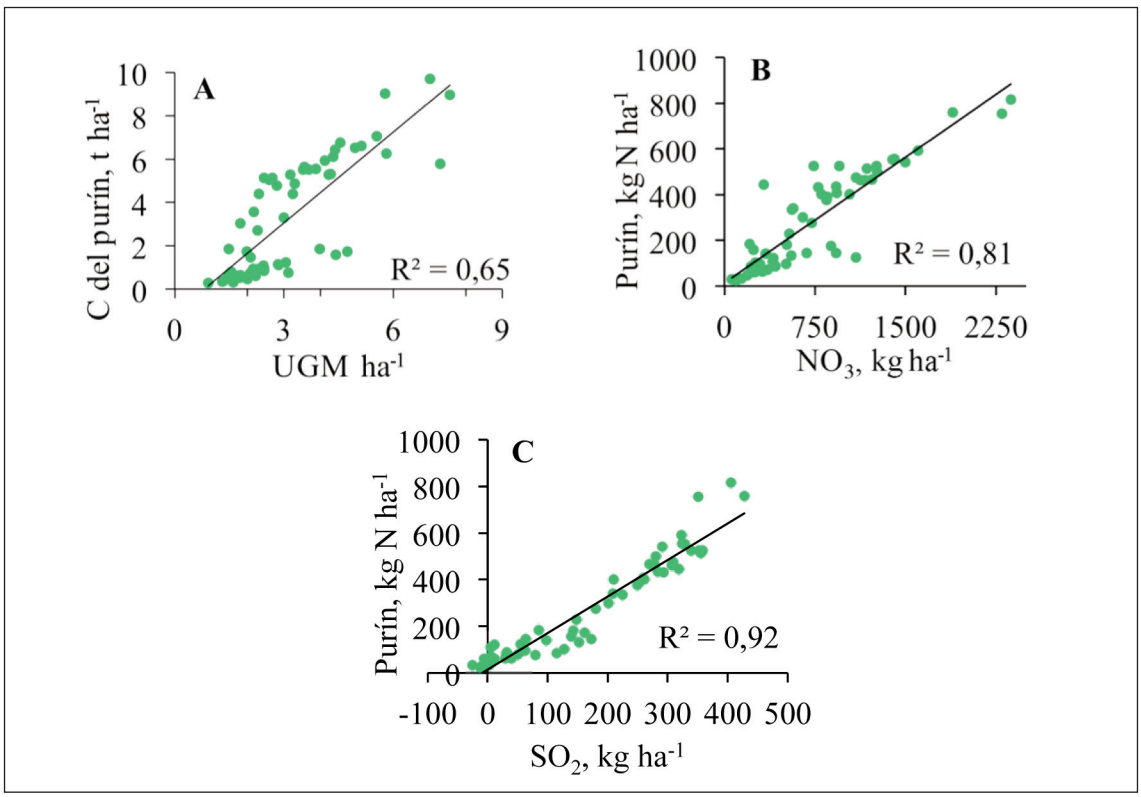


Figura 10. Relación la carga ganadera y el aporte de C del purín (A) y N del purín respecto a la eutrofización (B) y la acidificación potencial (C).
Figure 10. Relationship of the livestock load and the contribution of C of slurry (A) and N of slurry with respect to eutrophication (B) and potential acidification (C).

tierras arables; mientras, las praderas actúan como sumideros, con medias de 0,52 t C ha^{-1}. El secuestro de carbono atribuido al manejo del suelo en prados de Irlanda, Reino Unido y Estados Unidos varía de 0,79 t CO_2 ha^{-1} $año^{-1}$ a 1,75 t CO_2 ha^{-1} $año^{-1}$ (Conant *et al.,* 2001; Soussana *et al.,* 2010). El secuestro de CO_2 fue diferente entre modelos forrajeros (Tabla 6), con valores de 1,3 t ha^{-1} $año^{-1}$; 1,8 t ha^{-1} $año^{-1}$ y 1,9 t ha^{-1} $año^{-1}$ para P, PMz y PMzCFI respectivamente, y dentro del rango de 0,72 t ha^{-1} $año^{-1}$ a 1,74 t ha^{-1} $año^{-1}$ señalado por O'-Brien *et al*. (2014). No obstante, estos valores están sujetos a incertidumbres metodológicas para estimar el C de los residuos vegetales.

Huella de carbono de los forrajes

La huella de carbono de cada forraje dentro de su modelo forrajero expresado en g CO_{2eq} kg^{-1} MS viene representada en la Figura 11. La misma fue valorada bajo tres aspectos: i) sin incluir el secuestro de carbono (MS_{origen}), ii) incluyéndolo (MS_{origen} – SC) y iii) considerando el uso indirecto del suelo (MS_{origen} – SC + $iLUC_{ind}$). El CO_{2eq} kg^{-1} MS_{origen} fue inferior en la hierba de pradera en pesebre (HPP), equivalente a 0,189 kg CO_{2eq} kg^{-1} MS ($P < 0,05$) y la mayor de 0,39 kg CO_{2eq} kg^{-1} que fue el ensilado de cultivos forrajeros de invierno en microsilos (ERM). Los ensilados de hierba en microsilos (EHM) presentaron incrementos de 0,032 kg CO_{2eq} kg^{-1} MS respecto a los de trinchera (EHT), atribuido al plástico y a las pérdidas en los procesos de fermentación (Salcedo *et al.,* 2009), representando en ambos casos 15,6-29,9 g CO_{2eq} kg^{-1} MS ensilada en EHM y 0,3-14 g CO_{2eq} kg^{-1} MS en EHT respectivamente. La MS_{origen} en los ensilados EHM y EHT fue inferior a 0,50 kg CO_{2eq} kg^{-1} MS señalado por Mogensen *et al.* (2014) en granjas danesas, imputable entre otros, al menor aporte de nitrógeno mineral; inferior a 0,34 kg en USA (Adom *et al.,* 2012) y similares a 0,22 kg en explotaciones lecheras de Australia (Christie *et al*., 2008). Mientras, el ensilado de maíz (EMz) fue similar de 0,22 kg señalado por Mogensen *et al.* (2014) y de 0,21 kg (Adom *et al.,* 2012). Por el contrario, la mayor huella correspondió a ERM, imputable a las mayores pérdidas de emisiones por laboreo y mineralización del suelo (Figura 11).

El carbono secuestrado (SC, kg CO_2 kg^{-1} MS) de los restos vegetales y del purín redujo MS_{origen} un 80 % para el conjunto de forrajes, con máximos del 96,2 % en HPP, mínimos de 55,1 % en ERM e intermedios de 88,7 % y 84,4 % en EMz y EHT respectivamente (Tabla 7). El mayor secuestro de carbono entre modelos forrajeros por kilogramo de materia seca fue para PMz ($P < 0,05$) sin diferencias entre P y PMzCFI (Tabla 7). El cambio de uso del suelo indirecto ($iLUC_{ind}$, kg CO_2 kg^{-1} MS) fue superior en HPP, EHM y EHT (Tabla 7), mínimos de 0,026 kg CO_2 kg^{-1} MS en ERM e intermedios de 0,052 kg CO_2 kg^{-1} MS EMz, imputable en todos los casos, a las diferencias de producción y al porcentaje de superficie de cada cultivo y entre modelos forrajeros, mayor en P ($P < 0,05$). La huella de carbono final (CO_{2eq} kg^{-1} MS_{origen} – SC + $iLUC_{ind}$) fue mayor en ERM ($P < 0,05$), con un valor medio de 0,203 kg CO_{2eq} kg^{-1} MS y el menor en el modelo PMzCFI (Tabla 7).

Conclusiones

Las emisiones de gases de efecto invernadero entre modelos forrajeros y por hectárea incrementan con la intensificación forrajera, pero disminuyen por kilogramo de materia seca. Independientemente del modelo forrajero, los microsilos de hierba y raigrás presentaron las mayores emisiones por kilogramo de materia seca, y las menores emisiones las presentaron la hierba de pradera en pesebre y el ensilado de maíz. La producción de forraje, el destino y la utilización del N del pu-

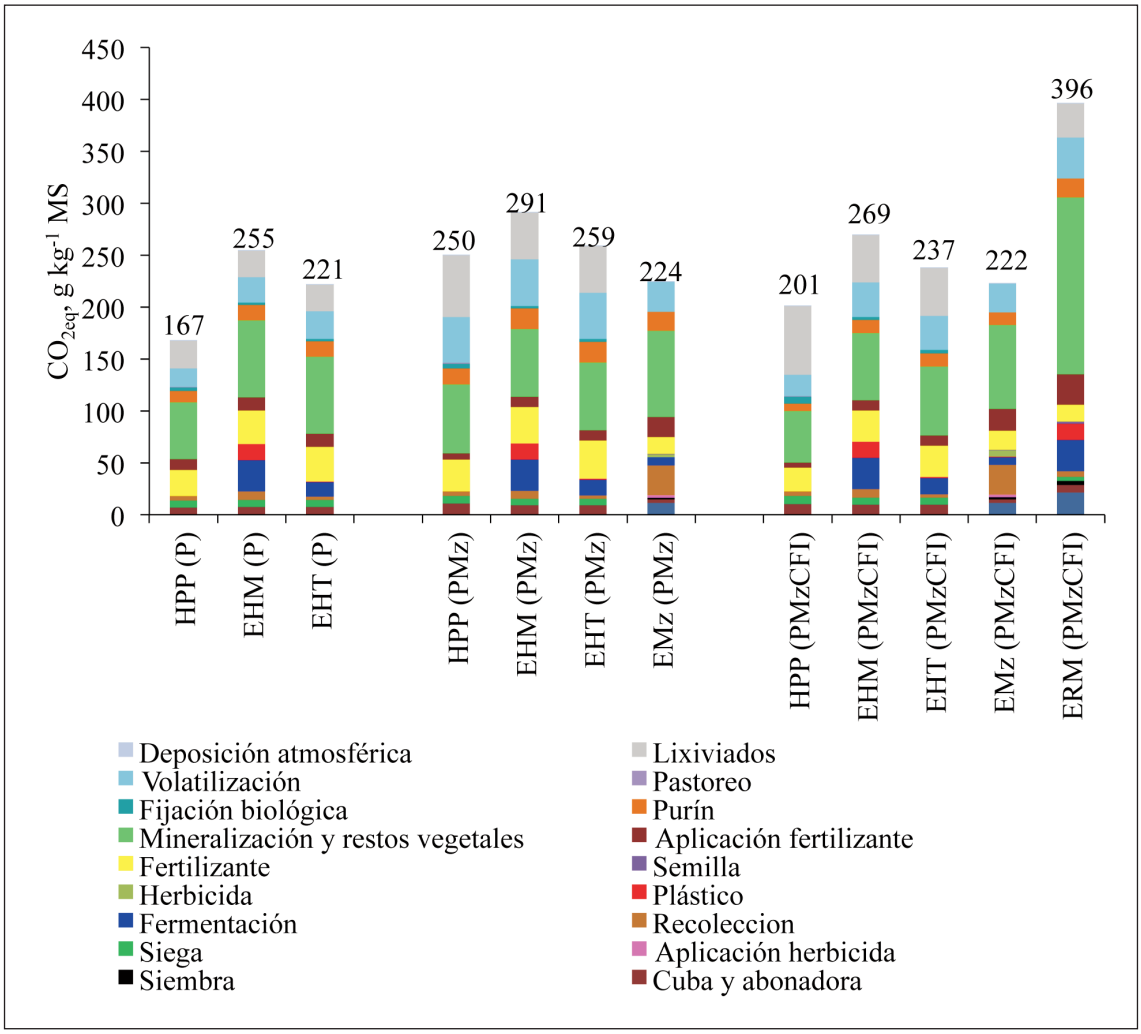


Figura 11. g $CO_{2\text{-}eq}$ kg^{-1} MS en origen de los forrajes dentro de cada modelo forrajero.
Figure 11. g $CO_{2\text{-}eq}$ kg^{-1} DM in origin of the forages within each forage model.

rín fueron las variables mejor relacionadas con la huella de carbono. El carbono procedente de los restos vegetales y del purín fueron superiores al recolectado en PMz y PMzCFI, situándose próximo al equilibrio en P. El secuestro de carbono puede reducir un 80 % la huella de carbono de un kilogramo de materia seca.

Referencias bibliográficas

Adom F, Maes A, Workman C, Clayton-Nierderman Z, Thoma G, Shonnard D (2012). Regional carbon footprint analysis of dairy feeds for milk production in the USA. The International Journal of Life Cycle Assessment 17: 520-534. https://doi.org/10.1007/s11367-012-0386-y

Tabla 7. Huella de carbono de los forrajes dentro de cada modelo forrajero.
Table 7. Carbon footprint of forages within each forage model.

		P[1]	PMz[1]	PMzCFI[1]	sd
HPP	$CO_{2\text{-eq}}$ kg^{-1} MS_{origen}	0,167	0,249	0,201	0,13
	$CO_{2\text{-eq}}$ kg^{-1} MS_{origen}-SC	–0,001	0,024	0,014	0,06
	$CO_{2\text{-eq}}$ kg^{-1} MS_{origen}-SC+iLUC	0,093	0,089	0,055	0,07
	$CO_{2\text{-eq}}$ kg^{-1} SC	0,168	0,225	0,187	0,12
	$CO_{2\text{-eq}}$ kg^{-1} iLUC	0,094[b]	0,065[a]	0,04[b]	0,03
EHM	$CO_{2\text{-eq}}$ kg^{-1} MS_{origen}	0,255	0,291	0,269	0,12
	$CO_{2\text{-eq}}$ kg^{-1} MS_{origen}-SC	0,084	0,032	0,064	0,13
	$CO_{2\text{-eq}}$ kg^{-1} MS_{origen}-SC+iLUC	0,184	0,115	0,108	0,12
	$CO_{2\text{-eq}}$ kg^{-1} SC	0,17	0,259	0,20	0,12
	$CO_{2\text{-eq}}$ kg^{-1} iLUC	0,099[b]	0,083[b]	0,044[a]	0,05
EHT	$CO_{2\text{-eq}}$ kg^{-1} MS_{origen}	0,221	0,258	0,236	0,12
	$CO_{2\text{-eq}}$ kg^{-1} MS_{origen}-SC	0,051	–0,0005	0,030	0,13
	$CO_{2\text{-eq}}$ kg^{-1} MS_{origen}-SC+iLUC	0,15	0,083	0,075	0,12
	$CO_{2\text{-eq}}$ kg^{-1} SC	0,17	0,259	0,205	0,12
	$CO_{2\text{-eq}}$ kg^{-1} iLUC	0,099[b]	0,083[b]	0,044[a]	0,05
EMz	$CO_{2\text{-eq}}$ kg^{-1} MS_{origen}	–	0,224	0,222	0,028
	$CO_{2\text{-eq}}$ kg^{-1} MS_{origen}-SC	–	–0,158	0,035	0,10
	$CO_{2\text{-eq}}$ kg^{-1} MS_{origen}-SC+iLUC	–	0,04	0,086	0,09
	$CO_{2\text{-eq}}$ kg^{-1} SC	–	0,24	0,187	0,11
	$CO_{2\text{-eq}}$ kg^{-1} iLUC	–	0,056	0,051	0,019
ERM	$CO_{2\text{-eq}}$ kg^{-1} MS_{origen}	–	–	0,395	0,12
	$CO_{2\text{-eq}}$ kg^{-1} MS_{origen}-SC	–	–	0,177	0,15
	$CO_{2\text{-eq}}$ kg^{-1} MS_{origen}-SC+iLUC	–	–	0,203	0,14
	$CO_{2\text{-eq}}$ kg^{-1} SC	–	–	0,218	0,10
	$CO_{2\text{-eq}}$ kg^{-1} iLUC	–	–	0,026	0,007

Forraje	HPP	EHM	EHT	EMz	ERM	Conjunto	sd
CO_{2eq} kg^{-1} MS_{origen}	0,189[a]	0,266[b]	0,232[ab]	0,223[ab]	0,395[c]	0,251[b]	0,12
$CO_{2\text{-eq}}$ kg^{-1} MS_{origen}-SC	0,0075[a]	0,069[b]	0,036[ab]	0,025[ab]	0,177[c]	0,049[ab]	0,13
CO_2 kg^{-1} MS_{origen}-SC+iLUCind	0,078[a]	0,142[b]	0,108[ab]	0,077[a]	0,203[c]	0,217[c]	0,12
SC, kg CO_2 kg MS	0,182[a]	0,196[a]	0,196[a]	0,198[a]	0,218[a]	0,201[a]	0,12
$iLUC_{ind}$, kg CO_2 kg MS	0,071[c]	0,072[c]	0,072[c]	0,052[b]	0,026[a]	0,072[b]	0,04

Sistema forrajero	P[1]	PMz[1]	PMzCFI[1]	sd
$CO_{2\text{-eq}}$ kg^{-1} MS_{origen}	0,219[a]	0,257[ab]	0,27[c]	0,12
$CO_{2\text{-eq}}$ kg^{-1} MS_{origen}-SC +iLUCind	0,145[b]	0,080[a]	0,109[ab]	0,12
SC, kg^{-1} CO_2 kg MS	0,172[a]	0,249[b]	0,202[a]	0,12
$iLUC_{ind}$, kg^{-1} CO_2 kg MS	0,099[c]	0,072[b]	0,041[a]	0,04

P: Pradera; PMz: Pradera-Maíz; PMzCFI: Pradera-Maíz-Cultivos de Invierno; [1]: kg CO_2 del forraje producido en la superficie cultivada; SC: secuestro de carbono; iLUC: cambio del uso del suelo indirecto; sd: desviación estándar; [a, b, c] y [d] dentro de la misma fila difieren $P < 0,05$.

