

itea

información técnica económica agraria

REVISTA DE LA ASOCIACIÓN INTERPROFESIONAL PARA EL DESARROLLO AGRARIO



Volumen 121

Número 2

Junio 2025



aida-itea.org

2025- AÑO LVI Vol. 121 N.º 2 http://dx.doi.org/10.12706/itea	DIRECCIÓN Y REDACCIÓN Avda. Montañana, 930 50059 ZARAGOZA (ESPAÑA) Tel.: 34-976 716305 Fax.: 34-976 716335 E-mail: direccion@aida-itea.org	Depósito legal: Z-577-82 ISSN: 2386-3765 Maquetación: Remedios Cordero
--	---	--

DIRECCIÓN:	Paula Gaspar, Universidad de Extremadura. España
EDICIÓN CIENTÍFICA:	José Manuel Alonso, CITA de Aragón. España Javier Álvarez, Universidad de Zaragoza (Campus de Huesca). España Miguel Escribano, Universidad de Extremadura. España Gabriel Pardo, CITA de Aragón. España Ana Pina Sobrino, CITA de Aragón. España Helena Resano, IA2-Universidad de Zaragoza. España Guillermo Ripoll, CITA de Aragón. España Ana Isabel Sanjuán, CITA de Aragón. España
EDICIÓN TÉCNICA:	María Salillas, Asociación Interprofesional para el Desarrollo Agrario. España
COMITÉ DE REDACCIÓN:	Alfonso Abecia, Universidad de Zaragoza. España Alicia Cirujeda, CITA de Aragón. España Azucena Gracia, CITA de Aragón. España Mª Engracia Guerra Velo, CICYTEX, Extremadura. España Sandra Lobón, CITA de Aragón. España María Teresa Maza, Universidad de Zaragoza. España José Manuel Mirás Avalos, MBG-CSIC de Galicia. España Daniel Villalba, Universidad de Lleida. España
COMITÉ ASESOR:	Ricardo Aké, Universidad Autónoma de Yucatán, México; Joaquín Aibar, Universidad de Zaragoza, España; Francisco Alcón, Universidad Politécnica de Cartagena, España; Ángeles Calatayud, Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias, España; Alba Cerisuelo, Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias, España; Kizkitza Insausti, Universidad Pública de Navarra, España; Ramón Isla, Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón, España; Jorge Lora, Instituto de Hortofruticultura Subtropical y Mediterránea, España; Ana Meikle, Universidad de la República, Uruguay; Francisco Javier Mesías, Universidad de Extremadura, España; Ana Olaizola, Universidad de Zaragoza, España; Raquel Sánchez Pérez, Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura (CSIC), España; Manuel Serradilla, Centro de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de Extremadura, España; Verónica Sierra, Servicio Regional de Investigación y Desarrollo Agroalimentario, España; 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 de portada: Cristina Mallor

ZANAHORIA (*Daucus carota* L.)

La zanahoria es una raíz hipertrofiada que acumula azúcares como reserva. Si no se recolecta a tiempo, estas reservas se destinan al desarrollo del tallo y la floración, provocando la lignificación del tejido y la pérdida de valor comercial. La zanahoria se originó hace 5.000 años en Asia Central, en la región de Afganistán. Desde allí, las semillas se difundieron mediante antiguas rutas comerciales hacia los países árabes, africanos y asiáticos más cercanos, para extenderse después a todo el mundo. Las zanahorias originalmente eran blancas, amarillas, negras, rojas y moradas. No fue hasta el siglo XVII cuando los holandeses desarrollaron zanahorias naranjas, como consecuencia de cruzamientos y trabajos de selección y mejora genética, a partir de una mutación. En estos programas de selección se priorizó la pérdida del sabor amargo, el incremento del dulzor y la eliminación del núcleo fibroso, características que mejoraban notablemente la calidad de las variedades primitivas.

Sumario

Producción Vegetal

- Evolución de las prácticas agronómicas en cereal de invierno en secano desde 1970 en Aragón (España): implicación en el manejo de las malas hierbas.
Changes of the agronomic practices in rainfed winter cereal since 1970 in Aragón (Northeastern Spain): implications for the weed management.
 Alicia Cirujeda, Gabriel Pardo y Joaquín Aibar 114

Producción Animal

- Estudio de resistencia a antihelmínticos en explotaciones de ganado ovino del Suroeste de España. Resultados preliminares.
Study of anthelmintic resistance in sheep farms in southwestern Spain. Preliminary results.
 Pablo J. Rufino-Moya, Rafael Zafra, Lilian Gonçalves-Reis, Isabel Acosta-García, Álvaro Martínez-Moreno, Ángela Salvador-Castaño, Diego Ruíz-Di Genova, Almudena Sánchez-Gómez, Francisco García-García y F. Javier Martínez-Moreno 136
- Evaluación de diferentes métodos de castración en *Cavia porcellus*: Impacto en el bienestar animal, reproducción y producción.
Evaluation of different castration methods in Cavia porcellus: Impact on animal welfare, reproduction and production.
 Erik Sandor Valencia-Kanut, Patricia Katuska Cumbe-Nacipucha, Sirley Verónica Bautista-Deleg y Juan Carlos Dominguez-Fernández de Tejerina 152
- Desarrollo corporal y reproductivo en novillas Brahman y Simbrah mantenidas bajo condiciones de trópico húmedo.
Body and reproductive development in Brahman and Simbrah heifers reared under humid tropical conditions.
 Alfonso Juventino Chay-Canul, Nadia Florencia Ojeda-Robertos, Víctor Hugo Severino-Lendecky y Jorge Alonso Peralta-Torres 173

Economía Agraria

- Impacto de la expansión de cultivos perennes en España (1990-2023).
Impact of the expansion of perennial crops in Spain (1990-2023).
 Antonio R. Hurtado, Jaime Espinosa-Tasón y Julio Berbel 183

Evolución de las prácticas agronómicas en cereal de invierno en secano desde 1970 en Aragón (España): implicación en el manejo de las malas hierbas

Alicia Cirujeda^{1,2,*}, Gabriel Pardo^{1,2} y Joaquín Aibar³

¹ Departamento de Sistemas Agrícolas, Forestales y Medio Ambiente, Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA), Avda. Montañana 930; 50059 Zaragoza.

² Instituto Agroalimentario de Aragón-IA2, CITA Universidad de Zaragoza, Spain.

³ Instituto Agroalimentario de Aragón-IA2, Universidad de Zaragoza, Spain.