Andeweg K, Reisinger A (2013). Reducing greenhouse gas emissions from livestock: Best practice and emerging options. Global Research Aliance, Dublin.

Audsley E, Brander M, Chatterton J, Murphy-Bokern D, Webster C, Williams A (2009). How low can we go? An assessment of greenhouse gas emissions from the UK food System and the scope for to reduction them by 2050. Food Climate Research Network (FCRN) and WWF-UK. 80 pp.

Brandão MM, Levasseur A, Kirschbaum MF, Weidema B, Cowie A, Jorgensen S, Hauschild MZ, Pennington DW, Chomkhamsri K (2013). Key issues and options in accounting for carbon sequestration and temporary storage in life cycle assessment and carbon footprinting. The International Journal of Life Cycle Assessment 18(1): 230-240. https://doi.org/10.1007/s11367-012-0451-6

Brentrup F, Küsters J, Lammel J, Kuhlmann H (2000). Methods to estimate on-field nitrogen emissions from crop production as an input to LCA studies in the agricultural sector. International Journal of Life Cycle Assessment 5: 349-357. https://doi.org/10.1007/BF02978670

Christie KM, Rawnsley R, Donaghy D (2008). Whole farm systems analysis of greenhouse gas emission abatement strategies for dairy farms, Final Report to Dairy Australia: UT12945. Tasmanian Institute of Agricultural Research, University of Tasmania. Hobart, Australia.

Conant RT, Paustian TK, Elliott ET (2001). Grassland management and conversion into grassland: Effects on soil carbon. Ecological Applications 11: 343-355. https://doi.org/10.1890/1051-0761(2001)011[0343:GMACIG]2.0.CO;2

Davies D (2008). Improving silage quality and reducing CO_2 emissions. Silage Insights – Bale Silage Production. Newsletter Spring. Bale Silage Production section.

De Vries JW, Hoeksma P, Groenestein CM (2011). Levens Cyclus Analyse (LCA) Pilots Mineralen concentraten. Wageningen UR Livestock Research, rapport 480, 77 pp.

Dubey A, Lal R (2009). Carbon footprint and sustainability of agricultural production systems in Punjab, India, and Ohio, USA. Journal of Crop Improvement 23: 332-350. https://doi.org/10.1080/15427520902969906.

Eco-invent (2007). Ecoinvent Data v2.0. Final Reports Ecoinvent 2007. Swiss Centre for Life Cycle Inventories. Dubendorf, Switzerland.

Fraters B, Reijs JW, van Leeuwen TC, Boumans LJM (2006). Minerals policy monitoring programme. Results for 2006 on water quality and fertilisation practices within the framework of the derogation monitoring network. RIVM report 680717005/2008. 72 pp.

Gan Y, Liang C, Hamel C, Cutforth H, Wang H (2011). Strategies for reducing the carbon footprint of field crops for semiarid areas. A review. Agronomy for Sustainable Development 31: 643-656. https://doi.org/10.1007/s13593-011-0011-7

Hillier J, Hawes C, Squire G, Hilton A, Wale S, Smith P (2009). The carbon footprints of food crop production. International Journal of Agricultural Sustainability 7(2): 107-118. https://doi.org/10.3763/ijas.2009.0419.

IPCC (2006). Guidelines for national greenhouse gas inventories. Intergovernmental Panel on Climate Change.

Janssens IA, Freibauer A, Schlamadinger B, Ceulemans R, Ciais P, Dolman AP, Heimann M, Nabuurs GJ, Smith P, Valentini R, Schulze ED. (2005). The carbon budget of terrestrial ecosystems at country-scale – A European case study. Biogeosciences 2: 15-26.

Kaspar HF, Tiedje JM (1981). Dissimilatory reduction of nitrate and nitrite in the bovine rumen: nitrous oxide production and effect of acetylene. Applied and Environmental Microbiology 41: 705-709.

Kindler R, Siemens J, kaiser K, Walmsley DC, Bernhofer C, Buchmann N, Cellier P, Eugter W, Gleixner G, Gr nwald T, Heim A, Ibrom A, Jones S, Jones, M, Klumpp K, Kutsch W, Steenberg K, Lehuger S, Loubet B, McKenzie R, Moors E, Osborne, B, Pilegaard K, Rebmann C, Saunders M, Schmidt M, Schumpf M, Seyfferth J, Skiba U, Soussana, J, Sutton M, Tefs C, Vowinckel B, Zeeman M, Kaupenjohann M (2011). Dissolved carbon leaching from soil is a crucial component of

the net ecosystem carbon balance. Global Change Biology 17: 1167-1185. https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2010.02282.x

Koga N, Sawamoto T, Tsuruta H (2006). Life cycle inventory-based analysis of greenhouse gas emissions from arable land farming systems in Hokkaido, northern Japan. Soil Science and Plant Nutrition 52(4): 564-574. https://doi.org/10.1111/j.1747-0765.2006.00072.x

Lal R (2001). Soil Carbon Sequestration and the Greenhouse effect. Soil Science Society of America Special publications number 57. 236 pp.

Mahmuti M, West JS, Watts J, Gladders P, Fitt BD (2009). Controlling crop disease contributes to both food security and climate change mitigation. International Journal of Agricultural Sustainability 7(3): 189-202. https://doi.org/10.3763/ijas.2009.0476

Middelaar CE, Berentsen PBM, Dijkstra J, De Boer IJM (2013). Evaluation of a feeding strategy to reduce greenhouse gas emissions from dairy farming: The level of analysis matters. Agricultural Systems 121: 9-22. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2013.05.009

Mogensen L, Kristensen T, Nguyen T, Knudsen MT, Hermansen J (2014). Method for calculating carbon footprint of cattle feeds – including contribution from soil carbon changes and use of cattle manure. Journal of Cleaner Production 73: 40-51. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.02.023

O'Brien D, Capper JL, Garnsworthy PC, Grainger C, Shalloo L (2014). A case study of the carbon footprint of milk from high-performing confinement and grass-based dairy farms. Journal Dairy Science 97: 1835-1851. https://doi.org/10.3168/jds.2013-7174

Petersen BM, Knudsen MT, Hermansen JE, Halberg N (2013). An approach to include soil carbon changes in the life cycle assessments. Journal of Cleaner Production 52: 217-224. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.03.007

Raison C, Pflimlin A, Le Gall A (2006). Optimisation of environmental practices in a network of dairy farms of the Atlantic Area. Proceedings of the final seminar of the Green Dairy Project, 13-14 diciembre, Rennes, Francia, pp. 43-65.

Rajaniemi M, Mikkola H, Ahokas J (2011). Greenhouse gas emissions from oats, barley, wheat and rye production. Agronomy Research Biosystem Engineering Special Issue 1: 189-195.

Rodríguez L, Macías F (2006). Eutrophication trends in forest soils in Galicia (NW Spain) caused by the atmospheric deposition of nitrogen compounds. Chemosphere 63: 1598-1609. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2005.08.072

Rotz C, Chianese D, Montes F, Hafner S, Bonifiacio H (2015). Dairy Gas Emissions Model. Reference Manual, Version 3.2. Agricultural Research Service, USDA.

Salcedo G (2006). Uso sostenible del nitrógeno en la alimentación de vacas lecheras. Documentos técnicos de Medio Ambiente. Consejería de Medio Ambiente del Gobierno de Cantabria. 263 pp.

Salcedo G, Martínez-Suller L, Sarmiento M (2009). Efectos del color de plástico y número de capas sobre la composición química y calidad fermentativa en ensilados de hierba y veza-avena. Actas de la XLVIII Reunión Científica de la SEEP, 15-18 de junio, Huesca, España, pp. 279-286.

Salcedo G (2011). Minimización y aprovechamiento del purín en origen de las explotaciones lecheras de Cantabria. Centro de Investigación del Medio Ambiente, Consejería de Medio Ambiente, Gobierno de Cantabria. 681 pp.

Salcedo G (2015). DairyCant: A model for the reduction of dairy farm greenhouse gas emissions. Advances in Animal Biosciences 6(1): 26-28. https://doi.org/10.1017/S2040470014000466.

Savoie P, Jofriet JC (2003). Silage storage. En: Silage Science and Technology, Agronomy Monograph 42 (Eds. Buxton DR, Muck RE y Harrison JH), pp. 405-467. American Society of Agronomy, Madison, WI, USA. https://doi.org/10.2134/agronmonogr42.c9

Schils R, Oudendag D, van der Hoek K, de Boer J, Evers A, de Haan M. (2006). Praktijkrapport Rundvee 90, Broeikasgas Module BBPR, Alterra rapport 1268/RIVM repport 680.125.006

Smith P, Martino D, Cai Z, Gwary D, Janzen H, Kumar P, McCarl B, Ogle S, O'Mara F, Rice C, Scholes B, Sirotenko O, Howden M, McAllister T, Pan G, Romanenkov V, Schneider U, Towprayoon S, Wattenbach M, Smith J (2008). Greenhouse gas mitigation in agriculture. Philosophical Transactions of the Royal Society B 363: 789-813. https://doi.org/10.1098/rstb.2007.2184

Snyder CS, Bruulsema TW, Jensen TL, Fixen PE (2009). Review of greenhouse gas emissions from crop production systems and fertilizer management effects. Agriculture, Ecosystems and Environment 133(3-4): 247-266. https://doi.org/10.1016/j.agee.2009.04.021

Soussana JF, Tallec T, Blanfort V (2010). Mitigating the greenhouse gas balance of ruminant production systems though carbon sequestration in grasslands. Animal 4: 334-350. https://doi.org/10.1017/S1751731109990784

SPSS (2006). SPSS for windows, versions 15.0, SPSS Inc., Chicago (USA).

Thornthwaite CW (1948). An approach toward a rational classification of climate. Geographical Review 38: 55-94. https://doi.org/10.2307/210739

Velthof G, Oenema O (1997). Nitrous oxide emission from dairy farming systems in the Netherlands. Netherlands Journal of Agricultural Science 45: 347-360.

Velthof GL, Mosquera J (2011). Calculations of nitrous oxide emissions from agriculture in the Netherlands: update of emission factors and leaching fraction. Wageningen: Alterra, Alterra report 2151.

Vleeshouwers LM, Verhagen A (2002). Carbon emission and sequestration by agricultural land use: a model study for Europe. Global Change Biology 8(6): 519-530. https://doi.org/10.1046/j.1365-2486.2002.00485.x

(Aceptado para publicación el 30 de abril de 2020)

Nuevas alternativas en la alimentación del cerdo Ibérico: uso de la avellana Gevuína

M.P. Serrano, N. Ruiz-de Dulanto y A.I. Rey*

Dpto. Producción Animal, Facultad de Veterinaria, Universidad Complutense de Madrid, Avda. Puerta de Hierro s/n., 28040 Madrid, España

Resumen

La producción de cerdos Ibéricos en montanera está muy limitada por la producción de bellota disponible. Con el objeto de ofrecer una alternativa se ha planteado el uso de la avellana Gevuína (*Gevuina avellana)*, procedente de Chile, en la alimentación de cerdos Ibéricos. Para el estudio los animales se dividieron en dos grupos (n = 6 por grupo), a uno de ellos se le administró un pienso compuesto (a voluntad) y a un segundo grupo además del pienso, se le administró 2 kg de avellanas/animal y día, hasta el momento del sacrificio. El análisis de las avellanas mostró que éstas contienen una elevada cantidad de grasa (44 %) con una alta proporción de ácidos grasos monoinsaturados (MUFA) (93,94 %), cuyos ácidos grasos mayoritarios fueron el palmitoleico (29,99 %) y el oleico (50,60 %). Los resultados mostraron que el incremento de C18:1n-9 con el tiempo en los cerdos suplementados con avellana fue superior (P = 0,0001) lo que se tradujo en un descenso en C16:0 mayor (P = 0,001) en comparación con los que sólo recibieron pienso, aunque el valor final de ácido oleico en los animales suplementados con avellanas no superó a los animales no suplementados. Se observaron cambios en la relación C16:1/C16:0 o C18:1/C18:0 de diferente magnitud que hace pensar en posibles efectos a nivel metabólico debidos a la diferencia en la ingestión de alimentos. Nuevos estudios son necesarios para indagar más profundamente en los efectos que este fruto puede tener en la alimentación de cerdos Ibéricos y en la calidad de sus productos.

Palabras clave: Avellana chilena, porcino, ácidos grasos, grasa.

New alternatives in Iberian pig feeding: use of hazelnut Gevuina

Abstract

Iberian pig production in the free-range system is limited by acorn production. In order to provide an alternative, the use of the Gevuina hazelnut has been proposed. Pigs were split up in two groups (n = 6 per group), one of those was provided with commercial feed (according to appetite) and the other was given a commercial feed and 2 kg of hazelnut/ animal and day until slaughter. The hazelnut analysis revealed they have a great proportion of fat (44 %), with a high amount of monounsaturated fatty acids (MUFA) (93.94 %), of which the main fatty acids where palmitoleic acid (29.99 %) and oleic acid (50.60 %). The C18:1n-9 concentration increased in the hazelnut group, as time increased (P = 0.0001), this led to a greater decrease of C16:0 concentration (P = 0.001) in the hazelnut group than in the other group. Although, the final level of C18:1n-9 in the hazelnut group did not exceed that reached by the

* Autor para correspondencia: anarey@vet.ucm.es

Cita del artículo: Serrano MP, Ruiz-de Dulanto N, Rey AI (2020). Nuevas alternativas en la alimentación del cerdo Ibérico: uso de la avellana Gevuína. ITEA-Información Técnica Económica Agraria 116(4): 338-352. https://doi.org/10.12706/itea.2020.009

mixed diet. Changes in C16:1/C16:0 and C18:1/C18:0 relations were observed, but of different magnitude, possibly due to metabolic effects because of the different feeding level of the two dietary groups. New studies are required to deeply examine the effects of this product may have in Iberian pig feeding and quality of their products.

Keywords: Chilean hazelnut, pig, fatty acids, fat.

Introducción

El cebo a base de piensos compuestos es el sistema de producción de cerdos Ibéricos en base a la alimentación más común en España (BOE, 2014). Ello es en parte debido a que la alimentación en montanera exclusiva está limitada por la producción de bellotas y a su carácter estacional, sin posibilidades de que este único sistema pueda soportar la demanda que exige el mercado en productos derivados del cerdo Ibérico (García Casco *et al*., 2013). La alimentación, junto con las características genéticas, es el principal factor responsable de la calidad de los productos debido a que muchos compuestos, especialmente aquellos de carácter liposoluble, se acumulan directamente en sus tejidos con pocas modificaciones (Sanabria *et al*., 2013; Rey *et al*., 2013), y por tanto es también responsable de su valor comercial. Así aquellos productos derivados de cerdos alimentados con los recursos de la dehesa adquieren un precio más alto en el mercado y se caracterizan por tener mayor cantidad de compuestos antioxidantes (Rey *et al*., 2013), y un perfil lipídico característico (Sanabria *et al*., 2013) que es responsable de muchas características visuales, de aroma y sabor apreciadas por los consumidores (Ruiz *et al*., 1998).

Además del uso de la bellota como fruto natural en el cebo de cerdos Ibéricos, en la bibliografía se ha descrito el uso de castañas (*Castanea sativa*). En concreto, se ha utilizado en la alimentación del cerdo Celta (Domínguez *et al*., 2015), y en el cerdo Cinta Senese, explotado en Italia (Pugliese *et al*., 2013). La castaña, por su alto contenido en ácido oleico y en γ-tocoferol (Pugliese *et al*., 2009), unido al sistema de explotación, hacen que las características finales de los productos derivados de estos animales tengan una calidad superior a los de los animales cebados a base de pienso exclusivamente, y en semejanza a la calidad de los productos de cerdos cebados en montanera (Pugliese *et al*., 2009; Lorenzo *et al*., 2012).

Un fruto silvestre cuya utilización podría ser también interesante en la alimentación del cerdo Ibérico es la avellana Gevuína (*Gevuina avellana*). La avellana Gevuína es un fruto que se produce en Chile, principalmente en las regiones de la Araucanía, Maule, Valparaíso y Biobío, en los meses de marzo y abril (Cruzat y Barrios, 2009). El interés por este fruto en alimentación animal surgió debido a su alto contenido en energía y valores proteicos medios del 12 % (Loewe *et al*., 1997). Además resulta interesante porque el perfil de ácidos grasos, especialmente su proporción en ácido oleico (C18:1n-9), es muy similar al de la bellota, 49,3 % de lípidos, de los cuales el 93 % son ácidos grasos insaturados, con la particularidad de que posee un alto contenido en grasa (Loewe *et al*., 1997), presentando contenidos menores en ácidos grasos saturados que otros frutos (nuez de macadamia, avellana común, bellota, castaña) (Bertoli *et al*., 1998; Jil Martínez, 2006; Rey *et al*., 2006; Pugliese *et al*., 2009). Sin embargo, no se han encontrado datos en la bibliografía relativos a los posibles efectos que el consumo de este fruto silvestre pueda ocasionar sobre el perfil lipídico en el cerdo Ibérico. Únicamente existen dos estudios previos realizados en aves que no evalúan la acumulación de ácidos grasos (Méndez-Soto, 1981; Cáceres *et al*., 1982).

Debido a las características de la avellana Gevuína, a las posibilidades de explotación de la misma y a la limitada producción de bellota que España posee, se ha planteado en el presente trabajo su uso en forma desecada con el objetivo de estudiar los cambios en el perfil lipídico y conocer las posibilidades de su utilización en determinados sistemas de explotación.

Material y métodos

Todos los procedimientos llevados a cabo en este estudio cumplieron con la normativa recogida en el RD53/2013 sobre protección de animales con fines científicos (BOE, 2013).

Animales experimentales

Para la realización del presente trabajo se utilizaron cerdos Ibéricos castrados (hembras) de variedad retinta de unos 12 meses de edad (nacidos en enero) que durante la fase pre-experimental habían estado alojados en una cerca de 1 ha (finca Navalazarza, Córdoba, España) y alimentados con un pienso de crecimiento-cebo a base de cereales y leguminosas. A continuación, se seleccionaron animales homogéneos que se distribuyeron en dos grupos (n = 6 por grupo) (peso medio inicial de 126,6 ± 4,7 kg), que fueron alojados en cercas de unas 0,6 ha, sin hierba ni bellota. A ambos grupos se les administró pienso compuesto específico para el periodo de cebo (Tabla 1) a voluntad (comenzando con un mínimo inicial de 2 kg de pienso por animal y día e incrementando de forma progresiva hasta saciedad) durante el periodo de engorde. Además, a uno de los grupos se le administró adicionalmente 2 kg de avellana Gevuína desecada (*Gevuina avellana*) por animal y día durante los dos meses de cebo (60 días) hasta un peso medio aproximado de 170 ± 5 kg. Las avellanas fueron suministradas al final de la comida a modo de "postre" y redujo en los animales el apetito por el pienso tras las primeras semanas de administración. Las avellanas desecadas fueron obtenidas de la región de la Araucanía (Chile) durante el mes de septiembre de 2017 y fueron administradas a los cerdos con cáscara. La composición calculada del pienso e ingredientes se muestra en la Tabla 1. De la avellana administrada el 66 % estaba constituido por cáscara (que era expulsada por el cerdo) y un 28 % aproximadamente era la semilla que era la parte ingerida.

Tabla 1. Ingredientes y composición del pienso administrado durante el periodo de cebo.
Table 1. Ingredients and composition from mixed diet given during the fattening period.

Composición en nutrientes	%
Proteína bruta	11,06
Aceites y grasas brutas	6,19
Fibra bruta	4,51
Cenizas brutas	4,27
Lisina	0,65
Metionina	0,17
Calcio	0,75
Fósforo	0,47
Sodio	0,18
ED (Mcal/kg) estimada	3,42

Ingredientes: Trigo, cebada, semilla girasol alto oleico, salvado de trigo, carbonato cálcico, cloruro sódico y fosfato bicálcico.

Aditivos (por kg): Vitamina A, 2500 UI; Vitamina D_3, 500 UI; Vitamina E, 50 mg; Manganeso (óxido), 15 mg; Zinc (óxido), 55 mg; Cobre (sulfato pentahidratado), 5 mg; Yodo (yoduro de potasio), 0,38 mg; Cobalto (carbonato cobalto), 0,50 mg; Selenio (selenito sodico), 0,05 mg; Hierro (carbonato ferroso), 45 mg; L-lisina (EC 3.3.2.2.), 0,37 %; L-treonina (EC 3.3.3.1), 0,07 %; 6-Fitasa (EC 3.1.3.26), 250 FTU; Sepiolita, 375 mg.

ED: Energía Digestible.

Para el estudio de la evolución de la composición lipídica, se realizó una toma de biopsias (pistola de biopsias con cabezal cilíndrico acoplado) de grasa subcutánea (a 2-3 cm por delante de la tuberosidad isquiática del animal) en diferentes momentos y pesos durante el periodo de cebo. Una primera toma se llevó a cabo en el momento inicial y una segunda antes del sacrificio de los animales tras el periodo de cebo. Previo a la toma de biopsias se aplicó un anestésico local inyectable (Stresnil) y tras la toma de biopsias se administró un cicatrizante tópico (Aluspray®) y las muestras se situaron en un tubo aséptico que fue refrigerado inmediatamente a 4 °C y posteriormente congelado a –20 °C hasta el momento de análisis. No se detectó ningún grado del malestar de los animales los días siguientes a la toma de muestras.

Análisis de la composición general del pienso y avellanas

La determinación de humedad del alimento se llevó a cabo según la norma ISO-1442. Los recipientes donde se pesaron las muestras se secaron en una estufa a 100 °C durante 1 h. A continuación, se pesaron 5 g de la muestra y se mantuvieron en la estufa de desecación a 100-105 °C hasta peso constante. El cálculo de la humedad se realizó por diferencia de pesadas.

La cuantificación del contenido en grasa se realizó por el método Soxlet. Entre 5-10 g de muestra molida se situaron en el extractor sobre el que se añadió éter etílico. El éter se recogió en un matraz aforado previamente pesado. La muestra se lavó con éter hasta que el éter fue incoloro (aproximadamente 4 h) y el residuo se desecó en una estufa a 100 °C. El matraz de recogida del éter se dejó enfriar en desecador y se pesó a temperatura ambiente.

Los tocoferoles (alfa y gamma) de los alimentos (pienso y avellana) se cuantificaron siguiendo una modificación del método descrito por Rey *et al*. (2013). Se pesaron 0,2 g de muestra en un tubo topacio y se saponificó en presencia de KCl al 1,15 %, pirogalol (solución al 3 % en etanol) y KOH al 50 %. A continuación, se procedió a la incubación de las muestras a 70 °C en agitación durante 2 h. Los tocoferoles se extrajeron con éter de petróleo tras agitación y centrifugación durante 10 min a 3000 rpm. La fase superior de éter de petróleo se evaporó bajo corriente de nitrógeno y el residuo se diluyó en etanol absoluto para su análisis cromatográfico por HPLC (HP 1100, equipado con un detector diodo array, Agilent Technologies, Waldbronn, Germany). La fase móvil fue metanol: agua (97:3) (v/v) a un flujo de 2,0 ml/min y la columna utilizada fue Lichrocart PR 18 (250×4 mm i.d., 5 µm tamaño de partícula; Agilent Technologies). La identificación de las formas de tocoferol se realizó por comparación de los tiempos de retención de los patrones y de las muestras. La cuantificación se realizó a partir de una cantidad conocida del patrón (Sigma, Alcobendas, España) y se expresó en forma de µg/g de alimento.

Análisis del perfil de ácidos grasos del pienso, avellanas y grasa subcutánea

La determinación de la composición de ácidos grasos del pienso y avellanas se llevó a cabo por el método propuesto por Sukhija y Palmquist (1988) con ligeras modificaciones. Se pesaron 250 mg de muestra en un tubo de centrífuga al que se añadió tolueno conteniendo el patrón interno (C15:0 a 10 mg/ml). La muestra se sometió a una temperatura de 70 °C durante 2 h en un baño en agitación en presencia de cloruro acético en metanol al 5 %. A continuación se agregaron 5 ml de solución de carbonato potásico, y se centrifugó 5 min a 3000 rpm. El sobrenadante fue puesto en presencia de sulfato anhidro y tras centrifugación, la parte superior se recogió y analizó por cromatografía de gases (Agilent Technologies).

La grasa del tejido subcutáneo se extrajo mediante el método de fusión térmica (Carrapiso y García, 2000). Se procedió a separar la piel de la muestra y se colocó la grasa en un tubo de vidrio que se introdujo en un horno microondas para ser fundido (1 min aproximadamente, a una potencia de media de 350 w). Posteriormente se colocaron 50 mg de la grasa fundida en presencia de metilato sódico al 5 % y en una estufa a 80 °C durante 1 h. La muestra fue agitada cada 15 min. A continuación, se añadió sulfúrico en metanol al 5 % y se mantuvo en la estufa a 80 °C durante 1 h más, seguida de agitación cada 20 min. Finalmente, y una vez enfriada la muestra a temperatura ambiente, se añadió éter de petróleo, y tras agitación, se recogió la capa superior para su análisis en el cromatógrafo de gases. El cromatógrafo (HP-6892, Agilent Technologies) estaba equipado con un inyector de split (1/50), un detector de ionización de llama (FID) y una columna capilar Innowax con fase estacionaria polietilenglicol (30 m × 0,32 mm × 0,25 µm) (Agilent Technologies, Waldbronn, Germany). Las condiciones utilizadas fueron las siguientes: temperatura inicial de 170 °C y temperatura final de 250 °C con un incremento de 4 °C/min durante 18 min. El inyector y el detector se mantuvieron a 250 °C hasta 37 min. Se utilizó nitrógeno como gas portador a un flujo de 2,5 ml/min. La identificación individualizada de los ácidos grasos se realizó mediante el empleo de mezclas conocidas de patrones externos. El ácido C15:0 (ácido-pentadecanoico) (Sigma, St Louis, M.O. USA) se utilizó como patrón interno. Los ácidos grasos se expresaron como porcentaje sobre el total de los ácidos grasos identificados.

Análisis Estadístico de los datos

La unidad experimental fue el cerdo. Los datos se analizaron siguiendo un diseño completamente al azar utilizando el procedimiento GLM del SAS (v9,3) (Statistical Analysis Institute, 2002). Se comprobó previamente la homogeneidad de la varianza. Se evaluaron como efectos principales el tratamiento (pienso *vs*. pienso + avellanas) y el tiempo de muestreo. Los datos se presentaron con el valor medio seguido del cuadrado medio del error (RMSE) y de la probabilidad (*P*). Las diferencias se consideraron estadísticamente significativas cuando $P < 0,05$.

Resultados

En la Tabla 2 se presentan los resultados de la composición analizada de las diferentes dietas experimentales. Como se puede observar, la avellana se caracterizó por tener un elevado contenido en grasa (44 %), mucho más elevado que el del pienso (7 %). Además, la avellana proporcionó bajas cantidades de tocoferoles, incluso inferiores a lo proporcionado con el pienso compuesto.

En cuanto a la composición de ácidos grasos de estos alimentos, se observó que la avellana además de ser una buena fuente de ácido oleico (C18:1n-9), presentó una proporción superior de palmitoleico (C16:1) y de C20:1n-9, por lo que la proporción en ácidos grasos monoinsaturados fue mucho mayor respecto al aportado con el pienso (81,32 *vs*. 56,90). Además la avellana presentó una proporción muy baja de palmítico (C16:0) y esteárico (C18:0) con lo que la proporción total de ácidos grasos saturados fue muy inferior en comparación con la que presentó el pienso (6,98 *vs*. 32,4). En cuanto a los ácidos poliinsaturados, la avellana proporcionó menor proporción de C18:2n-6.

Los resultados del perfil de ácidos grasos de la grasa subcutánea se presentan en la Tabla 3. Según el alimento administrado, se observó una menor proporción en C18:1n-9 ($P = 0,0001$) en el grupo suplementado con avellana con respecto al grupo no suplementado. Así mis-

Tabla 2. Composición analizada de la avellana (*Gevuina avellana*) y el pienso de cebo.
*Table 2. Analyzed composition of hazelnut (*Gevuina avellana*) and mixed diet.*

	Avellana		Pienso Cebo	
	Media	SD	Media	SD
Composición Química (%)				
Humedad	5,10	± 0,141	10,00	± 0,183
Grasa	44,01	± 0,714	7,00	± 0,152
Composición en Tocoferoles (µg/g)				
α-tocoferol	0,75	± 0,061	4,36	± 0,513
γ-tocoferol	0,22	± 0,030	0,45	± 0,102
Composición en Ácidos Grasos (%)				
C14:0	0,13	± 0,092	0,50	± 0,025
C16:0	2,63	± 0,074	26,39	± 0,030
C16:1n9+n7	26,09	± 0,010	0,60	± 0,035
C17:0	0,03	± 0,011	0,20	± 0,033
C17:1	0,11	± 0,000	0,10	± 0,000
C18:0	0,73	± 0,127	4,88	± 0,050
C18:1n9+n7	44,02	± 0,802	55,18	± 0,500
C18:2n-6	7,96	± 0,070	10,76	± 0,200
C18:3n-3	0,17	± 0,002	0,30	± 0,000
C20:0	1,93	± 0,029	0,80	± 0,020
C20:1n-9	3,18	± 0,187	0,80	± 0,060
C20:5n-3	2,45	± 0,004		
C22:0	1,54	± 0,277		
C22:1	7,92	± 0,140		
C22:5	0,88	± 0,263		
C22:6	0,23	± 0,078		
Σ SAT	6,98	± 0,333	32,4	± 0,158
Σ MONO	81,32	± 1,139	56,90	± 0,595
Σ POLI	11,52	± 0,072	11,10	± 0,200

Σ SAT = suma de todos los ácidos grasos saturados.

Σ MONO = suma de todos los ácidos grasos monoinsaturados.

Σ POLI = suma de todos los ácidos grasos poliinsaturados.

Tabla 3. Composición en ácidos grasos (g/100 g del total de ácidos grasos) en grasa subcutánea de los cerdos Ibéricos según los grupos experimentales.
Table 3. Fatty acid composition (g/100 g total fatty acids) in subcutaneous fat from pigs fed the experimental diets (mixed diet or mixed diet + hazelnut).

%	Pienso	Pienso + avellana	RMSE tratamiento	RMSE tiempo	P tratamiento	P tiempo	P trat×tiempo
C14:0							
inicial	1,40	1,30	0,163	0,16	NS	NS	NS
final	1,30	1,20					
C16:0							
inicial	23,00	23,70	0,95	0,305	**	***	**
final	21,60	21,60					
C16:1n7							
inicial	2,60	2,50	0,203	0,173	NS	*	NS
final	2,40	2,20					
C17:0							
inicial	0,40	0,30	0,16	0,156	NS	NS	NS
final	0,30	0,30					
C17:1							
inicial	0,50	0,40	0,16	0,156	NS	NS	NS
final	0,40	0,40					
C18:0							
inicial	11,50	12,10	0,58	0,332	***	***	NS
final	10,50	11,00					
C18:1n9							
inicial	51,30	50,00	2,17	0,536	***	***	***
final	54,90	54,50					
C18:2n6							
inicial	7,20	7,70	0,582	0,254	**	***	NS
final	6,30	6,50					
C18:3n3							
inicial	0,40	0,40	0,16	0,151	NS	NS	NS
final	0,30	0,30					
C20:0							
inicial	0,20	0,20	0,080	0,075	NS	NS	NS
final	0,20	0,20					
C20:1n9							
inicial	1,30	1,30	0,264	0,169	NS	**	NS
final	1,60	1,80					

RMSE = Cuadrado medio del error; n = 6/tratamiento.

mo el grupo que consumió pienso y avellanas presentó mayor proporción en C16:0 (P = 0,0010), C18:0 (P = 0,0001) y C18:2n-6 (P = 0,0011), con respecto al grupo que solo consumió pienso.

Las variaciones que se pudieron observar con respecto al tiempo revelaron que los ácidos grasos C18:1n-9 (P = 0,0001) y C20:1n-9 (P = 0,0004) aumentaron con el tiempo de cebo, mientras que el C16:0 (P = 0,0001), el C16:1n-7 (P = 0,0100), el C18:0 (P = 0,0001), el C18:2n-6 (P = 0,0011) disminuyeron.

Respecto a la evolución del perfil de ácidos grasos según el tipo de alimentación administrada (interacción tiempo × tratamiento), se observaron diferencias significativas en los ácidos grasos C16:0 (P = 0,0010) y C18:1n9 (P = 0,0001). Así se pudo observar que la proporción en C18:1n-9 aumentó de una forma más marcada con el tiempo en los animales suplementados con avellanas mientras que la velocidad de aumento fue inferior en los no suplementados. El efecto inverso se observó en la proporción de C16:0, que disminuyó de una forma más intensa en los animales suplementados con avellanas respecto a los que no fueron suplementados. Este efecto de la interacción se puede observar en las Figuras 1 y 2.

Con referencia a los resultados de las proporciones de los principales grupos de ácidos grasos, saturados, monoinsaturados y poliinsaturados (Tabla 4), se pudo observar, que en función de la alimentación, el grupo que recibió pienso y avellanas experimentó una menor proporción total en Σ MUFA (P = 0,0131), así como una relación C18:1/C18:0 (P = 0,0001) y C16:1/C16:0 (P = 0,0238), inferiores con una tendencia a tener más proporción de ácidos grasos poliinsaturados (Σ PUFA) (P = 0,0533), con respecto al grupo que sólo recibió pienso.

La variaciones respecto al tiempo y en consonancia con lo observado para los ácidos grasos individuales, el grupo suplementado con avellanas mostró un aumento de la proporción de Σ MUFA (P = 0,0001), y C18:1/C18:0 (P = 0,0001), mientras que se produjo una disminución en las proporciones de ácidos grasos saturados (Σ SAT) (P = 0,0001) y Σ PUFA (P = 0,0001). Sin embargo, no se pudieron observar diferencias significativas en relación a la interacción tiempo por tratamiento en los principales grupos de ácidos grasos, lo que nos indicaría que los incrementos en MUFA y C18:1/C18:0 con el tiempo de suplementación fue idéntico en ambos grupos.

Discusión

Se ha encontrado que la avellana Gevuína procedente de la región de la Araucanía (Chile) es un fruto que en su presentación desecada presenta bajo contenido en humedad (5,10 %), valores que son similares a los referenciados en la bibliografía (Karmelic, 1992; Loewe *et al.*, 1997), en los que la humedad representa un 8,1 % y 7,6 % respectivamente. En cuanto a la grasa, los valores obtenidos en la avellana están en consonancia con lo publicado (Loewe *et al.*, 1997; Jil Martínez, 2006), lo que confirma su elevado valor energético y su interés en alimentación animal. También resulta de interés el alto contenido en grasa de la avellana en comparación con la bellota respecto a los datos presentes en la bibliografía (Rey *et al.*, 2006). Esto recalca el hecho de que un aumento pequeño en el aporte de avellana podría incrementar la cantidad de calorías que los animales reciben al día lo que puede ser de interés en condiciones hostiles del invierno duro de la dehesa.