Resumen

El cereal de invierno en secano ocupa una importante superficie en España, también en Aragón, y en las últimas décadas ha sufrido considerables cambios de manejo agronómicos, sociales y de gestión. En el presente trabajo se sintetizan las opiniones de 38 técnicos y agricultores de 21 comarcas consultados a través de cuestionarios sobre los principales cultivos, tipo de laboreo, usos de herbicidas, malas hierbas dominantes, fechas de siembra, etc. en tres épocas: años 1970-86 (inicio de la influencia de la PAC) (período 1), 2005-13 (período 2) y 2021 hasta la actualidad (período 3). Los resultados son coincidentes en la mayoría de las comarcas en los siguientes aspectos: de forma progresiva se siembra una mayor diversidad de cultivos, ha tenido lugar una reducción de la intensidad de laboreo y se ha producido un creciente aumento en el uso de herbicidas, utilizándose en la actualidad en muchas comarcas en pre y postemergencia de los cultivos. En cuanto a las arvenses de más difícil control destaca el incremento de especies poáceas, sobre todo *Lolium rigidum* Gaud. que ha aumentado en muchas zonas y presenta resistencia a herbicidas en al menos 7 comarcas. El pastoreo con ovino ha disminuido de forma generalizada y la superficie gestionada por agricultor ha aumentado por motivos económicos. Las irregulares precipitaciones, en progresiva disminución, y también los incrementos de temperatura a finales de ciclo posiblemente obligarán a realizar nuevas adaptaciones como la elección de especies (p.ej. cebada) o variedades apropiadas a estas condiciones para poder rentabilizar los cultivos.

Palabras clave: Encuestas, rotaciones, laboreo, herbicidas, cambio climático, manejo agronómico.

Changes of the agronomic practices in rainfed winter cereal since 1970 in Aragón (Northeastern Spain): implications for the weed management

Abstract

Winter cereal in rainfed conditions occupies an important area in Spain and also in Aragón and has experienced significant changes concerning management and social aspects. In this work the opinions of

* Autor para correspondencia: acirujeda@aragon.es

Cita del artículo: Cirujeda A., Pardo G., Aibar J. (2025). Evolución de las prácticas agronómicas en cereal de invierno en secano desde la década de los 1970 en Aragón (España): implicación en el manejo de las malas hierbas. ITEA-Información Técnica Económica Agraria 121(2): 114-135. <https://doi.org/10.12706/itea.2025.001>



38 technicians and farmers of 21 districts are described after filling in questionnaires about the main crops, type of tillage, herbicide use, main weed species, sowing periods, etc. in three periods: years 1970-86 (since the inclusion of Spain in the CEE and the start of the influence of the Common Agricultural Policies) (period 1), 2005-13 (period 2) and 2021-present (period 3). The results are coincident in most of the districts concerning the following aspects: more diverse crops have been seeded progressively; a reduction in tillage intensity has occurred and herbicides are applied more intensively, in many districts in both pre- and postemergence of the crops. Concerning the most worrisome weeds, the most outstanding is an increase in poaceae, especially of *Lolium rigidum* Gaud. in many areas showing herbicide-resistant populations at least in 7 districts. Overall, grazing with sheep has also diminished and there has been an increase of the cultivated area per farmer. The irregular rainfall as well as the high temperatures at the end of the cropping cycles will very probably force farmers to carry out new adaptations such as choosing adapted species (e.g. barley) and appropriate varieties to these conditions to capitalize the crops.

Keywords: Survey, crop rotations, tillage, herbicides, climate change, agronomic management.

Introducción

En el año 2022 se cultivaron en Aragón un total de 686.741 ha de cereal de invierno en condiciones de secano, representando el principal grupo de cultivos en superficie (MAPA, 2023). A pesar de que los rendimientos medios son moderados en Aragón (p.ej. 2.390 kg ha⁻¹ para trigo blando en 2022; Gutiérrez, 2023), este grupo de cultivos es muy significativo por la elevada superficie ocupada, por la importancia de proveer al sector agroalimentario y ganadero de materias primas locales para harineras, malterías y para la fabricación de piensos, los cuales se destinan, principalmente a ganado porcino, pero también a vacuno y avícola. También, al tratarse de cultivos muy arraigados culturalmente, son importantes como vertebradores del territorio. Igualmente, la paja que se genera es un subproducto importante tanto si se aprovecha fuera de la finca como si se incorpora en el suelo para incrementar su materia orgánica. Además, el cereal está muy adaptado a eventos irregulares como la pluviometría en zonas de clima mediterráneo y es capaz de compensar su rendimiento en diferentes momentos de su ciclo. En el secano, es muy difícil encontrar otro cultivo más interesante desde el punto de vista productivo y de rentabilidad económica.

Desde los años 1950, aproximadamente, el cultivo se ha tecnificado progresivamente, especialmente debido a la mecanización tanto de los aperos de labranza (introducción de los primeros arados de vertedera en la década de 1910) como de los de recolección. También se ha ido generalizando el uso de fertilizantes de síntesis química y el de fitosanitarios. El primer herbicida registrado en España para los cereales de invierno fue el 2,4-D para el control de plantas dicotiledóneas en 1948, aunque no fue hasta finales de los años sesenta que se extendió su uso en estos cultivos (Tabla 1). A principios de los años sesenta se introdujo el trialato para el control de ballueca (*Avena* spp.) en cereal, lo cual supuso una verdadera revolución, ya que, por primera vez, se conseguía selectividad aun cuando cultivo y mala hierba eran de la misma familia. Posteriormente, en los años 1970 se introdujeron clortolurón, isoproturón y diclofop-metil (para el control de poáceas) y en los años 80, el herbicida de preemergencia clorsulfurón y otras sulfonilureas como tribenurón, muy utilizada para el control de especies dicotiledóneas (Loureiro et al., 2010). Les siguieron otras materias activas, entre las cuales destacan imazametabenz en 1984 (Taberner et al., 1992a) para el control de *Avena* spp., así como iodosulfurón y pinoxaden para el control de poáceas. También

Tabla 1. Fechas de registro de algunas de las principales materias activas herbicidas empleadas en cereal de invierno en la Comunidad Económica Europea o en España.
Table 1. Years of registration of some of the main herbicide active ingredients used in winter cereal in the European Economic Community or in Spain.