En cuanto a la composición en ácidos grasos en la avellana de Araucanía, sobresalen los ácidos grasos monoinsaturados, encontrándose en mayor proporción el ácido palmitoleico (C16:1) y el oleico (C18:1), lo que coincide con datos publicados (Jil Martínez, 2006) de avellanas de otras regiones geográficas. La

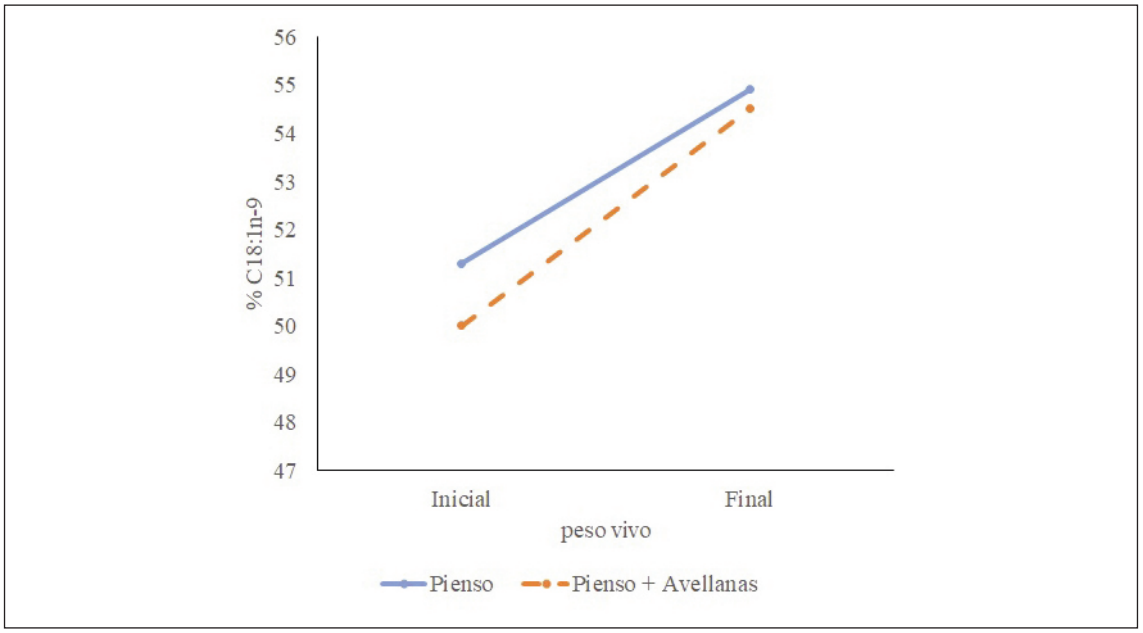


Figura 1. Cambios con el tiempo en C18:1n9 (%) (*P* = 0,0001), según el tipo de alimento administrado (interacción tiempo × tratamiento).
Figure 1. Changes with time in C18:1n-9 (%) (P = 0.0001) according to feed given (interaction time × dietary treatment).

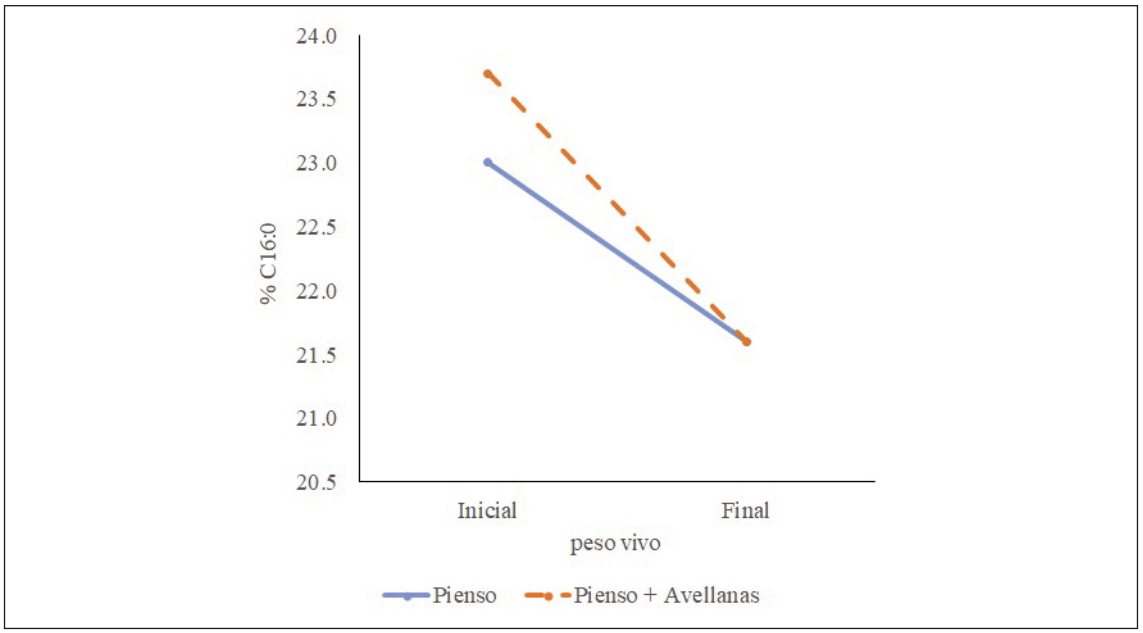


Figura 2. Cambios con el tiempo en C16:0 (%) (*P* = 0,001), según el tipo de alimento administrado (interacción tiempo × tratamiento).
Figure 2. Changes with time in C16:0 (%) (P = 0.0001) according to feed given (interaction time × dietary treatment).

Tabla 4. Composición de los principales grupos de ácidos grasos de la grasa subcutánea de los cerdos Ibéricos según los tratamientos experimentales.
Table 4. Main fatty acid composition of subcutaneous fat from Iberian pigs according to the experimental treatments.

%	Pienso	Pienso + avellana	RMSE tratamiento	RMSE tiempo	P tratamiento	P tiempo	P trat×tiempo
Σ SAT							
inicial	36,50	37,60	1,72	0,811	NS	***	NS
final	33,90	34,30					
Σ MONO							
inicial	55,70	54,20	2,3	0,843	*	***	NS
final	59,30	58,90					
Σ POLI							
inicial	7,60	8,10	0,69	0,346	NS	***	NS
final	6,60	6,80					
n6/n3							
inicial	21,78	23,31	16,440	15,900	NS	NS	NS
final	31,67	32,69					
C18:1/C18:0							
inicial	4,46	4,13	0,547	0,170	***	***	NS
final	5,23	4,95					
C16:1/C16:0							
inicial	0,11	0,11	0,006	0,008	*	NS	NS
final	0,11	0,10					

Σ SAT = suma de todos los ácidos grasos saturados.

Σ MONO = suma de todos los ácidos grasos monoinsaturados.

Σ POLI = suma de todos los ácidos grasos poliinsaturados.

NS = no significativo ($P > 0,05$).

RMSE = Cuadrado medio del error.

proporción en ácidos grasos monoinsaturados es incluso superior que lo referenciado para la bellota (Rey *et al*., 2006). El hecho de contener una elevada proporción de ácidos grasos monoinsaturados podría proporcionar una mayor estabilidad frente a la oxidación a los tejidos en los que se depositen y ser responsable de aromas y sabores característicos (Ruíz *et al*., 1998; Rey *et al*., 2006) tal y como ocurre cuando el animal consume bellota. En referencia al pienso, el ácido graso mayoritario fue el ácido oleico, que representa apro-

ximadamente la mitad de la proporción de ácidos grasos, superando este ácido graso incluso en proporción a lo aportado por la avellana debido a la utilización en la formulación de semilla de girasol alto oleico. El siguiente ácido graso mayoritario en el pienso fue el palmítico, encontrándose en un 26 %, estando estos datos en concordancia con lo publicado con piensos que usan similares ingredientes (Rey *et al*., 2006; Sanabria *et al*., 2013). Destaca en comparación con la avellana la baja proporción de C16:1 y la alta proporción de C16:0 que hace que la proporción final de ácidos grasos saturados de la avellana fuera muy inferior en comparación con el pienso. Mientras que la proporción en ácidos grasos monoinsaturados llegó a ser superior en la avellana sobre todo por la importante contribución del C16:1 respecto al pienso.

En cuanto a los tocoferoles analizados en la avellana de Araucanía los valores resultaron similares a lo publicado por otros autores (Núñez Pizarro, 2007) en otras regiones de Chile.

Respecto a la acumulación de los ácidos grasos del alimento en la grasa subcutánea del cerdo, se pudo observar en primer lugar, una variación en la proporción total de C18:1n-9 y de ácidos grasos monoinsaturados de forma significativa, a favor de los animales que consumieron sólo pienso. Sin embargo, hay que observar que estos resultados se debieron en parte a las proporciones iniciales inferiores de C18:1n-9 de los animales suplementados con avellanas. Así pudo observarse que el aumento de C18:1n-9 en los dos grupos se incrementó con el tiempo, pero además se observó una interacción, lo que indicaría la diferente velocidad de aumento de C18:1n-9 en ambos grupos. Así, se encontró que en el grupo suplementado con avellanas aunque partió de una proporción inicial inferior respecto al no suplementado, el incremento fue proporcionalmente mayor con el tiempo (interacción tiempo × tratamiento) y alcanzó una proporción cercana a la obtenida por el grupo de pienso (Figura 1). Este aumento de C18:1n-9 pudo deberse a la acumulación directa de la grasa del alimento (Rey *et al*., 2006; Apple *et al*., 2009; Sanabria *et al.*, 2013) ya que aunque la avellana contiene una proporción similar a la que aporta el pienso, este fruto proporciona un contenido muy alto en grasa, por lo que proporcionalmente el cerdo consumió mayor cantidad de C18:1n-9, y consecuentemente, en el grupo suplementado con avellanas el incremento con el tiempo en la proporción de este ácido graso fue mayor. Los efectos de la acumulación directa de grasa en los tejidos procedente de la alimentación se han referenciado además de en el cerdo (Apple *et al*., 2009; Sanabria *et al.*, 2013), en otros animales monogástricos como pollos (Carmona *et al.*, 2017), ratas (Duarte *et al*., 2012) y peces (Hsieh *et al*., 2007). Los animales monogástricos pueden acumular los ácidos grasos del alimento sin apenas modificaciones (Sanabria *et al*., 2013; Domínguez *et al*., 2015). Además, en lo que respecta a los ácidos grasos monoinsaturados se observó una disminución con el tiempo en la proporción de C16:1n7 en ambos grupos. En general los n-7 se han relacionado con la actividad metabólica del cerdo para obtención de energía, procediendo posiblemente a partir de fenómenos de desaturación de los ácidos grasos de la dieta (Ding *et al.,* 2003). A partir de este razonamiento y los resultados observados es posible que este ácido graso se estuviera oxidando para la obtención de energía a causa de su preferente utilización (Power *et al.*, 1997).

Otro posible origen del C18:1 y de los ácidos grasos monoinsaturados sería por síntesis endógena y desaturación del C18:0 (Ding *et al*., 2003). Así se pudo observar que los animales que recibieron avellanas presentaron mayor proporción total en C16:0 y C18:0 en la grasa aunque teniendo en cuenta el alto porcentaje de grasa de la avellana, el aporte de estos ácidos grasos por parte de este fruto fue solo algo

inferior que con el aporte único de pienso. Estudios previos indican el alto potencial lipogénico por encima del poder de desaturación que tiene el cerdo Ibérico sobre todo cuando el aporte energético es elevado (Daza *et al*., 2007b; Benítez *et al.*, 2018). Por otra parte, los índices de desaturación (C18:1/C18:0 y C16:1/C16:0) fueron superiores en los animales que sólo recibieron pienso. Los fenómenos de desaturación (obtención de ácidos grasos monoinsaturados a partir de saturados) los podría usar el animal para obtención de ácidos grasos monoinsaturados que se metabolizan más fácilmente para obtención de energía, puesto que se ha descrito un uso preferente de ácidos grasos insaturados frente a los saturados (Raclot y Groscolas, 1993). La actividad de la enzima delta-9-desaturasa, que participa en los fenómenos de desaturación, se ha observado que puede verse afectada por el estado nutricional del animal (Dridi *et al.*, 2007). El tipo de grasa también puede afectar a la mayor o menor actividad de esta enzima (Carmona *et al.*, 2017) lo cual podría estar relacionado con la disponibilidad de los ácidos grasos que se queman más favorablemente en el organismo. Así, en un experimento específico en pollos a los que se administraron dietas ricas en ácidos grasos saturados o insaturados (Carmona *et al*., 2017) se observó que la acumulación de ácidos grasos saturados se reguló en aquellos que recibían únicamente grasas saturadas en la ración, lo que se explicó posiblemente por un aumento en la actividad de las enzimas desaturasas, que fue mayor en aquellos animales que recibieron grasas saturadas durante todo el periodo de alimentación. Más específicamente, en cerdos se ha descrito que la actividad metabólica en el tejido adiposo podría venir determinado por el nivel de grasa de la ración (Duran-Montgé *et al*., 2009). Estos autores observaron que cerdos que recibían una ración sin grasa mostraron una mayor actividad de enzima delta-9-desaturasa en el tejido adiposo subcutáneo. De esta forma, es razonable que en el grupo de animales que consumieron únicamente pienso, y por tanto menor contenido graso respecto a los que también consumieron avellanas, la actividad de las desaturasas fuera mayor.

Como consecuencia del aumento en la proporción de C18:1n-9 con el tiempo, la proporción de los ácidos grasos saturados y en especial del C16:0 y C18:0 disminuyeron en ambos grupos. Existen datos previos en la bibliografía que indican la disminución de la proporción de ácidos grasos saturados según aumenta la acumulación de monoinsaturados en los tejidos (Daza *et al*., 2007a; Apple *et al.,* 2009). Así, animales que recibieron dietas con una mayor proporción en ácidos grasos monoinsaturados o poliinsaturados, con la incorporación de aceite de soja o grasa de pollo en el pienso, al final del cebo presentaron una menor proporción de ácidos grasos saturados en la grasa subcutánea (Apple *et al*., 2009). Además, hay que destacar en el presente trabajo la interacción observada entre la proporción de C16:0 en la grasa subcutánea y el tiempo de cebo, así puesto que el C18:1n-9 aumentó su proporción en los tejidos a más velocidad con el tiempo en los animales suplementados con avellanas, la proporción de C16:0 en la grasa subcutánea disminuyó más rápido en este grupo (Figura 2), si bien es cierto que el grupo suplementado con avellanas partía de una proporción inicial superior de C16:0.

En cuanto a la proporción de C18:2n-6 en la grasa subcutánea, el grupo suplementado con avellanas presentó una mayor proporción de éste ácido graso en comparación con el grupo que sólo recibió pienso. Este resultado podría explicarse porque a pesar de la poca proporción de este ácido graso en la avellana, ésta presentó mayor cantidad de grasa siguiendo el mismo razonamiento indicado anteriormente, con lo que la ingestión de C18:2 fue superior en este grupo. Un mayor aporte de este ácido graso se ha relacionado con una mayor acumulación del mismo en los tejidos así como una mayor utilización para fines me-

tabólicos por lo que no existe una relación directa entre su aporte y su acumulación (Daza *et al.*, 2005; Sanabria *et al*., 2013). Así en el presente estudio la proporción de C18:2 en los tejidos fue ligeramente superior en el grupo que consumió avellanas, lo que se tradujo además en una mayor proporción de PUFA. Además, este ácido graso disminuyó en función del tiempo porque se usa preferentemente para fines metabólicos (Raclot y Groscolas, 1993; Daza *et al.*, 2005), aunque puesto que todos los cerdos se encontraban en las mismas condiciones ambientales, su descenso con el tiempo de cebo se pudo deber probablemente al incremento en monoinsaturados en ambos grupos, y por tanto a un fenómeno de dilución (Wood *et al.*, 2008).

Conclusiones

En conclusión, la administración de 2 kg de avellana Gevuína desecada (fruto alto en grasa, rico en ácidos grasos monoinsaturados C16:1 y C18:1 y pobre en saturados) durante el periodo de cebo a base de pienso fueron suficientes para producir con el tiempo, un incremento en la velocidad de acumulación de C18:1 en la grasa subcutánea, así como un consiguiente más rápido descenso del C16:0. El aporte de esa pequeña cantidad de avellana junto con pienso, sin embargo, no mejoró el perfil lipídico de la grasa. Nuevos estudios son necesarios para poder seguir indagando en la posible utilización de este ingrediente. Si bien, los costes de transporte hasta la península ibérica pueden encarecer considerablemente el producto pudiendo llegar a superar a la de otros frutos locales.

Agradecimientos

Este estudio se realizó gracias al apoyo económico y de infraestructuras de Nuño Ruiz de Dulanto y José María Molina.

Referencias bibliográficas

Apple JK, Maxwell CV, Galloway DL, Hamilton CR, Yancey JWS (2009). Interactive effects of dietary fat source and slaughter weight in growing-finishing swine: III. Carcass and fatty acid compositions. Journal of Animal Science 87: 1441-1454. https://doi.org/10.2527/jas.2008-1455

Benítez R, Fernández A, Isabel B, Núñez Y, De Mercado E, Gómez-Izquierdo E, García-Casco J, López-Bote CJ, Óvilo C (2018). Modulatory effects of breed, feeding status and diet on adipogenic, lipogenic and lipolytic gene expression in growing Iberian and Duroc pigs. International Journal of Molecular Science 19: 22-42. https://doi.org/10.3390/ijms19010022

Bertoli C, Fay LB, Stancanelli M, Gumy D, Lambelet P. (1998). Characterization of Chilean hazelnut (*Gevuina avellana* Mol) seed oil. Journal of the American Oil Chemists' Society 75(8): 1037-1040. https://doi.org/10.1007/s11746-998-0283-5

Cáceres O, Anrique R, Voullieme A, Méndez C (1982). Utilización del fruto del avellano (*Gevuina avellana*, Mol.) en alimentación de pollas Cornish de 0 a 30 días de edad. Simiente (Chile) 52(3-4): 161.