Materia activa	Fecha
2.4-D ácido 60 %	1948 (en CEE)*
Triallato	1964 (en CEE)*
Clortolurón 50 %	1971 (en CEE)*
Glifosato 36 % sal isopropilamina	1974 (en CEE)*
Isoproturón**	1975 (en CEE)*
Diclofop 36 % (éster metílico)	1976 (en CEE)*
Clorsulfurón	1985 (en CEE)*
Tribenurón-metil 50 %	Antes de 1990 en España (Loureiro, pers. com.)
Imazametabenz**	Antes de 1990 en España (Loureiro, pers. com.)
Tralkoxidim	2009-2019 (Loureiro, pers. com.)
Iodosulfurón	2003 (en España)
Pinoxaden	24/10/2013 (en España)***

*García-Torres y Fernández-Quintanilla (1991). **Materia activa ya no autorizada en la Unión Europea.
*** MAPA, (2024b).

se introdujo el uso de glifosato, para eliminar ricios y otras especies en presiembra, normalmente en sistemas de siembra directa.

En los últimos años se ha extendido el fungicida, especialmente en trigo, dados los problemas observados de roya amarilla en algunas variedades a partir de la década de los años 2000 (González, 2018). También se ha producido un progresivo incremento en el uso de semilla certificada utilizando nuevas variedades cada vez más productivas alcanzando un 40 % sobre el total de semillas sembradas en Aragón en 2023 (Gutiérrez, 2023). Otro cambio ha sido la prohibición de la quema de rastrojos salvo por motivos fitosanitarios desde el año 2003 (Reglamento (CE) 1782/2003).

Entre los años 1976 y 1978 en el Servicio de Investigación Agraria de Zaragoza (actualmen-

te CITA) se realizó una primera tanda de prospección de la flora arvense en campos de cereal con el fin de conocer las malas hierbas que crecían en las diferentes zonas de Aragón, sobre todo en la provincia de Zaragoza (parcialmente publicada por Zaragoza y Maillet, 1976) (período 1). Entre los años 2005 y 2013 (período 2) se visitaron los mismos campos u otros muy cercanos en caso de no estar cultivados, además de ampliar las prospecciones a nuevas zonas de las provincias de Huesca y de Teruel (parcialmente publicado en Cirujeda et al., 2011); en 2021 se iniciaron nuevas visitas que se prevén concluir en 2024 (período 3) (parcialmente publicado por Segarra, 2022). En total se han visitado campos de 21 de las 33 comarcas de Aragón, priorizando aquellas en las que el cultivo de cereal cobra mayor importancia.

Durante las tres tandas de prospecciones se han anotado aspectos sobre el manejo (tipo de laboreo, regadío o secano etc.) que son apreciables en el momento de la visita; en caso de estar presentes los agricultores, también se ha preguntado sobre el manejo (herbicida aplicado, cultivo previo, etc.) aunque la mayoría de los campos fueron visitados en ausencia de los propietarios. Por ello, muchos de los aspectos de manejo se desconocen, detalles que pueden ser útiles para tratar de comprender algunos de los cambios de flora observados en los sucesivos inventarios. Para paliar esta falta de información, en 2022 se diseñó un cuestionario dirigido a técnicos y agricultores de las diferentes comarcas de Aragón, en las que se ha prospectado y de este modo, poder relacionar esta evolución con esta evolución en la composición de flora.

El principal objetivo de este trabajo ha sido, por lo tanto, conocer los principales cambios en el manejo agronómico ocurridos desde los años 70 hasta la actualidad, que expliquen los cambios observados en la composición florística en aquellas comarcas de Aragón en las que el cereal de secano es el cultivo predominante. Un objetivo adicional es conocer qué especies arvenses preocupan más, antes y en la actualidad, al sector agrícola para ofrecerle opciones de prevención y de manejo.

Materiales y métodos

El cuestionario se dividió en apartados con preguntas relativas a 1) los cultivos sembrados (incluyendo fechas de siembra); 2) el tipo de laboreo; 3) el uso de herbicidas; 4) las malas hierbas dominantes y 5) observaciones relacionadas con el uso de fertilizantes, cambios del tiempo de dedicación de los agricultores, manejo de rastrojos, pastoreo, concentración

parcelaria, cambios en climatología, etc. Cada pregunta debía ser contestada para tres períodos diferentes: años 1970-86 (entrada de España en la Comunidad Económica Europea) (período 1), años 2005-13 (período 2) y años 2021-actualidad (período 3). Las respuestas fueron abiertas con posibilidad de contestar libremente.

Una vez diseñado el cuestionario, entre el invierno de 2022 y el de 2023 se contactó con técnicos de cooperativas y de Agrupaciones para Tratamientos Integrados en Agricultura (ATRIAs) y con agricultores representativos de todas las zonas prospectadas. Se seleccionaron personas con cierta perspectiva histórica o con posibilidad de consultar a expertos de mayor edad los datos del periodo 1970-1986. En algunas comarcas se recogieron dos o más cuestionarios, especialmente si las personas encuestadas fueron agricultores, para dar una visión más completa de la zona, y se han resumido en una única respuesta. En este primer trabajo se analizan las respuestas de 38 encuestas para 21 comarcas o subcomarcas, Jacetania (Ja), Hoya de Huesca (HH), Somontano y Cinca Medio (SCM), Ribagorza (R), Los Monegros (oeste) (Mo), Los Monegros (este) (Me), Cinco Villas medias-altas (CVma), Cinco Villas (CV), Campo de Borja (CBo), Ribera Baja del Ebro (RBE), Tarazona y el Moncayo (TM), Comunidad de Calatayud (CCal), Bajo Gállego (BG), Campo de Cariñena (CCar), Campo de Belchite (CBe), Bajo Aragón Caspe (BAC), Jiloca (Ji), Cuencas Mineras (CM), Comunidad de Teruel (este) (CTe), Comunidad de Teruel (norte) (CTn), Maestrazgo (M), todas ellas en secano (Figura 1). En cuanto a altitud sobre el nivel del mar, pluviometría y temperaturas medias, se observan notables diferencias entre las comarcas estudiadas (Tabla 2) por lo que *a priori* cabe esperar que el manejo del cultivo varíe adaptándose a cada condición climática.

Tabla 2. Datos de altitud, pluviometría y temperaturas medias en las localidades más cercanas a las de las personas encuestadas.
 Table 2. *Altitude, rainfall and mean temperature in the nearest locations to the respondents.*

Comarca o subcomarca	Localidad de residencia (altitud, m.s.n.m. ^a)	Pluviometría media (mm/año) ^b		Temperaturas medias (°C) ^b		Localidad datos climáticos
		2004-06	2021-23	2004-06	2021-23	
Jacetania	Jaca (818)	570	656	11,82	13,06	Santa Cilia
Hoya de Huesca (3 encuestas)	Huesca (488), Huerrios (680), La Sotonera (656)	389	326	13,44	14,41	Huesca
Somontano y Cinca Medio	Barbastro (341)	368	376	13,9	15,25	Barbastro
Ribagorza	Graus (469)	368	376	13,9	15,25	Barbastro
Los Monegros (oeste)	Leciñena (410)	348*	304	14,61*	16,20	Zuera
Los Monegros (este)	Peñalba (253)	319	335	13,89	15,02	Candanos
Cinco Villas medias-altas	Sádaba (454), Uncastillo (601), Luesía (810)	432	460	13,07	14,15	Sádaba
Cinco Villas (3 encuestas)	Tauste (267), Luna (401), Ejea (346)	394	362	13,41	14,69	Ejea
Campo de Borja (3 encuestas)	Magallón (419), Fréscano (302), Mallén (293), Novillas (239)	454	326	13,92	15,04	Borja
Ribera Baja del Ebro (3 encuestas)	Gelsa (147) y Pina de Ebro (161)	296	250	14,92	16,38	Quinto
Tarazona y el Moncayo	Tarazona (480)	407	300	13,33	14,46	Tarazona
Cdad. de Calatayud	Torrijo de la Cañada (790)	417	330	12,12	13,75	Calatayud
Zaragoza (Bajo Gállego)	Zuera (279)	348*	304	14,61*	16,20	Zuera
Campo de Cariñena (3 encuestas)	Cariñena (591), Tosos (585)	438	323	14,10	15,49	Almonacid de la Sierra
Campo de Belchite (2 encuestas)	La Puebla de Albortón (483), Belchite (460), Fuendetodos (750); Plenas (800)	329	260	14,50	15,46	Belchite
Bajo Aragón Caspe	Caspe (153)	379	295	15,14	16,64	Caspe
Jiloca (7 encuestas)	Bañón ^c (1141), Ferreruella (1015), Lagueruela (1066), Cucalón (1034), Ojos Negros (1150)	339**	341	11,15**	12,47	Monreal del Campo
Cuencas Mineras	Blesa (771)	304	281	14,27	15,6	Hijar
Cdad. de Teruel (este) (2 encuestas)	Camarillas (1314), El Pobo (1399)	381**	354	11,64**	12,74	Teruel
Cdad. de Teruel (norte) (2 encuestas)	Argente (1253), Lidón (1211), Visiedo (1185), Rillo (1269)	381**	354	11,64**	12,74	Teruel
Maestrazgo	Miravete de la Sierra (1218), Villarroya de los Pinares (1377)	381**	354	11,64**	12,74	Teruel

^a SIGPAC (2024); ^bSIAR (2024); ^cEncuesta asignada a Cdad. de Teruel (este) por proximidad; *Periodo 2011-13, ** Periodo 2006-08.

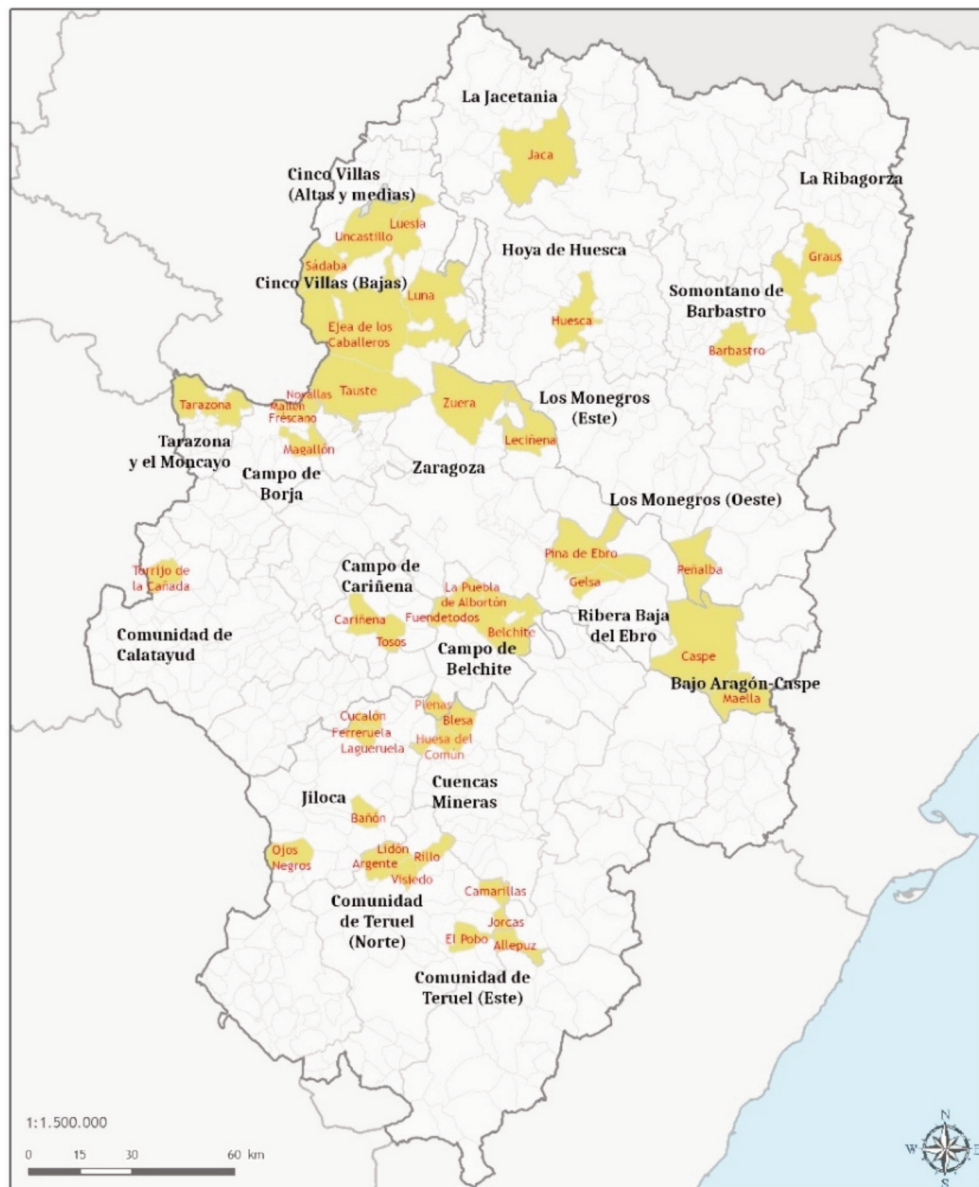


Figura 1. Mapa con los municipios y comarcas de Aragón desde las que respondieron a los cuestionarios.
 Figure 1. Map showing the municipalities and districts of Aragón where the questionnaires were answered.