Carmona JM, López-Bote CJ, Daza A, Rey AI (2017). Fat accumulation, fatty acids and melting point changes in broiler chick abdominal fat as affected by time of dietary fat feeding and slaughter age. British Poultry Science 23: 1-10. https://doi.org/10.1080/00071668.2016.1187715

Carrapiso AI, García C (2000). Development in lipid analysis: Some new extraction techniques and in situ transesterification. Lipids 35(11): 1167-1177. https://doi.org/10.1007/s11745-000-0633-8

Cruzat R, Barrios E (2009). Producción de avellanas chilenas como recurso para productores rurales. Experiencias de Innovación para el Emprendimiento Agrario. Fundación para la innovación Agraria. Ed. Norberto Parra Hidalgo, Ministerio de Agricultura. Chile. 28 pp.

Daza A, Mateos A, Rey AI, López-Bote CJ (2005). Feeding level in the period previous to the late fattening phase influence fat composition at

slaughter in free-ranged Iberian pigs. Archives of Animal Nutrition 59 (4): 227-236. https://doi.org/10.1080/17450390500216902

Daza A, Mateos A, Rey AI, Ovejero I, López-Bote CJ (2007a). Effect of duration of feeding under free-range conditions on production results and carcass and fat quality in Iberian pigs. Meat Science 76: 411-416. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2006.10.004

Daza A, Rey AI, Menoyo D, Bautista JM, Olivares A, López-Bote CJ (2007b). Effect of level of feed restriction during growth and/or fattening on fatty acid composition and lipogenic enzyme activity in heavy pigs. Animal Feed Science and Technology 138: 61-74. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2006.11.013

Ding ST, Lapillonne A, Heird WC, Mersmann HJ (2003). Dietary fat has minimal effects on fatty acid metabolism transcript concentrations in pigs. Journal of Animal Science 81: 423-431. https://doi.org/10.2527/2003.812423x

Domínguez R, Martínez S, Gómez M, Carballo J, Franco I (2015). Fatty acids, retinol and cholesterol composition in various fatty tissues of Celta pig breed: Effect of the use of chestnuts in the finishing diet. Journal of Food Composition and Analysis 37: 104-111. https://doi.org/10.1016/j.jfca.2014.08.003

Dridi S, Taouis M, Gertler A, Decuypere E, Buyse J (2007). The regulation of stearoyl-CoA desaturase gene expression is tissue specific in chickens. Journal of Endocrinology 192: 229-236. https://doi.org/10.1677/JOE-06-0070

Duarte FO, Sense-Fiorese M, Cheik NC, Santa Maria A, De Aquino A, Camargo J, Rossi E, Garcia AC, Dâmaso AR (2012). Food restriction and refeeding induces changes in lipid pathways and fat deposition in the adipose and hepatic tissues in rats with diet-induced obesity. Experimental Physiology 97(7): 882-894. https://doi.org/10.1113/expphysiol.2011.064121

Duran-Montgé P, Theil PK, Lauridsen C, Esteve-Garcia E (2009). Dietary fat source affects metabolism of fatty acids in pig as evaluated by altered expression of lipogenic genes in liver and adipose tissues. Animal 3(4): 535-542. https://doi.org/10.1017/S1751731108003686

García Casco JM, Muñoz M, González E (2013). Predictive ability of the feeding system in Iberian pig by means of several analytical methods. Grasas y Aceites 64(2): 148-156. https://doi.org/10.3989/gya.130812

Hsieh SL, Hu CY, Hsu YT, Hsieh TJ (2007). Influence of dietary lipids on the fatty acid composition and stearoyl-CoA desaturase expression in hybrid tilapia (*Oreochromis niloticus x O. aureus)* under cold shock. Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology 147: 438-444. https://doi.org/10.1016/j.cbpb.2007.02.010

Jil Martínez PR (2006). Variación del contenido de los ácidos grasos en el aceite extruido en frio de nueve clones de *Gevuina avellana* Mol. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Austral de Chile.

Karmelic J (1982). Recolección e industrialización de avellana chilena. Ministerio de Agricultura. Fundación de Fondo de Investigación Agropecuaria. Corporación de Investigaciones Tecnológicas (INTEC). Chile, pp. 2-17.

Loewe V, Klein F, Pineda G (1997). Monografía de Avellano chileno (*Gevuina avellana*). INFOR. Chile, 49 pp.

Lorenzo JM, Montes R, Purriños L, Cobas N, Franco D (2012). Fatty acid composition of Celta pig breed as influenced by sex and location of fat in the carcass. Journal of the Science of Food and Agriculture 92: 1311-1317. https://doi.org/10.1002/jsfa.4702

Méndez-Soto CA (1981). Utilización del fruto del avellano (*Gevuina avellana*, Mol.) en alimentación de pollos broilers. Tesis doctoral. Universidad Austral de Chile.

Núñez Pizarro RP (2007). Evaluación del contenido de tocoferoles y tocotrienoles en aceite de nuez de selecciones clonales de *Gevuina avallena* Mol. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Austral de Chile.

Power GW, Cake MH, Newsholme EA (1997). Influence of diet on the kinetic behavior of hepatic carnitine palmitoyltransferase I toward different acyl Coa esters. Lipids 32: 31-37. https://doi.org/10.1007/s11745-997-0005-4

Pugliese C, Sirtori F, D Adorante S, Parenti S, Rey A, López-Bote C, Franci O (2009). Effect of pasture in oak and chestnut groves on chemical and sensorial traits of cured lard of Cinta Senese pigs. Italian Journal of Animal Science 8: 131-142. https://doi.org/10.4081/ijas.2009.131

Pugliese C, Sirtori F, Acciaioli A, Bozzi R, Campodoni G, Franci O (2013). Quality of fresh and seasoned fat of Cinta Senese pigs as affected by fattening with chestnut. Meat Science 93: 92-97. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2012.08.006

Raclot T, Groscolas R (1993). Differential mobilization of white adipose tissue fatty acids according to chain length, unsaturation and positional isomerism. The Journal of Lipid Research 34: 1515-1526.

BOE (2013). Real Decreto 53/2013, de 1 de febrero, por el que se establecen las normas básicas aplicables para la protección de los animales utilizados en experimentación y otros fines científicos, incluyendo la docencia. Boletín Oficial del Estado, núm. 34, de 8 de febrero de 2013, pp. 11370-11421.

BOE (2014). Real Decreto 4/2014, de 10 de enero, por el que se aprueba la norma de calidad para la carne, el jamón, la paleta y la caña de lomo Ibérico. Boletín Oficial del Estado, núm. 10, de 11 de enero de 2014, pp. 1569-1585.

Rey AI, Daza A, López-Carrasco C, López-Bote CJ (2006). Feeding Iberian pigs with acorns and grass in either free-range or confinement affects the carcass characteristics and fatty acids and tocopherols accumulation in *Longisimus dorsi* muscle and backfat. Meat Science 73: 66-74. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2005.10.018

Rey AI, Amazán D, García-Casco MJ (2013). A practical study on the feasibility of alpha and gamma-tocopherol quantification for distinguishing Iberian pig feeding systems. Grasas y Aceites 64 (2): 148-156. https://doi.org/10.3989/gya.130212

Ruiz J, Cava R, Antequera T, Martín L, Ventanas J, López-Bote, CJ (1998). Prediction of the feeding background of Iberian pigs using the fatty acid profile of subcutaneous, muscle and hepatic fat. Meat Science 49: 155-163. https://doi.org/10.1016/S0309-1740(97)00136-8

Sanabria C, Martín-Mateos MJ, González-Cantillo N, Moreno-Indias I, García-Casco JM (2013). Fatty acid analysis of subcutaneous fat from animals with a reliable and safe feeding. Grasas y Aceites 64(2): 148-156. https://doi.org/10.3989/gya.130312

Sukhija PS, Palmquist DL (1998). Rapid method for determination of total fatty-acid content and composition of feedstuffs and feces. Journal of Agricultural and Food Chemistry 36(6):1202-1206.

(Aceptado para publicación el 3 de mayo de 2020)

La sucesión agrícola de unidades de producción del centro de México

A. Romero-Padilla[1], S.R. Márquez-Berber[2], V.H. Santoyo-Cortés[1,*], A.V. Ayala-Garay[3] y J.R. Altamirano-Cárdenas[1]

[1] Centro de Investigaciones Económicas, Sociales y Tecnológicas de la Agroindustria y Agricultura Mundial (CIESTAAM), Universidad Autónoma Chapingo, 56230, México
[2] Dirección de Planeación, Precios de Garantía y Estímulos, Secretaría de Desarrollo Rural, 03310, México
[3] Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, 56230, México

Resumen

En la agricultura mexicana las unidades de producción que predominan son las familiares, lo cual hace que la transmisión de la gestión y la propiedad de éstas ponga en riesgo su continuidad y competitividad. Este estudio describe los escenarios de la sucesión en tres regiones contrastantes del centro de México, a partir de encuestas a productores, y genera una tipología de productores de acuerdo con sus modalidades y perspectivas de sucesión con base en métodos multivariados. Los resultados muestran que los escenarios de sucesión prevalecientes no son planeados, bajo la expectativa de que no habrá conflictos en el proceso. Se identificaron cuatro tipos de sucesión basadas en la existencia o no de un plan de sucesión y en el interés o no de continuar en la actividad agrícola. Las variables más significativas que determinan los tipos identificados son edad del productor, destino de la producción y costo de la tierra. El tema de sucesión es poco tratado en las familias y gobiernos, sin embargo, sus implicaciones son muy importantes para el patrimonio familiar y la actividad productiva. Por ello es necesario desarrollar programas de capacitación y asesoría a los productores sobre esta temática.

Palabras clave: Relevo generacional, envejecimiento, agricultura familiar.

Farm succession of family farms in Mexico center

Abstract

In Mexican agriculture, family farms predominate and consequently the transmission of their management and ownership affects their continuity and competitiveness. This study describes the succession scenarios in three contrasting regions of central Mexico using surveys addressed to producers and generates a producers typology according to their modalities and prospects of succession through multivariate methods. The results show that succession is not planned because there is the expectation that the process will not have any conflict. Four types of successions were identified according to the existence of a succession plan and interest of continuing in the agricultural activity. The most significant variables that explain the succession types identified are the age of the farmer, the destination of pro-

* Autor para correspondencia: hsantoyo@ciestaam.edu.mx

Cita del artículo: Romero-Padilla A, Márquez-Berber SR, Santoyo-Cortés VH, Ayala-Garay AV, Altamirano-Cárdenas JR (2020). La sucesión agrícola de unidades de producción del centro de México. ITEA-Información Técnica Económica Agraria 116(4): 353-370. https://doi.org/10.12706/itea.2020.007

duction and the cost of land. Succession is not considered by families and governments, however, its implications are important for family heritage and agricultural activity. Therefore it is necessary to develop training and advising programs to producers on this subject.

Keywords: Generational renewal, aging, family farming.

Introducción

En la agricultura predominan las formas familiares de producción, donde la propiedad y la gestión empresarial se transmiten dentro del mismo núcleo. No obstante, en el segundo decenio del siglo XXI se acentuaron y coincidieron dos procesos que afectan a la mayor parte de la población mundial: el envejecimiento demográfico y la urbanización (García-Ballesteros y Jiménez-Blasco, 2016) poniendo en riesgo su continuidad e impactando en el desarrollo del sector agrícola.

Ganga-Contreras *et al.* (2016) argumentan que, a nivel mundial, en los últimos 30 años, el proceso de envejecimiento de la población ha mostrado una tendencia al alza, aumentando rápidamente el número y proporción de personas mayores de 65 años, especialmente en el sector rural. En América Latina el peso relativo de la población de 60 y más años es más evidente en las áreas rurales, vinculado a la fuerte emigración (Sánchez-González, 2015), por lo que el porcentaje de las personas mayores que trabajan en el sector rural es mayor del 60% en varios países latinos; en México este porcentaje es del 77% (CEPAL, 2018).

Por otra parte, Burholt y Dobbs (2012) concluyen que el problema del envejecimiento tendrá impacto en las tendencias demográficas, la salud, el acceso a los servicios y las relaciones sociales. En el tema de la agricultura encontraron temas como abandono y retiro en sector rural, además dentro de sus conclusiones consideran al envejecimiento un problema con consecuencias en las zonas rurales, como pobreza, migración e incremento de enfermedades. Barnes (2009) menciona que los cambios en la urbanización, migración y tenencia de la tierra están alterando el tejido fundamental de las unidades de producción agrícola mediante cambios en las estrategias de subsistencia y en la pérdida de una generación de jóvenes agricultores. La poca renovación generacional en la agricultura preocupa en los países de todo el mundo (Duesberg *et al*., 2017; Nuthall y Old, 2017; Cavicchioli *et al*., 2018). En México al no existir un relevo generacional garantizado que aporte mayor dinamismo al sector agropecuario, aparecen nuevos retos relacionados con mantener los niveles necesarios de producción, aunado al desarrollo sustentable del sector en términos económicos, sociales y ambientales (FAO-SAGARPA, 2014).

Debido a la fuerte dependencia de la agricultura familiar con la sucesión intergeneracional, la existencia o ausencia de sucesores puede ser un indicador de las perspectivas a largo plazo de la supervivencia de las granjas familiares (Glauben *et al.*, 2004). La sucesión es un proceso sofisticado que ocurre durante un período de tiempo muy largo, es una cuestión dinámica a largo plazo que requiere una capacidad para adaptarse constantemente a la luz de las circunstancias evolutivas (Le Breton-Miller *et al.*, 2004). Asimismo, es crucial para el bienestar, tanto financiero como emocional de la familia involucrada, así como de las comunidades rurales y de la nación en su conjunto (Nuthall y Old, 2017). Inwood y Sharp (2012) mencionan que la presencia o ausencia de un heredero afecta la trayectoria y desarrollo de la granja.

Belausteguigoitia Rius (2012) define a la sucesión como el proceso de transmisión de la

propiedad y la dirección empresarial a la siguiente generación. Por otro lado, Gill (2013) precisa a la sucesión como el proceso por el cual las propiedades familiares pasan de una generación a la siguiente, considerando de manera simultánea el pasado, presente y futuro. Nuthall y Old (2017) citan tres objetivos de la sucesión: distribución eficiente y justa de los activos a la siguiente generación, transferencia de la dirección para asegurar una gestión empresarial eficaz y, promover y mantener relaciones familiares.

Barclay *et al.* (2007) encontraron que la ideología rural con enfoques tradicionales tiene un impacto significativo y es el predictor más fuerte de las actitudes y valores de los agricultores y en consecuencia de la forma en que se aproximan a la jubilación, sucesión y herencia de granjas. Así, lo que parece ser importante para determinar la división de la tierra no es el tamaño o la rentabilidad de la granja, pero sí la estructura, las actitudes de la familia, los aspectos sociales, el grado en que los miembros de la familia pueden trabajar juntos y la medida en que se prevé y planifica la sucesión múltiple (Burton y Walford, 2005). Además, factores como la edad, experiencia, educación y estado de salud de los miembros de la familia (Nuthall y Old, 2017), el tipo y contexto de la unidad agrícola (Wheeler *et al.*, 2012), ingresos y antigüedad (Bertoni y Cavicchioli, 2016), el valor de los activos agrícolas y disponibilidad de agua (Kwanmuang, 2011) han mostrado efecto significativo en las decisiones de sucesión.

A pesar de ser necesaria, existe renuencia a planear la sucesión, parte de la razón es debida a los problemas psicológicos y emocionales asociados con el proceso. En efecto, se encuentra difícil dejar ir las riendas del negocio y puede existir una aversión a enfrentar decisiones difíciles que se relacionan con el incómodo tema de la muerte (Wealth, 2009).

Dada la importancia de la sucesión agrícola, el objetivo de esta investigación es identificar y caracterizar los escenarios de la sucesión en tres regiones contrastantes del centro de México, y generar una tipología mediante la agrupación de productores de acuerdo con sus modalidades de sucesión y perspectivas de desarrollo; así como estudiar los factores que explican dicha tipología. Para ello, a partir de encuestas a productores de tres regiones del centro de México seleccionados mediante muestreo por conveniencia, se realizan análisis descriptivos y multivariantes (pruebas de Chi cuadrada, análisis de conglomerados y análisis factorial).

Material y métodos

El estudio se llevó a cabo en tres regiones del centro del país, las cuales presentan características contrastantes en los sistemas de producción agrícola, lo que permitió realizar comparaciones entre los factores que explican las diferentes modalidades de sucesión.

La primera región comprende unidades de producción (UP) en agricultura periurbana, localizada en la zona metropolitana a unos 30 kilómetros de la ciudad de México donde se tienen servicios urbanos y un valor de la tierra y agua elevados. Los agricultores son de tiempo parcial y la disponibilidad de jornaleros agrícolas es muy baja, por lo que las posibilidades de crecimiento agrícola son nulas.

La segunda región incluye UP en agricultura extensiva, con pequeñas parcelas en su mayoría de agricultura de secano, con suelos pobres para la producción agrícola, un mercado de tierras poco dinámico y migración alta.

La tercera región abarca UP de agricultura intensiva productoras de aguacate con un mercado dinámico de tierra para uso agrícola.