Resultados

En primer lugar, se constató la dificultad de encontrar personas con un conocimiento de las prácticas agrícolas características de su

zona en un período de tiempo tan amplio, por lo que en algunos casos las preguntas relativas al primer período quedaron sin contestar.

Cambios en los cultivos

Se constata un aumento gradual en la diversificación de cultivos en la mayoría de las comarcas desde el primer período hasta la actualidad (Tabla 3). Destaca la introducción de

especies leguminosas en zonas en las que anteriormente no se sembraban. El cambio más reseñable entre el segundo y tercer período es un aumento de la siembra de triticales (*Triticum x Secale*), poco presente en el primer período.

Tabla 3. Resultados respecto a los cultivos predominantes en las tres épocas consultadas.

Table 3. Results concerning the dominating crops in the three periods.

Comarca	1970-86	2005-13	2021-23
Jacetania	TB, C (primavera)	C, TB, G, V	C y TB, habines
Hoya de Huesca	C	C, TB, G, V(grano)	TB, C, TD, habines o V, CO
Somontano y Cinca Medio	C, TB	C, TB, LG	C, TB, LG
Ribagorza	C, TB (forraje)	C, TB, T, raygrass, V-AV	C, TB, T, raygrass, V-AV, A, CO
Los Monegros (oeste)	TB, C	TD y C	TB, T, C
Los Monegros (este)	C y TB	C, TB, T	C, T, TB
Cinco Villas medias-altas	C, TB	C, TB, TD, G, A	C, TB, A, TD
Cinco Villas	C, TD, TB	C, TD, TB	C, TD, TB, LG
Campo de Borja	TD y TB	C (2 carreras)	C, TB, T
Ribera Baja del Ebro	C, TB	TD, C	TD, T, LG
Tarazona y el Moncayo	C, TB	C, TB	C, TB
Comunidad de Calatayud	TB, C	TD, TB, C	TB, GR, C, LG
Campo de Daroca	–	–	–
Zaragoza (Bajo Gállego)	–	TD, C	TD, C, T, LG
Campo Cariñena	TD, C, TB, V	TD, C, TB	T, C, TD, TB
Campo de Belchite	C, TB (Aragón 03)	C, TD, G	TD, C, TB, G
Bajo Aragón Caspe	C, TB	C, TD	C, TD
Jiloca	C, TB, CN, G, AV, E	C, TD, CN, TB, A, T, E	C, GR, TB, A, Y, E, CO, T, CN
Cuencas Mineras	C, TB, CN, E	C, TB	C, TB, Y, E
Comunidad de Teruel (este)	C (primavera), TB, E, AV	TB, C, E, CN, T, G	TB, C (otoño), T, GR, E
Comunidad de Teruel (norte)	TB, C	TB, C, T, G	C, T, TB, Y, V, almortas, GR
Maestrazgo	TB, C	TB, C, T	TB, C, T, GR

C: Cebada, TB: Trigo blando, TD: Trigo duro, T: Triticales, CN: Centeno, V: Veza, LG: Leguminosas sin especificar, G: Guisante. GR: Girasol, A: Alfalfa, AV: avena, E: Esparceta, Y: Yeros, CO: colza.

En algunas zonas se ha producido un aumento de cultivos leñosos en detrimento del cereal: almendros en HH y CBo; almendros y vid en CCar; carrascas truferas, almendros y pistachos en el Ji; por el contrario, en CCal se observa una regresión en las plantaciones de frutales tradicionales y un aumento de cultivos extensivos. En CBe prácticamente ha desaparecido el cultivo de la vid y se ha incrementado el almendro (en algunas zonas, por plantaciones masivas financiadas por fondos de inversión). En 4 comarcas se está introduciendo el girasol (CCal, CTe, CTn, M, Ji) y en alguna, la colza (Ji). Coincide con las zonas de mayor altitud (Tabla 2), donde en primavera-verano se registran tormentas que posibilitan su establecimiento y desarrollo.

Cambios en las fechas de siembra

En 14 comarcas se ha producido un progresivo retraso en las fechas de siembra del cereal. Los motivos, según los encuestados, son: temperaturas elevadas y la necesidad de controlar ricio y bromo mediante laboreo o con herbicidas en siembra directa (SD); por sembrarse ahora variedades de ciclo más corto, ofrecidas en los últimos años por el mercado; esperando lluvias de final de otoño. En cinco zonas cifran ese retraso en alrededor de un mes; en la RBE todavía más: se sembraba para últimos de septiembre en el período 1, en octubre en período 2 y entre noviembre y enero en la actualidad. En cinco zonas no se relata una modificación en la fecha de siembra (Me, Mo, TM, SCM y BAC) posiblemente porque ya se sembraban variedades de ciclo corto adaptadas a la sequía.

Un agricultor de CTe describe un adelanto en la fecha de cosecha de trigo, habiendo sembrado la misma variedad ("Marius") durante todos estos años: en el primer período cosechaba a mediados de agosto y, en la actualidad, a principios de julio.

Laboreo

En todas las zonas, en el primer período se realizaba un laboreo con vertedera, después se repasaba una o dos veces con cultivador y rastra (denominado binar y terciar o bien mantornar, según la zona; ver en RAE, 2024). El subsolador, debido a la potencia de tractor requerida y al alto consumo en gasoil no fue un apero usado con frecuencia. En la actualidad se sigue usando la vertedera de forma bastante generalizada en tres comarcas (M, CM y CBe). En CCar, RBE y CCal se utilizaba hasta el segundo período combinado con chisel y, en algunas parcelas de CBo y de Me se sigue usando. En general, se ha observado una transición del uso de vertedera a mínimo laboreo (ML) en el segundo período, manteniéndose de forma generalizada en la actualidad. Paulatinamente, la SD gana adeptos en bastantes comarcas (HH, BG, Mo, Me CBo, RBE, CCal, R, CV, CTn, CCar, Ji, SCM y BAC). Seguramente el interés por la SD fue más tardío que en la vecina Cataluña donde, desde inicio de los 90, algunos agricultores ya mostraban inquietud por esta práctica (Taberner et al., 1992a). Cabe resaltar que en algunas zonas (CBo, Me, RBE y Ji) en la actualidad se practican los tres tipos de laboreo, según los productores y dependiendo de las zonas: vertedera, ML o SD. En algunas zonas la SD es muy incipiente (CBe, BAC).