Debido a la sensibilidad y reserva del tema, la selección de la muestra fue por conveniencia, con base en el interés, confianza y disponibilidad de los productores a tratar el tema de

sucesión de su UP. Por lo que el número de productores seleccionados se limitó a 20 en cada región; universo que permitió contextualizar y entender cómo se lleva a cabo la sucesión de las UP y cuáles son los principales factores que la afectan.

Para obtener la información se realizaron encuestas mediante la aplicación de cuestionarios integrados por cinco rubros, a saber: 1) características generales del productor; 2) particularidades de la UP; 3) información demográfica de la familia; 4) costumbres y valores del productor respecto a su UP y 5) la estrategia de sucesión prevista para la UP. La encuesta incluyó variables cualitativas y cuantitativas.

La información obtenida se sistematizó en Excel y posteriormente fue procesada en RStudio. Primero se realizaron estadísticas descriptivas, principalmente de las variables relacionadas con la sucesión para caracterizar las modalidades presentes en los productores encuestados.

Después los productores se clasificaron de acuerdo con sus modalidades y actitudes respecto a la sucesión mediante un análisis de conglomerados, cuyo principal propósito es la agrupación de individuos basándose en las características de estos, buscando minimizar la distancia intra-grupal y maximizar la distancia inter-grupal. Para la conformación de los grupos se utilizó el método de Ward; y la medida de distancia para calcular la similaridad entre grupos fue euclídea. Las variables utilizadas en el análisis de conglomerados fueron existencia de un plan futuro para la UP, expectativas de crecimiento, existencia de hijos mayores de 18 años, presencia de hijos involucrados en la actividad agrícola, identificación de una persona para trabajar cuando el productor ya no lo haga y el interés de las personas identificadas.

Posteriormente se realizó un análisis factorial con las variables que formaron el agrupamiento de los productores para identificar un conjunto menor de nuevas variables no correlacionadas que reemplaza el conjunto de variables originales. La adecuación de los datos para la aplicación del análisis factorial se realizó mediante la prueba de esfericidad de Bartlett y el ajuste del modelo se midió con la prueba de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO). La técnica de extracción factorial fue la de componentes principales. Con los dos factores principales encontrados, se caracterizaron e identificaron a los grupos de productores obtenidos mediante el análisis de conglomerados.

Por último, se realizaron pruebas de Chi cuadrada para valorar si existe relación entre los factores principales resultantes del análisis factorial con tres grupos de variables (características del productor, estructura de la UP y condiciones socioeconómicas y regionales) que de acuerdo con la literatura afectan la sucesión de la UP y el interés de continuar en la agricultura. Para medir la asociación entre dichos factores se utilizó el coeficiente de phi, el cual mide la correlación entre variables dicotómicas y toma valores entre –1 y +1. Un valor de phi igual a +1 o –1 indica completa asociación directa o inversa entre variables respectivamente y cero indica la ausencia (Zysno, 1997).

Resultados

Los escenarios de sucesión

Se encontró que para el 27% de los productores encuestados el tema de sucesión no es relevante. A pesar de la renuencia a la elección de un sucesor, algunos productores han reflexionado sobre un plan de sucesión (33%) que involucra principalmente la tierra, por considerarla un activo que con el tiempo incrementa su valor; en algunos casos el plan de sucesión conlleva al seguimiento del manejo agrícola de su UP y en otros, debido a las circunstancias y expectativas, no se prevé continuar con la actividad agrícola. También se encontraron productores (67%) sin un plan

de sucesión para su UP, algunas veces son productores jóvenes en donde el plan aún no es necesario pues son ellos quienes se perciben trabajando en su UP por un período largo; sin embargo, una parte importante de los productores mayores de 55 años carecen de un plan de sucesión (54%) (Tabla 1).

La situación más común que los productores tienen para el futuro de su UP es repartir a todos sus hijos equitativamente. El favorecer a los hijos varones, ya sea transfiriendo la UP sólo a ellos (12%) o en mayor porcentaje respecto a las hijas (5%) es menos relevante (Figura 1).

Tabla 1. Productores que consideran importante la sucesión y tienen plan de sucesión.
Table 1. Producers for whom succession is important and they have a plan succession.

	SI		NO	
Productores que consideran importante designar un sucesor	73%		27%	
Existencia de un plan de sucesión	Si (28%)	No (45%)	Si (5%)	No (22%)

Fuente: Elaboración propia.

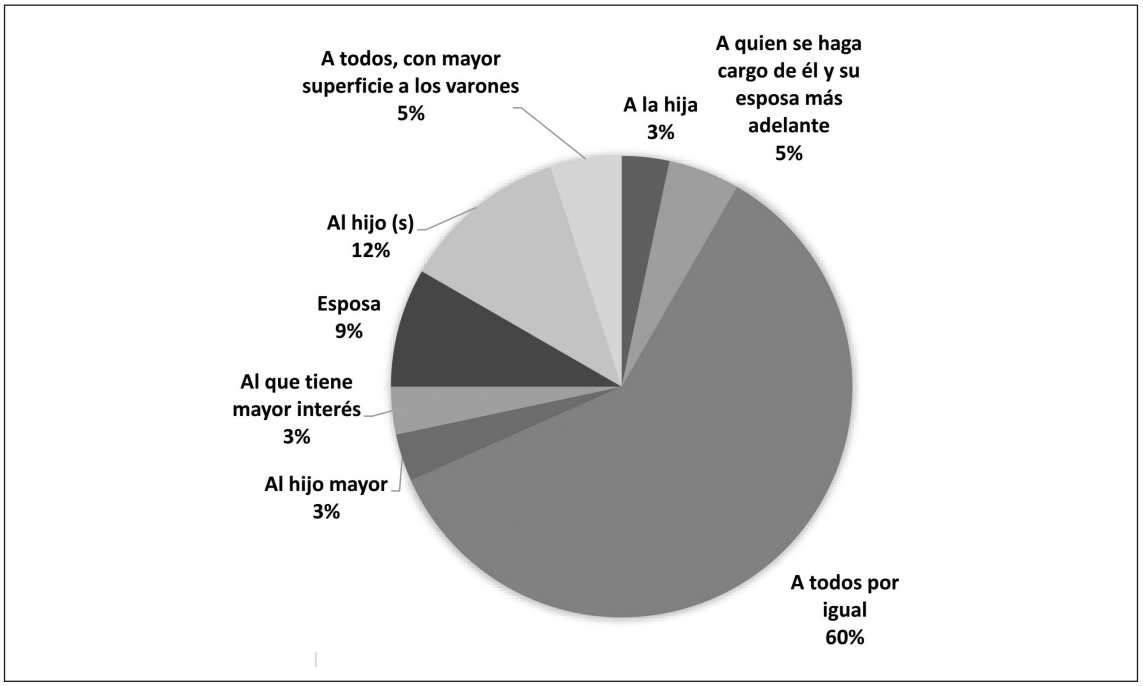


Figura 1. Tipo de sucesores previstos para la unidad de producción.
Fuente: Elaboración propia.
Figure 1. Successors planned for the farm.

El tipo de tenencia en las unidades de producción es propiedad, ejidal y comunal (Tabla 2). De acuerdo con la ley agraria de México, los productores en tenencia ejidal y comunal pueden nombrar sucesores, sin embargo, cerca del 50% no tiene depositada su lista de sucesión y de los que la tienen, en la mayoría de los casos es sólo para cumplir un trámite solicitado por la comisión ejidal o comunal de la localidad. Otro escenario es que designaron un sucesor hace tiempo cuando sólo tenían un hijo o no tenían ninguno siendo la esposa o concubina la sucesora.

Tabla 2. Productores con lista de sucesión y testamento por tipo de tenencia de la tierra.
Table 2. Producers with a list of succession and testament by type of land tenure.

Tipo de tenencia	Productores (%)	Productores con lista de sucesión (%)
Ejidal	62	57
Ejidal y propiedad	21	54
Comunal sola o con otro tipo de tenencia	7	0
Propiedad privada	10	NA
Total	100	

Fuente: Elaboración propia.
NA = no aplica.

En general, el 12% de los productores encuestados contempla la venta de su UP (Figura 2), con matices regionales importantes, ya que en las regiones agrícolas tanto extensivas como intensivas los productores consideran sólo la opción de transmitir su UP a algún heredero. Por otro lado, en la agricultura periurbana el 35% de los productores consideran posible la venta de su tierra, ya que hay una fuerte demanda para uso urbano y la ven como una opción para prever los gastos en su vejez, cuando su condición física les dificulte seguir trabajando.

Respecto a las expectativas que tienen los productores si llegaran a faltar, el 40% de los productores entrevistados cree que la UP pasaría a su hijo y/o esposa y ellos se encargarían de continuar en la actividad (Tabla 3). De los escenarios posibles, sólo los escenarios 1 y 2, que representan el 47%, incluyen continuidad de la unidad de producción. Los escenarios 1 y 3 (55%) implican fragmentar la tierra, ya sea porque el productor hereda patrimonio a todos sus hijos o porque la tierra pasará a su esposa y ella realizará dicha repartición. Los escenarios 4 y 5 corresponden a abandono de actividad agrícola y venta de la UP. Existe también un amplio porcentaje de productores (17%) que no tiene idea del futuro de UP cuando ya no estén, siendo este porcentaje menor cuando las UP son de agricultura periurbana ya que ante el crecimiento urbano los productores creen que su UP se vendería o abandonaría.

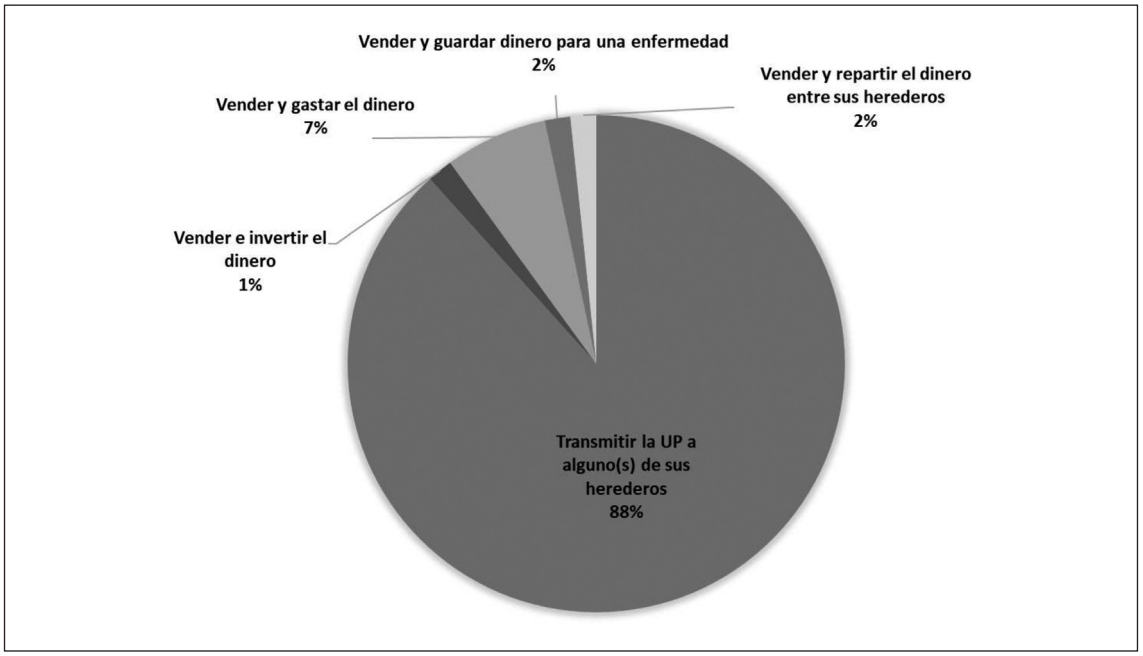


Figura 2. Decisiones sobre el futuro de la unidad de producción (UP).
Fuente: Elaboración propia.
Figure 2. Decisions about the future of the farm.

Tabla 3. Escenarios previstos por los productores si llegaran a faltar.
Table 3. Scenarios forseen by the producers if they wouldl be missing.

Escenario	UP en agricultura extensiva	UP en agricultura periurbana	UP en agricultura intensiva	General
1. Su(s) hijo(s) y/o esposa se harían cargo de la UP (%)	60	30	30	40
2. Algún familiar no directo se encargaría de la UP (%)	5	5	10	7
3. La tierra pasaría a su esposa (%)	0	20	25	15
4. Se abandonaría la UP (%)	5	15	5	8
5. Venta de UP (%)	0	15	5	7
6. Problemas familiares por no definir sucesor (es) (%)	10	5	5	7
7. No sabe (%)	20	10	20	17
Total (%)	100	100	100	100

Fuente: Elaboración propia.
UP = unidad de producción.

Agrupación según los escenarios de sucesión

Se identificaron cuatro grupos de escenarios de sucesión mediante el análisis de conglomerados, con variables cualitativas relacionadas con la sucesión y futuro de su UP. La Figura 3 muestra el dendrograma obtenido con los 4 grupos de productores. Las variables que permitieron el agrupamiento fueron:

- Existencia de un plan futuro para la UP. Esta variable indica la idea que los productores tienen respecto al futuro de su UP, en general se refiere a si tienen establecido un plan de sucesión o han definido qué pasará con su UP cuando ellos falten. Las opciones para esta variable fueron afirmar o negar la existencia de un plan futuro, siendo el porcentaje de los productores que tienen un plan futuro de su UP del 58%.
- Expectativas de crecimiento: Indica cuales son las posibilidades y perspectivas que los productores ven para el crecimiento de su UP. Está fuertemente influenciada por la región y el tipo de agricultura presente, las categorías que los productores tienen para esta variable fueron crecer, estancarse o decrecer. El porcentaje de los productores que ve crecimiento futuro a su UP es del 42%.
- Existencia de hijos menores de 18 años: Las opciones para esta variable fueron sí o no. De los productores encuestados sólo el 20% tiene hijos menores de edad.
- Presencia de hijos involucrados en la actividad agrícola: Se refiere a los hijos del productor que actualmente trabajan en la UP, los resultados mostraron un 58% de productores que mencionan que en el manejo de su UP se han involucrado uno o más hijos.

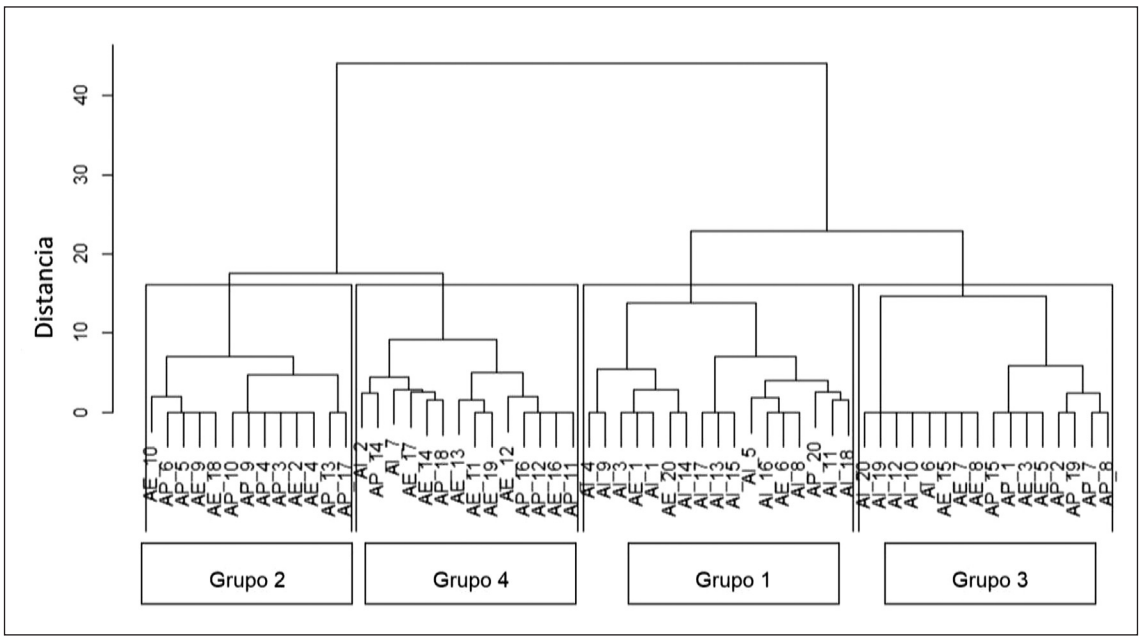


Figura 3. Agrupamiento de los productores en función de su escenario de sucesión.
Fuente: Elaboración propia.
AP: Agricultura periurbana; AE: Agricultura extensiva; AI: Agricultura intensiva.
Figure 3. Grouping of producers based on their succession scenario.

- Identificación de persona para trabajar cuando el productor ya no lo haga: Informa si el productor ha identificado a un hijo o familiar para que se encargue de la UP cuando él ya no pueda hacerlo o ya no quiera. Las categorías para esta variable fueron sí, no y tal vez. El porcentaje de los productores que no han identificado un posible sucesor es mayor que las otras dos categorías con un 38%; los productores que ya han identificado un sucesor son el 30% y aquellos productores que mencionaron la posible identificación conforman el 32%.
- Interés de las personas identificadas: Se refiere a la percepción que el productor tiene de la persona identificada para continuar trabajando en la UP cuando él no lo haga, las opciones de esta variable fueron sí, no y tal vez. La categoría que tuvo el mayor porcentaje en las respuestas de los productores fue la de no ver interés de la persona identificada como sucesor con el 40%, el 38% ve posible interés de la persona identificada como sucesor, el restante 22% sí ve interés en la persona identificada como sucesor.

Caracterización de las variables que sustentan los escenarios de sucesión

Las variables que definieron a los grupos se analizaron mediante un análisis factorial, para agruparlas e interpretarlas en un menor número. La prueba de Kaiser, usada para examinar la adecuación del análisis factorial fue de 0,63, y la prueba de esfericidad de Bartlett fue significativa ($p < 0,001$), lo que indica que la matriz de correlación X'X no es una matriz de identidad y que existen correlaciones significativas entre las variables analizadas, por lo que el análisis es aceptable.

El análisis de factores indicó que el 71% de la varianza de las variables analizadas puede ser explicada por los 2 primeros factores, los cuales tienen un aporte a la varianza total del 48% y 23% respectivamente.

El factor 1 se nombró "Interés de continuar en la actividad agrícola" ya que está relacionado positivamente con las variables expectativas de crecimiento de la UP y la existencia de un plan futuro. El factor 2 se nombró "existencia de un plan de sucesión" y está asociado positivamente con las variables presencia de hijos involucrados, identificación de la persona para trabajar en el futuro e interés de las personas identificadas y negativamente con la existencia de hijos menores de 18 años. Las cargas finales de las variables para cada factor, obtenidas por el método de rotación Varimax se presentan en la Figura 4.

Con base a los dos factores encontrados, se nombraron a los cuatro tipos de escenarios de sucesión de productores obtenidos previamente. Explicando correctamente el 80% de las observaciones.

Los tipos de escenarios de sucesión resultantes fueron:

- Tipo 1: Productores sin un plan de sucesión, pero con interés de continuar en la actividad agrícola (28%).
- Tipo 2: Productores con un plan de sucesión, pero sin interés de continuar en la actividad agrícola (22%).
- Tipo 3: Productores con un plan de sucesión y con interés de continua en la actividad agrícola (27%).
- Tipo 4: Productores sin un plan de sucesión y sin interés de continuar en la actividad agrícola (23%).

Factores explicativos de los escenarios de sucesión

La vinculación de los tipos de escenarios de sucesión con el perfil de productor, la estructura de la UP y la región arrojó los siguientes resultados:

Perfil del productor

Los productores encuestados se encuentran en el rango de edad de 24 años a 87 años. El

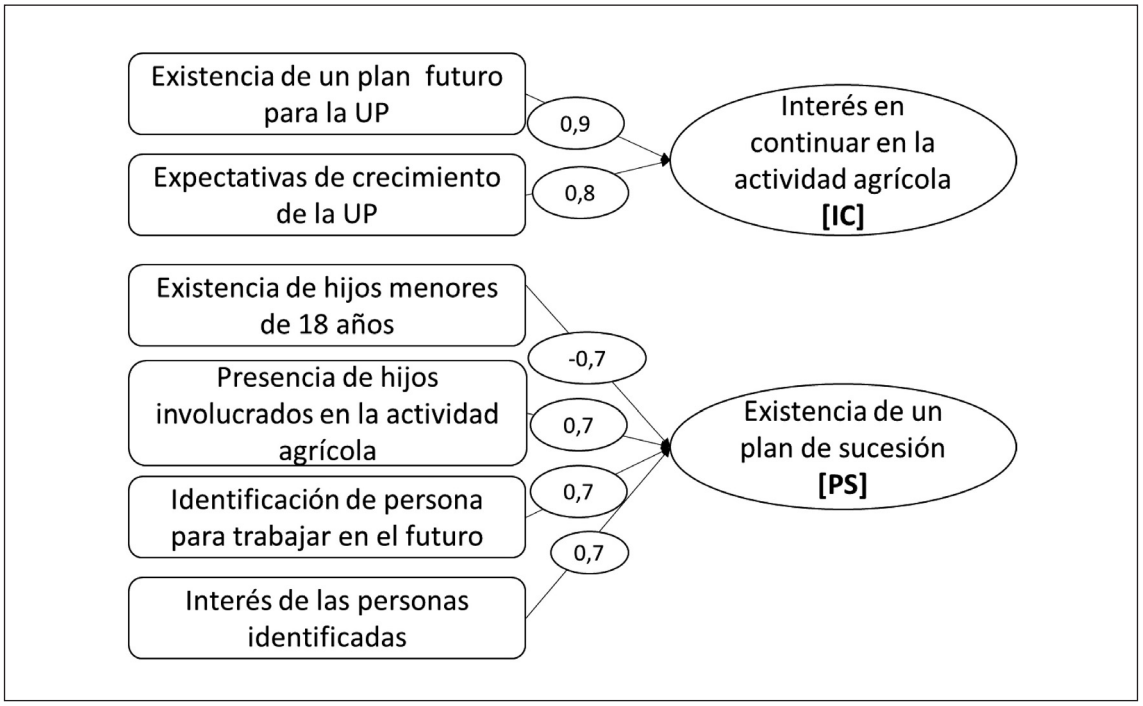


Figura 4. Cargas finales de las variables para cada factor.

Fuente: Elaboración propia.

Figure 4. Final loads of the variables for each factor.

50% tiene más de 55 años, lo que corrobora una edad avanzada en los productores del campo mexicano. Se encontró que productores mayores de 55 años presentan diferencias significativas en establecer un plan de sucesión y en el interés de continuar en la agricultura, la asociación es positiva en el plan de sucesión y negativa para el interés en continuar, por lo que productores mayores de 55 años tienden a contemplar un plan de sucesión, pero sin interés de continuar en la actividad agrícola (Tabla 4).

La escolaridad de los productores encuestados fluctúa desde ningún año escolar a quienes tienen una carrera universitaria. En todos los casos, el tema de sucesión es delicado y un mayor nivel de escolaridad no limita los problemas que puedan presentarse por las decisiones respecto a la transferencia del patrimonio. La escolaridad no tuvo asociación significativa con la presencia de un plan de sucesión, pero sí con el interés de continuar en la actividad.

El tiempo de trabajo no fue significativo en la decisión de establecer un plan de sucesión, sin embargo, lo fue para el interés de continuar en la actividad. Cuando los productores dedican mayor tiempo al manejo de su UP es porque tienen mayor interés en su producción y por ende en la continuidad de la actividad agrícola.

Tabla 4. Coeficiente de Phi y significancia para medir la asociación de PS e IC con variables relacionadas con el perfil del productor.
Table 4. Phi coefficient and significance to measure the association of PS and IC with variables related to the producer.

Variable	PS	IC
Edad: Productores mayores de 55 años	0,233 *	-0,30 **
Escolaridad: Productores con secundaria terminada	-0,068 ^{NS}	0,27 **
Tiempo de trabajo: productores que dedican más de 24 horas por semana a la actividad agrícola	0,01 ^{NS}	0,25 *

Fuente: Elaboración propia.

PS = plan de sucesión; IC = interés de continuar en la actividad agrícola.

* Significativo para $p < 0,1$; ** Significativo para $p < 0,05$; ^{NS} No significativo.

Estructura de la UP

Los ingresos que se obtienen de la UP son determinantes en el interés que se tiene en la actividad agrícola, así lo muestra el resultado significativo obtenido de la asociación entre las UP que generan más del 50% de los ingresos totales del productor y el interés de continuar en la agricultura, sin embargo, aun cuando la UP es rentable no se genera mayor interés de los productores hacia establecer un plan de sucesión (Tabla 5). Los ingresos se relacionan de manera positiva con el interés de continuar en la actividad, además la variable está relacionada con el destino de la producción. Así UP que destinan su producción a

Tabla 5. Coeficiente phi y significancia para medir la asociación de PS e IC con variables relacionadas con la estructura de la unidades de producción (UP).
Table 5. Phi coefficient and significance to measure the association of PS and IC with variables related to the farm structure.

Variable	PS	IC
Ingresos: Productores con ingresos de su UP mayores al 50% de sus ingresos totales	0,008 ^{NS}	0,25 *
Destino de la producción: Productores que destinan su producción al mercado local y autoconsumo	0,29 **	-0,52 ***
Importancia de la actividad: Productores para los que la actividad agrícola es a tiempo completo	-0,38 ^{NS}	0,25 *
Tenencia: Productores con superficie en tenencia privada	0,94 ^{NS}	0 ^{NS}

Fuente: Elaboración propia.

PS = plan de sucesión; IC = interés de continuar en la actividad agrícola.

* Significativo para $p < 0,1$; ** Significativo para $p < 0,05$; *** Significativo para $p < 0,01$; ^{NS} No significativo.

mercados más dinámicos y con mayor volumen están también asociadas positivamente con el interés de continuar en la actividad, mientras que UP que venden en mercados locales se asocian negativamente. El destino de la producción también está asociado significativamente con la existencia de un plan de sucesión. La asociación es positiva cuando se trata de mercados locales y negativa para mercados nacionales. Sin embargo, este resultado está relacionado con los tipos de productores encuestados ya que los productores jóvenes son más emprendedores y buscan vender su producción en mercados dinámicos, mientras que productores de mayor edad destinan la producción para autoconsumo y/o mercado local.

La importancia de la actividad no tuvo asociación significativa con la existencia de un plan de sucesión. Si la actividad es complementaria, de distracción o tiempo completo no afecta el deseo de los productores para definir a su(s) heredero(s). No obstante, sí es una variable que afecta el interés de continuar en la actividad, y los productores para los que la actividad es de tiempo completo tienen mayor interés en continuar produciendo y no abandonar la actividad agrícola. No se encontraron diferencias entre la existencia de un plan de sucesión y el interés en la actividad agrícola y la tenencia de las UP.

Características regionales

El costo de la tierra tiene una asociación positiva significativa con la presencia de un plan de sucesión y negativa, también significativa, con el interés de continuar en la agricultura. Lo anterior quiere decir, que donde la tierra vale más, los productores tienen un plan de sucesión y prefieren retirarse pronto (Tabla 6). La renta de la tierra tiene una correlación negativa y significativa con la existencia de un plan de sucesión, lo que indica que cuando las tierras se están rentando, y dejan ingresos altos por ello, los productores no piensan en dejárselas a algún familiar.

Tabla 6. Coeficiente phi y significancia para medir la asociación de PS e IC con variables relacionadas con las características regionales.
Table 6. Phi coefficient and significance to measure the association of PS and IC with variables related to regional characteristics.

Variable	PS	IC
Costo de la tierra: Productores en regiones donde una hectárea cuesta más de 1 millón de pesos mexicanos	0,307 **	-0,28 **
Renta de la tierra: Productores en regiones donde le renta anual de una hectárea cuesta más de diez mil pesos mexicanos	–0,33 ***	0,19 ^{NS}

Fuente: Elaboración propia.

PS = plan de sucesión; IC = interés de continuar en la actividad agrícola.

** Significativo para $p < 0,05$; *** Significativo para $p < 0,01$; ^{NS} No significativo.

Discusión

Escenarios de sucesión

Dentro de las principales razones que se observaron de la renuencia al tema de sucesión fue evitar problemas familiares que pudieran desencadenarse por la elección de uno o varios herederos e inclusive el miedo a la muerte. Además, algunos productores no piensan establecer nunca un plan de sucesión, aun sabiendo que al faltar pudieran existir problemas familiares o perdidas de patrimonio. Estos hallazgos se pueden explicar por el estrés o incapacidad que los productores sienten al planificar la sucesión (Kaplan *et al.,* 2009*)*. En otros casos, cuando la tenencia es ejidal o comunal, los productores saben que el activo principal de la UP, la tierra, pasará por norma directamente a su esposa en caso de fallecer, dejando así la decisión de transferencia en ella. En efecto, a diferencia de la propiedad privada, en la tenencia ejidal y comunal la legislación mexicana permite una cesión gratuita de los derechos agrarios del productor, ya sea con base a una lista de sucesión que éste deposita en el Registro Agrario Nacional o en caso de no hacerlo, siguiendo el orden de prelación establecido por la Ley donde aparece en primer lugar la esposa y luego sus hijos. Desde esta perspectiva, a los productores no les importa las dificultades que ocasionará su ausencia, teniendo como argumento que "ellos ya no estarán para ver los conflictos". Otra causa de la renuencia de los productores en la elección de un sucesor es la visión futura de su tierra, considerándola como un seguro de vida para su vejez, ya sea para venderla y obtener así dinero para la última etapa de su vida o herencia a la persona que en determinado momento le otorgue los cuidados necesarios como mencionan Mendoza-Rosas *et al.* (2018).

En este trabajo predomina la tenencia ejidal donde la designación de sucesores se realiza mediante el depósito de una lista de sucesión ante el Registro Agrario Nacional o formalizada ante un notario público, siendo ésta un testamento agrario. La lista de sucesión transmite los derechos agrarios al sucesor cuando el productor fallece, sin embargo, el productor previamente pudo fraccionar y repartir a varios herederos. Efectivamente, como lo menciona Neiman (2017), los procesos hereditarios comienzan antes de que el productor se retire de la UP. El contar con una lista de sucesión en la mayoría de los casos evita problemas de patrimonio cuando el productor fallece, por lo que mantenerla y fomentarla como un requisito es favorable. A pesar de lo anterior, suelen existir problemas cuando el productor apalabra con un hijo como sucesor y en su lista tiene a otro.

En la distribución especifica del patrimonio existen consideraciones que toman en cuenta el género, la dedicación a la actividad y el orden de nacimiento (Downey *et al.,* 2016; Neiman, 2017; Cavicchioli *et al.*, 2018). Por ejemplo, se tiene la idea de que las mujeres no pueden ser sucesoras o que la tierra se hereda a los varones pues será la mujer quien se mude con el hombre. Por ello es bajo el porcentaje de productoras encuestadas, las cuales accedieron al derecho agrario por herencia ya sea por parte de su padre o madre o por viudez, coincidiendo con Lagunas-Vázques *et al*. (2018) quienes mencionan que en general las mujeres acceden a la tierra principalmente por herencia y muy pocas lo hacen por iniciativa propia.

Dada la caracterización anterior, es importante destacar la identificación de dos factores que permiten entender los escenarios de sucesión: la existencia de un plan de sucesión y el interés de continuar en la actividad agrícola. Dichas variables son determinantes en la conformación de los tipos de sucesión y perspectivas de crecimiento del sector agrícola. Lo anterior es importante ya que conociendo el tipo de sucesión es posible abordar los problemas que pudieran presentarse en el sector.

De este modo, las características que presenta cada escenario de sucesión son las siguientes:

Grupo 1: Productores sin un plan de sucesión, pero con interés de continuar en la actividad agrícola (28%)

Este grupo tiene interés de continuar con la actividad agrícola. En general son productores jóvenes que tienen hijos pequeños, por lo que aún no definen un sucesor, y como lo indican los estudios de Barclay *et al.* (2007), la identificación de un sucesor depende de la edad y varía entre países. Tienen interés de trabajar la UP por un periodo largo y de inculcar a sus hijos pequeños el gusto por el campo, al menos como actividad complementaria. En este escenario se encuentra el mayor porcentaje de productores con estudios, además es la única modalidad que eligió la opción de transmitir al hijo que tenga mayor interés en el trabajo de la UP.

Grupo 2: Productores con un plan de sucesión, pero sin interés de continuar en la actividad agrícola (22%)

Son aquellos que ya han repartido parte de su patrimonio a sus hijos, o que tienen definido a quién le heredaran, pero paradójicamente no tienen interés de continuar en la actividad agrícola en un futuro. Piensan que en el futuro la UP decrecerá, o incluso desaparecerá; argumentan que la urbanización está creciendo y prevén declive acelerado de las tierras dedicadas a la producción por el cambio de uso de suelo. Dentro de las principales decisiones está transmitir el patrimonio a quién en un futuro se encargue del cuidado del productor y su conyugue, sin pensar en ingresos derivados de la UP, ya que no tiene interés de continuar en la actividad agrícola.

Grupo 3: Productores con un plan de sucesión y con interés de continuar en la actividad agrícola (27%)

Comprende aquellos que ya tienen definido un sucesor, algún hijo o familiar que se ha involucrado en la actividad agrícola, y existe además una visión futura de crecimiento de la UP que involucra a la(s) persona(s) identificada(s) como sucesores. Este grupo muestra preferencia por los hijos varones, ya que entre las principales decisiones está transferir al hijo de género masculino o a todos, pero con mayor superficie a los varones. Lo anterior puede estar relacionado con la idea de que la tierra se hereda regularmente a los hombres pues son ellos quienes la trabajarán, concordando con lo mencionado por Mendoza Rosas *et al.* (2018), quienes mencionan que en general las mujeres no cultivan la tierra, y dado que en este escenario se tiene contemplado continuar con la actividad agrícola, se desvirtualiza la probabilidad de testar a las mujeres.

Grupo 4: Productores sin un plan de sucesión y sin interés de continuar en la actividad agrícola (23%)

Son aquellos que muestran un desinterés respecto al futuro de su UP. Muchos no ven interés en que sus hijos continúen con la actividad, lo que los desmotiva a establecer un plan de sucesión y a no tener una visión futura de su UP, coincidiendo con Glauben *et al*. (2004) quienes mencionan que las explotaciones agrícolas sin sucesores carecen del incentivo y motivación para expandirse. El estudio de este grupo, como concluyen Duesberg *et al.* (2017), es clave para abordar el posible problema para la seguridad alimentaria y uso sostenible de la tierra en el futuro.