En cuanto a los aperos utilizados, en Ja y CTe se utiliza chisel, grada de discos y cultivador. En Mo y CCar, actualmente se realiza un pase de chisel "rastrojeador" o "rastrojero" y de un cilindro con cuchilla, que corta las raíces de las malas hierbas establecidas. Resulta extraño que este apero, diseñado principalmente para eliminar malas hierbas desarrolladas con un bajo gasto en combustible, no tenga un uso más extendido en el resto de la Comunidad Autónoma. También se cita en alguna comarca el uso de vertederas que realizan una labor menos profunda.

La técnica tradicional del año y vez

En todas las comarcas estudiadas exceptuando HH y Ja, en el primer período se practicaba el “año y vez” de forma generalizada, es decir que los campos se sembraban un año y se dejaban descansar otro, practicando pastoreo y laboreo en esas tierras durante el año de barbecho. En la actualidad esta práctica todavía es común en 9 comarcas (BG, CBo, CCar, CTe, CTn, M, CM, BAC y CBe), siendo zonas coincidentes con precipitaciones escasas (Tabla 2) las cuales, además, no siempre se producen en los momentos más adecuados para el desarrollo del cereal. El barbecho se sigue practicando en muchas zonas, aunque de forma menos frecuente que antiguamente. La adopción de la SD, donde se reduce el tiempo de trabajo, facilita la siembra anual y es una de las razones de que se dejen menos campos en barbecho.

Malas hierbas

Especies más problemáticas

En algunas comarcas se ha producido un claro cambio entre las especies arvenses que preocupaban por su difícil control en el primer período y aquellas que lo son en la actualidad: dos poáceas asociadas a la SD (*Bromus diandrus* y *Vulpia* spp.) aumentan en varias comarcas. Ya en 1995 se citó un incremento de la presencia de *Vulpia* spp. en Aragón (Centro de Sanidad Vegetal, 1995) pero la preocupación pareció decrecer posteriormente, aunque se sigue citando en alguna comarca (Ji). También aumentan su presencia especies de la familia de las *Asteraceae*, cuyos vilanos se dispersan por el viento: *Conyza* spp., *Anthemis arvensis*, *Matricaria chamomilla* y *Lactuca serriola* y bulbosas como *Muscari neglectum*, todas ellas adaptadas *a priori* a la SD (Tabla 4).

Lolium rigidum ha cobrado importancia, paulatinamente, en casi todas las comarcas hasta

ser globalmente el mayor problema. En 4 de ellas (HH, Mo, Me y CVma) ya se citaba como problemática en los años 1970 ascendiendo en la actualidad a 13 comarcas en la que se considera preocupante (Tabla 4). Llama la atención que en 5 comarcas (CBo, TM, CV, CVma, CTe) previamente preocupaba *Avena sterilis*, en Ja *Alopecurus myosuroides*, y ahora, en cambio es *L. rigidum* en todas ellas. Por lo contrario, en la CTe está aumentando en la actualidad la presencia de *A. myosuroides*. En algunas comarcas se cita a ambas, *L. rigidum* y *A. sterilis* (BG, Me Mo, R, CVma, CTe, CTn y CBe) pero parece haber decrecido generalmente la percepción de la gravedad de las infestaciones con *Avena* spp.

En cuanto a especies dicotiledóneas, *Salvadora kali* se cita como problemática en la actualidad en 9 comarcas; le sigue *Veronica* sp. en 7 comarcas (Tabla 4) (CCar, CCal, CTe, CV, CVma, R y Ji).

Algunas especies preocupan de forma aislada en ciertas comarcas: *Fumaria* spp., *Salvadora vermiculata*, *Amaranthus albus* (en Mo, posiblemente dispersado por purines), *Diploaxis eruroides* (en pueblos de CTe, donde antes no se encontraba, posible aumento debido al cambio climático), *Cynanchum acutum* (abundante en zonas de soto del Ebro y que está extendiéndose por los campos adyacentes), *Hypochaeris procumbens* (en CTn en suelos ligeros y Ji), *Sinapis arvensis* (en CVma y BAC), *Galium* spp. (en R) y *Cirsium arvense* (en CTe posiblemente por la reducción de laboreo). También en el BG se considera que algunas especies dicotiledóneas (no se detallan) están aumentando dispersadas por los purines de porcino.

En 1976, en un amplio estudio publicado por Güell y Domingo (1978) cuando se llevaba aplicando 20 años 2,4-D, se decía que las dicotiledóneas más frecuentes en Aragón, apareciendo en al menos el 50 % de los campos, eran: *Papaver rhoeas*, (casi en todos) *C. arvense* (que apenas se menciona en la actualidad),

Tabla 4. Principales especies de malas hierbas que preocupaban o iban en aumento en los años 1970-86 y actualmente; s.d.: sin dato.
 Table 4. Main weed species that worried farmers or were increasing in years 1970-86 and currently; s.d.: no data.