Factores explicativos

El porcentaje de productores de edad avanzada reportada en los resultados coincide con lo mencionado por Barclay *et al*. (2007), quienes argumentan que existe una tendencia mundial en la agricultura hacia el envejeci-

miento de la población agrícola; dicho envejecimiento tiene consecuencias importantes para la sucesión de unidades agrícola y para la futura configuración del sector (Wheeler *et al.*, 2012). Además, como mencionan Castillo-Quero y Guerrero-Baena (2019), el rejuvenecimiento podría mejorar el capital humano, la innovación y competitividad en la agricultura. La asociación que mostró la edad con la existencia de un plan de sucesión coincide con lo reportado por varios autores (Uchiyama *et al.*, 2008; Lobley *et al.,* 2010; Nuthall y Old 2017) quienes dentro de sus estudios concluyen que cuanto más joven es el agricultor menor es la tasa de sucesión esperada.

Los resultados mostraron que un mayor nivel de escolaridad se asocia con mayor interés de continuar en la agricultura. Lo anterior es debido a que los productores jóvenes tienen mayor grado de escolaridad y se encuentran mayormente vinculados con la producción agrícola. Conjuntamente tienen un enfoque innovador y énfasis en la generación de ingresos concordando con lo encontrado por Zagata y Sutherland (2015). Además, como mencionan Castillo-Quero y Guerrero-Baena (2019), los productores jóvenes son los que optan por sectores de mayor valor añadido como la horticultura o en este caso la producción de frutales como el aguacate.

Respecto al tipo de la UP, los resultados obtenidos, al igual que Kerbler (2012), mostraron influencia del destino de la producción en la existencia de un plan de sucesión. Coinciden también con Kwanmuang (2011), quien no encontró que los ingresos afectaran la presencia de un plan de sucesión.

El tipo y contexto de la UP tienen influencia en la sucesión agrícola (Wheeler *et al.,* 2012). En la agricultura periurbana, el acceso a servicios y la cercanía a las ciudades elevan considerablemente el valor de la tierra, la agricultura se torna menos importante ante el crecimiento urbano, el uso de la tierra para asentamientos humanos adquiere mayor relevancia y se considera la opción de venta. Por lo que en esta región es mayor la proporción de productores que tienen un plan de sucesión establecido, que en la mayoría de los casos implica fragmentar la tierra entre sus herederos para la construcción de sus viviendas y no tienen interés de continuar en la agricultura. Lo anterior difiere de los hallazgos de Kwanmuang (2011), quien encontró efecto negativo del valor de los activos en la decisión de sucesión. Sin embargo, los activos que el autor considera incluyen maquinaria, equipo no agrícola y electrodomésticos, lo que puede ser la causa de la diferencia respecto a lo encontrado en esta investigación.

Por otro lado, los tipos de sucesión difieren de acuerdo con la región y tipo de agricultura, lo que se relaciona con los productos que se cultivan en la UP (Mishra *et al.,* 2010). De este modo, la presencia de una agricultura intensiva favorece una cadena de producción dinámica, con mayor involucramiento de productores jóvenes, mayor crecimiento e inversión. En este tipo de agricultura es importante mencionar el vasto crecimiento que el cultivo de aguacate ha mantenido en recientes años y las amplias expectativas que los productores tienen de su huerta. De esta manera la renta de la tierra para producción agrícola adquiere mayor importancia y tienen una relación negativa con la existencia de un plan de sucesión ya que se considera un activo para la producción agrícola que los productores se resisten a heredar.

En la agricultura extensiva se tienen bajas expectativas de la producción agrícola, por lo que muchos hijos han emigrado en busca de mejores oportunidades. Las pocas expectativas agrícolas están vinculadas a la disponibilidad de agua, ya que normalmente las UP son de temporal y la producción es incierta, desmotivando el interés de continuar en la actividad y de buscar un sucesor.

Conclusiones

En general los tipos de sucesión en las unidades de producción están condicionados por la existencia o ausencia de un plan de sucesión y el interés de continuar o no en la actividad agrícola. Estas variables permiten entender los escenarios de sucesión y con base a los factores que los explican (edad del productor, destino de la producción y costo de la tierra) anticipar y eventualmente inducir cambios estructurales en el sector agrícola.

Asimismo, la caracterización de los escenarios mostró que son afectados por la región, ya que ésta determina la competitividad de la actividad agrícola frente a otros usos alternativos del suelo.

La sucesión es importante para el futuro de las UP debido a la edad avanzada de los productores. Sin embargo, no hay mucho interés en establecer un plan de sucesión, a pesar de conocer las posibles consecuencias de no tenerlo, considerando que es algo que a final de cuentas les tocara a otros resolver. Así, los temas de sucesión y herencia no son tratados o no se ven de manera integral al interior de las familias, aun cuando generan impactos considerables en la conservación del patrimonio familiar y en particular en la actividad agrícola.

Por ello, pese a usos y costumbres, se requiere de políticas públicas con enfoque educativo y motivacional para concienciar y capacitar a los productores sobre la importancia y trascendencia de establecer un plan de sucesión. En este marco es conveniente que los trámites sucesorios sean sencillos, ágiles y económicos; así como, que instancias gubernamentales y de productores agrícolas oferten servicios de orientación y acompañamiento principalmente para los productores de mayor edad, y así evitar problemas de pérdida de patrimonio y/o abandono de tierras.

Agradecimientos

El estudio es parte de una investigación doctoral, por lo que se agradece el financiamiento otorgado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT).

Los autores agradecen el apoyo y colaboración de los productores entrevistados.

Referencias bibliográficas

Barclay E, Foskey R, Reeve I (2007). Farm succession and inheritance: comparing Australian and international trends. Rural Industries Research and Development Corporation, Australia. 67 p.

Barnes G (2009). The evolution and resilience of community-based land tenure in rural Mexico. Land Use Policy 26(2): 393-400. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2008.05.007.

Belausteguigoitia Rius I (2012). Empresas familiares. Dinámica, equilibrio y consolidación, 3th. Ed. McGraw-Hill Irwin. México. 298 pp.

Bertoni D, Cavicchioli D (2016). Farm succession, occupational choice and farm adaptation at the rural-urban interface: The case of Italian horticultural farms. Land Use Policy 57: 739-748. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2016.07.002.

Burholt V, Dobbs C (2012). Research on rural ageing: Where have we got to and where are we going in Europe? Journal of Rural Studies 28(4): 432-446. https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2012.01.009.

Burton RJF, Walford N (2005). Multiple succession and land division on family farms in the South East of England: A counterbalance to agricultural concentration? Journal of Rural Studies 21(3): 335-347. https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2005.04.004.

Castillo-Quero M, Guerrero-Baena MD (2019). Caracterización estructural, productiva y financiera de las explotaciones de jóvenes agricultores. ITEA-Información Técnica Económica Agraria 115: 62-82. https://doi.org/10.12706/itea.2019.004.

Cavicchioli D, Bertoni D, Pretolani R (2018). Farm succession at a crossroads: The interaction among farm characteristics, labour market conditions, and gender and birth order effects. Journal of Rural Studies 61: 73-83. https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2018.06.002.

CEPAL (2018). Sistema Regional de Indicadores sobre envejecimiento. Disponible en: http://redatam.org/redatam/pryesp/madrid/ (Consultado: 30 de Junio 2018).

Downey H, Threlkeld G, Warburton J (2016). How do older australian farming couples construct generativity across the life course?: A narrative exploration. Journal of Aging Studies 38: 57-69. https://doi.org/10.1016/j.jaging.2016.04.007.

Duesberg S, Bogue P, Renwick A (2017). Retirement farming or sustainable growth-land transfer choices for farmers without a successor. Land Use Policy 61: 526-535. https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.landusepol.2016.12.007

FAO-SAGARPA. (2014). Estudio sobre el envejecimiento de la población rural en México. Secretaría de Agricultura, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. México. 67 p.

Ganga-Contreras F, Piñones-Santana MA, González-Vásquez D, Rebagliati-Badal F (2016). Rol del Estado frente al envejecimiento de la población: el caso de Chile. Convergencia 23(71): 175-200.

García-Ballesteros A, Jiménez-Blasco BC (2016). Envejecimiento y urbanización: implicaciones de dos procesos coincidentes. Investigaciones Geográficas 89: 58-73. https://doi.org/10.14350/rig.47362.

Gill F (2013). Succession planning and temporality : The influence of the past and the future. Time & Society 22: 76-91. https://doi.org/10.1177/0961463X10380023.

Glauben T, Tietje H, Weiss CR (2004). Intergenerational succession in farm households: evidence from upper austria. Review of Economics of the Household 2(4): 443-462. https://doi.org/10.1007/s11150-004-5656-4.

Inwood SM, Sharp JS (2012). Farm persistence and adaptation at the rural-urban interface: Succession and farm adjustment. Journal of Rural Studies 28(1): 107-117. https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2011.07.005.

Kaplan MS, Nussbaum JF, Becker JC, Fowler C, Pitts MJ (2009). Communication barriers to family farm succession planning. Journal of Extension 47(5): 1-9.

Kerbler B (2012). Factors affecting farm succession: the case of Slovenia. Agricultural Economics (Czech Republic) 58(6): 285-298. https://doi.org/10.17221/47/2011-AGRICECON.

Kwanmuang K (2011). Succession decisions on family farms in Nakhon Si Thammarat province, Thailand. Journal of Developments in Sustainable Agriculture 6: 181-188. https://doi.org/10.11178/jdsa.6.181.

Lagunas-Vázques M, Beltrán-Morales LF, Ortega-Rubio A (2018). Derecho agrario, herencia y tierra en ejidos del Noroeste de México: un análisis sociocultural con perspectiva de género. Desacatos 58: 148-167.

Le Breton-Miller I, Miller D, Steier LP (2004). Toward an integrative model of effective FOB succession. Entrepreneurship: Theory and Practice 28(4): 305-328. https://doi.org/10.1111/j.1540-6520.2004.00047.x.

Lobley M, Baker JR, Whitehead I (2010). Farm succession and retirement: Some international comparisons. Journal of Agriculture, Food Systems and Community Development 1(1): 49-64. https://doi.org/10.5304/jafscd.2010.011.009.

Mendoza-Rosas AR, Santiago-Cruz M de J, Hernández-Juárez M (2018). Factores que influyen en la transferencia temporal de tierras en productores envejecidos. Agricultura, Sociedad y Desarrollo 15(3): 339-352.

Mishra AK, El-Osta HS, Shaik S (2010). Succession decisions in U.S. family farm businesses. Journal of Agricultural and Resource Economics 35(1): 133-152.

Neiman M (2017). La herencia en las empresas familiares de la región pampeana Argentina durante el actual período de auge económico de

la actividad agrícola. Papers. Revista de Sociología 102(3): 509-531. https://doi.org/10.5565/rev/papers.2269.

Nuthall PL, Old KM (2017). Farm owners' reluctance to embrace family succession and the implications for extension: the case of family farms in New Zealand. The Journal of Agricultural Education and Extension 23(1): 39-60. https://doi.org/10.1080/1389224X.2016.1200992

Sánchez-González D (2015). Ambiente físico-social y envejecimiento de la población desde la gerontología ambiental y geografía. Implicaciones socioespaciales en América Latina. Revista de Geografía Norte Grande 60: 97-114. https://doi.org/10.4067/S0718-34022015000100006.

Uchiyama T, Lobley M, Errington A, Yanagimura S (2008). Dimensions of intergenerational farm business transfers in Canada, England, the USA and Japan. The Japanese Jounal of Rural Economics 10: 33-48. https://doi.org/10.18480/jjre.10.33.

Wealth B (2009). Family business: In safe hands? Barclays Wealth Insights (Vol. 8).

Wheeler S, Bjornlund H, Zuo A, Edwards J (2012). Handing down the farm? The increasing uncertainty of irrigated farm succession in Australia. Journal of Rural Studies 28(3): 266-275. https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2012.04.001.

Zagata L, Sutherland L (2015). Deconstructing the 'young farmer problem in Europe': Towards a research agenda. Journal of Rural Studies 38: 39-51. https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2015.01.003.

Zysno PV (1997). The modification of the Phi-coefficient reducing its dependence on the marginal distributions. Methods of Psychological Research Online 2(1): 41-52.

(Aceptado para publicación el 13 de abril de 2020)

PREMIOS DE PRENSA AGRARIA 2020 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 2020. 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) Presidencia de AIDA, que presidirá el jurado.
   b) Dirección de la revista ITEA, que actuará de Secretario.
   c) Dirección del CITA (Gobierno de Aragón).
   d) Dirección del Instituto Agronómico Mediterráneo de Zaragoza.
   e) Dirección de la Estación Experimental de Aula Dei.
   f) Dirección 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.

XIX JORNADAS SOBRE PRODUCCIÓN ANIMAL

ON LINE

1 y 2 de Junio de 2021



Desde sus inicios, en 1985, estas Jornadas han pretendido crear un foro dinámico de intercambio multidisciplinar de los avances científico-técnicos de interés para los profesionales ligados a la Producción Animal. En esta edición, y debido a la situación impuesta por el COVID-19, nos proponemos mantener el foro, pero en una **versión on-line**.

La inscripción da derecho a un acceso a todas las salas en las que se presentarán las comunicaciones en directo, a la sala virtual de posters con chat y formulario de preguntas, y acceso posterior a las grabaciones de las sesiones.

Desde el Comité organizador queremos animarte a asistir y a enviar tus trabajos sobre cualquier tema de interés en el campo de la Producción Animal, que permita avanzar hacia modelos de producción animal más sostenibles, desde una perspectiva medioambiental, económica y social. Uno de los pilares de las jornadas sigue siendo el fomento de la incorporación de los jóvenes investigadores con los premios a las mejores comunicaciones en cada una de las secciones.

El programa definitivo, así como otros aspectos organizativos, se publicarán en la página web de AIDA (https://www.aida-itea.org/index.php/jornadas-aida/jornadas-2021).

Secretaría administrativa: Joaquín Moreno
Avda. Montañana 930, 50059 Zaragoza
Tel.: 976 716 305. Fax: 976 716 335
Correo electrónico: administracion@aida-itea.org

Comité Organizador

M. Blanco, I. Casasús, M. Joy, M. Salillas, A. Sanz

Comité Científico

Secretaría de las Jornadas: **D. Villalba**

Coordinadores de secciones
Calidad de los productos: **G. Ripoll**
Genética: **R. Pena**
Nutrición-Alimentación: **M.A. Latorre – S. Lobón**
Reproducción: **J. Yániz**
Sanidad y Bienestar: **I. Blanco-Penedo**
Sistemas Ganaderos-Economía y Gestión: **P. Gaspar**

Inscripción

https://www.aida-itea.org/index.php/jornadas-aida/jornadas-2021/inscripcion

Instrucciones para los autores

https://www.aida-itea.org/index.php/jornadas-aida/jornadas-2021/instrucciones-autores

Atención, nuevas normas

Plazos de envío

FEB

Comunicaciones originales
1 de febrero 2021

Inscripción y comunicaciones corregidas
1 de marzo 2021

Cuotas

	Antes 15/3/2021	Después 15/3/2021
Socios de AIDA	75€ 0€ *	125€ 50€*
No socios	100€ 75€ *	150€ 125€*

*** Estudiante con acreditación posgrado**

Premio Jóvenes investigadores

Un premio de 100€ por sección, para investigadores <35 años no doctores que presenten oralmente un trabajo en calidad de primer autor

cita · ia2 Instituto Universitario de Investigación Mixto Agroalimentario de Aragón Universidad Zaragoza · GOBIERNO DE ARAGON · aida-itea.org

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 (Caixabank, Ag. Zuera (Zaragoza), España, nº ES70 2100 8687 2702 0001 2107) 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 ES70 2100 8687 2702 0001 2107 (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 marzo de 2020)

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.aidaitea.org/index.php/sobre-nosotros/hacerse-socio.

1. Envío de manuscritos y evaluación

Los manuscritos originales se escribirá en español. Se recomienda la revisión del manual "Cómo traducir y redactar textos científicos en español" (https://www.esteve.org/libros/cuaderno-traducir-textoscientificos/) Los manuscritos se enviarán a través de la página web de AIDA (http://www.aidaitea.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.

Los artículos de investigación de la sección de Producción Vegetal deben contener suficientes resultados para que las conclusiones sean robustas. Para ello, como norma general, será necesario repetir el mismo ensayo dos veces en momentos o campañas diferentes. Se considerará aceptable realizar el mismo ensayo sobre dos variedades o en dos situaciones o localidades diferentes. En los ensayos de eficacia sobre malas hierbas, insectos, hongos u otros organismos, una posibilidad es obtener la dosis adecuada para el control del organismo en estudio en un ensayo de dosis-respuesta y que esta dosis sea probada de nuevo en otro ensayo, es decir, sin volver a repetir toda la batería de dosis ensayadas previamente. Los ensayos constarán de suficientes repeticiones (mínimo tres). Las condiciones ambientales deberán escribirse de manera que permitan llevar a cabo la repetición del ensayo. La mayoría de ensayos necesitarán un análisis estadístico que refuerce los resultados. En ese caso conviene que se indiquen los resultados de dicho análisis, o al menos la tabla de resultados del anova o del análisis estadístico que se realiza.

– **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. En caso de copia literal de una tabla o figura de otro artículo, es responsabilidad del autor del manuscrito tener el permiso expreso del autor de la tabla o figura.

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.

Autores: 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 separa-

dos 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.

En el caso de un artículo con varios autores, el autor para correspondencia garantizará que el resto de autores están de acuerdo con el contenido del artículo y el orden de autoría. En caso de que haya habido cambios en la autoría durante la evaluación del manuscrito, el autor para correspondencia garantizará que todos los autores implicados en alguna fase del proceso de evaluación están de acuerdo con la autoría final. Una vez que un manuscrito está aceptado no se podrán modificar los autores.

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 116
Número 4
Diciembre 2020

itea

información técnica económica agraria

www.aida-itea.org

REVISTA DE LA ASOCIACIÓN INTERPROFESIONAL PARA EL DESARROLLO AGRARIO