Comarca	Especies dominantes en años 1970-86	Especies que preocupan/en aumento actualmente
Jacetania	<i>Papaver rhoeas</i> , crucíferas, <i>Galium tricornutum</i> , <i>Alopecurus myosuroides</i>	<i>Bromus diandrus</i> , <i>L. rigidum</i> (recientemente), <i>Vulpia</i>
Hoya de Huesca	<i>L. rigidum</i> , <i>Avena sterilis</i> , <i>P. rhoeas</i> , crucíferas	<i>B. diandrus</i> , <i>Salsola kali</i> , <i>L. rigidum</i> resistente
Somontano y Cinca Medio	<i>P. rhoeas</i>	<i>B. diandrus</i> , <i>Galium</i> spp., <i>L. rigidum</i> , <i>Vulpia</i>
Ribagorza	s.d.	<i>L. rigidum</i> , <i>Galium aparine</i> , <i>Veronica</i> sp., <i>A. sterilis</i>
Los Monegros (oeste)	<i>S. kali</i> , <i>P. rhoeas</i> , <i>L. rigidum</i>	<i>Conyza</i> spp., <i>Salsola vermiculata</i> , <i>Amaranthus albus</i> (por purines)
Los Monegros (este)	s.d.	<i>Diploaxis erucoides</i> , <i>P. rhoeas</i> , <i>L. rigidum</i> , <i>A. sterilis</i> , <i>B. diandrus</i>
Cinco Villas medias-altas	<i>A. sterilis</i> , <i>L. rigidum</i> , <i>P. rhoeas</i> , <i>Sinapis arvensis</i> , <i>Silybum marianum</i> , <i>Cirsium arvense</i>	<i>L. rigidum</i> , <i>B. diandrus</i> , <i>A. sterilis</i> , <i>Vulpia</i> , <i>Anthemis arvensis</i> , <i>Matricaria chamomilla</i> , <i>Sinapis arvensis</i> , <i>P. rhoeas</i> , <i>Veronica</i> spp.
Cinco Villas	Hoja ancha, <i>A. sterilis</i>	<i>D. erucoides</i> , <i>Sinapis arvensis</i> , <i>Veronica</i> sp., <i>P. rhoeas</i> , <i>L. rigidum</i> , <i>Vulpia unilateralis</i>
Campo de Borja	<i>A. sterilis</i>	<i>L. rigidum</i> , <i>Bromus sterilis</i> . <i>A. sterilis</i> va a menos, mejor detección
Ribera Baja del Ebro	<i>S. kali</i> , <i>D. erucoides</i>	<i>S. kali</i> , <i>L. rigidum</i> , <i>Cynanchum acutum</i>
Tarazona y el Moncayo	<i>A. sterilis</i>	<i>L. rigidum</i>
Comunidad de Calatayud	<i>D. erucoides</i> , <i>P. rhoeas</i> , <i>C. arvense</i> , <i>Xanthinum spinosum</i>	<i>Bromus</i> spp.
Bajo Gállego	s.d.	<i>Lactuca serriola</i> , <i>Fumaria</i> spp., <i>A. sterilis</i> , <i>S. kali</i> , <i>L. rigidum</i>
Campo de Cariñena	<i>D. erucoides</i> , <i>A. sterilis</i> , <i>Chenopodium album</i>	<i>S. kali</i>
Campo de Belchite	<i>D. erucoides</i> , <i>P. rhoeas</i> , <i>Dipsacus fullonum</i>	<i>L. rigidum</i> , <i>A. sterilis</i> . En SD, <i>P. rhoeas</i> , <i>Veronica</i> spp., <i>Cynodon dactylon</i> en barbechos
Bajo Aragón Caspe	<i>S. arvensis</i> , <i>S. kali</i>	<i>L. rigidum</i> , <i>S. arvensis</i>
Jiloca	<i>P. rhoeas</i> , <i>Conringia orientalis</i> , <i>Cirsium arvense</i>	<i>S. kali</i> , <i>B. diandrus</i> , <i>Veronica</i> spp., <i>V. unilateralis</i> , <i>L. rigidum</i>
Cuencas Mineras	<i>Cynodon dactylon</i> en barbechos, <i>C. arvense</i>	<i>S. kali</i> , <i>A. sterilis</i>
Comunidad de Teruel (este)	<i>C. orientalis</i> , <i>P. rhoeas</i> , <i>C. arvense</i> , <i>A. sterilis</i>	<i>A. sterilis</i> , <i>L. rigidum</i> , <i>S. kali</i> , <i>D. erucoides</i> , <i>C. arvense</i> , <i>Veronica</i> spp., <i>A. myosuroides</i>
Comunidad de Teruel (norte)	<i>P. rhoeas</i> , <i>D. erucoides</i> , <i>Hypocoum procumbens</i>	<i>S. kali</i> , <i>B. diandrus</i> , <i>A. sterilis</i> , <i>L. rigidum</i> ; <i>Muscari neglectum</i> y bulbosas van en aumento
Maestrazgo	s.d.	s.d.

Galium spp. (decían los autores “resistente” a 2,4-D, aunque se referían a lo que ahora se denomina “tolerante”, es decir, que no es sensible a esta materia activa ninguna población, apenas se menciona ahora), *Veronica* spp., *Fumaria* spp. y *Polygonum aviculare*. Con menor frecuencia aparecían *Sinapis* spp, *Convolvulus arvensis*, o *Capsella bursa-pastoris*.

De ellas, solo *P. rhoeas* se menciona recurrentemente en la actualidad, pero es llamativo que a pesar de haber casos de resistencias a herbicidas en Aragón aproximadamente desde el 2000 y cuyo control preocupaba a partir de 2004 (CSV, 2005), no parece ahora ser una especie problemática y se cita solo como tal en cinco comarcas (Me, CCal, CV, CVma y Ji en SD).

Herbicidas utilizados

Durante el período 1, en 4 comarcas no se utilizaba ningún herbicida, en 9 solo se aplicaba esporádicamente 2,4-D y en 4 comarcas ya se había extendido el uso de clortolurón y/o diclofop para el control de poáceas (Tabla 5). En la actualidad en 7 comarcas es común realizar tratamientos de preemergencia y postemergencia en cereal de invierno; en 5 comarcas, además, se ha sustituido el laboreo en presiembra por el uso de glifosato (HH, Mo, CB, CV y Ja), por lo que se realizan tres tratamientos herbicidas por ciclo. Por el contrario, en 6 comarcas se llevan a cabo solo tratamientos de postemergencia, ya que o bien practican año y vez y/o laboreo con vertedera. En el CCar algunos agricultores siguen sin utilizarlos por convicción, así como algunos agricultores de la CTe optan seguir tratando solo con herbicidas para el control de especies dicotiledóneas (aparte de los productores que optan por un manejo ecológico).

Posibles resistencias a herbicidas

Se cita la presencia de poblaciones de *L. rigidum* presuntamente resistentes a herbicidas en 7 comarcas: HH, BG, Ja, CTn, Me, el SCM

y RBE. En algunos casos se observan problemas desde hace unos 20 años con clorsulfurón y, en menor medida, con dicofop-metil (CTn); en otras zonas la problemática es más incipiente (Ja, Me, RBE). Las resistencias en Me lo son a diclofop-metil; en la HH y SCM hay problemas con varios herbicidas del grupo de las ACC-asas; en la RBE el problema es grave y, además de las resistencias a herbicidas de los grupos “fop” y “dim”, muchas poblaciones lo son también a pinoxaden. En SCM adicionalmente se citan problemas de resistencia en *P. rhoeas* y *Conyza* spp.

Otros aspectos de manejo

Quema de rastrojo

En la mayoría de las comarcas se quemaban los rastrojos en el primer período pero no después, ya que se prohibió en el año 2003.

Pastoreo ovino

A pesar de que la reducción de la cabaña ovina en Aragón ha sido muy acusada desde los años noventa, solo en 8 comarcas los encuestados destacan que el pastoreo con ovino ha decrecido de forma importante (Mo, Me, R, Ja, CTn, CVma, CM, CBe). En sus respuestas indican que por ello hay que labrar más veces o tratar con glifosato, al proliferar notablemente *S. kali* en los rastrojos o barbechos en verano. Por lo contrario, un técnico constata que la desaparición del pastoreo ovino ha favorecido que el agricultor tenga más tiempo para hacer las labores sin retraso, comentario que demuestra que cada situación nueva tiene muchas maneras de abordarse, dependiendo de cada agricultor.

Fertilización

En 10 comarcas ya se usaba fertilizante mineral en el primer período, en ocasiones combinado con estiércol (Mo, Me, CTe, CVma, SCM, TM, la CCal, Ji, CM y CBe). En la misma

Tabla 5. Número de tratamientos y principales herbicidas utilizados en los tres periodos; s.d.: sin dato.
 Table 5. Number of treatments and main herbicides used in the three periods; s.d.: no data.

Comarca/periodo	1970-86	2005-13	En la actualidad
Jacetania	1 a 2 / 2,4-D y clortolurón	2 / glifosato; sulfonilureas, imazametabenz, tralkoxidim	2 / glifosato presiembra. Preemergencia. Tratamiento selectivo postemergencia.
Hoya de Huesca	1 / 2,4-D y clortolurón	2 / glifosato presiembra; sulfonilureas, imazametabenz, tralkoxidim	3 o 4 / glifosato presiembra. Preemergencia. Tratamiento selectivo postemergencia.
Somontano y Cinca Medio	1 / 2,4-D	1 a 2 / hormonales y sulfonilureas	1 / Tratamientos para mono y dicotiledóneas con todas las materias activas disponibles.
Ribagorza	0 / No se trataba	1 / tribenuron-metil, 2,4-D, tralkoxidim, triasulfuron	1 / tribenurón, halauxifenmetil, florasulam+ piroxulam, pinoxadén
Los Monegros (oeste)	1 / 2,4-D	2 / glifosato presiembra; 2,4-D, en trigo duro herbicidas de preemergencia	3 / glifosato presiembra, clortolurón+ diflufenican, clortoluron+diflufenicán+ pendimetalina
Los Monegros (este)	s.d.	s.d.	1 o 2 / pinoxadén, 2,4-D, tribenurón, tifensulfurón, metsulfurón; aumenta clortolurón, diflufenicán, florasulam
Cinco Villas medias-altas	1 a 2 / isoproturon, cloroluron, diclofop, imazametabenz, 2,4D, MCPA	1 a 3 / glifosato presiembra; tralkoxidim, pinoxadem, piroxulam, florasulam, diclofop, mesosulfuron, iodosulfuron, tribenuron, hormonales, pendimetalina, imazamox	1 a 3 / glifosato presiembra; pinoxadén, piroxulam, florasulam, mesosulfurón, iodosulfurón, tribenurón, hormonales, pendimetalina, imazamox
Cinco Villas	1 / 2,4-D	3 / glifosato presiembra; 2,4-D o sulfonilureas, diclofop o similar para poáceas	3 / glifosato presiembra (varios tratamientos), prosulfocarb, flufenacet, diflufenicán, pinoxadén, iodosulfurón, florasulam, tribenurón, 2,4-D,
Campo de Borja	0 o 1 / desde años ochenta clorsulfurón, diclofop	0 a 2 / glifosato presiembra; clorsulfurón	1 o 2 / glifosato presiembra. No es rentable aplicar más herbicidas, como mucho, hormonales o tratar contra avena

Tabla 5. Número de tratamientos y principales herbicidas utilizados en los tres periodos; s.d.: sin dato (continuación).
 Table 5. Number of treatments and main herbicides used in the three periods; s.d.: no data (continuation).

Comarca/periodo	1970-86	2005-13	En la actualidad
Ribera Baja del Ebro	0 o 1 / 2,4-D	0 o 1 / 2,4-D, clorsulfurón	0 o 1 / 2,4-D, clortolurón+diflufenicán
Tarazona y el Moncayo	0 / No se trataba	2 o 3 / glifosato presiembra; 2,4-D, pinoxadén, diclofop, iodosulfurón	2 o 3 / glifosato presiembra; 2,4-D, pinoxadén, diclofop, iodosulfurón
Comunidad de Calatayud	1 / 2,4-D	2 / algo de glifosato en presiembra, clorsulfurón + 2,4-D	2 / glifosato presiembra; clorsulfurón
Bajo Gállego	s.d.	1 / 2,4-D y clortolurón	1 o 2 / clortolurón+diflufenicán, prosulfocarb, 2,4-D, pinoxadén
Campo de Cariñena	0 a 1 / 2,4-D	0 a 2 / pinoxadén, clortolurón, tribenurón, diclofop, 2,4-D	0 a 2 / en ocasiones, glifosato; pinoxadén, clodinafop, metsulfurón, florasulam
Campo de Belchite	0 a 1 / 2,4-D	1 / 2,4-D	1 a 3 / Preemergencia, pinoxadén, 2,4-D
Bajo Aragón Caspe	0 a 1 / 2,4-D	1 / 2,4-D, iodosulfurón, diclofop, tribenurón	1 / 2,4-D, diclofop, tribenurón, iodosulfurón. Glifosato en SD.
Jiloca	0 a 1 / 2,4-D	1 / 2,4-D, imazametabenz	1 a 3 (en SD) / tribenurón, pinoxadén, 2,4-D, tribenurón, florasulam. Glifosato en SD
Cuencas Mineras	0 / No se trataba	1 a 2 / 2,4-D, algún tratamiento contra <i>A. sterilis</i>	1 a 2 / 2,4-D y pinoxadén
Comunidad de Teruel (este)	0 a 1 / 2,4-D	1 a 2 / 2,4-D, tribenurón, herbicidas contra <i>Avena</i> y <i>Lolium</i>	0 a 3 / 2,4-D, tribenurón, tifensulfurón, pinoxadén, fops- y dims para <i>Avena</i> y <i>Lo2022m</i>
C de Teruel (norte)	0 a 1 / 2,4-D	1 / 2,4-D, imazametabenz	1 a 2 / glifosato, tribenurón, pinoxadén, 2,4-D
Maestrazgo	s.d.	1 / 2,4-D	1 / 2,4-D

época, en las comarcas de CBo, CCar, RBE el abonado era, o con estiércol de la propia explotación, o no se fertilizaba y el abonado mineral se introdujo más tarde, a partir del segundo período.

En las comarcas de Me, Mo, BG, R, CV, CTn, CBo, SCM, y Ji se están utilizando purines de cerdo solos o combinados con fertilizante mineral desde el segundo período pero todavía más últimamente. En tres comarcas (HH, CCar, CTn) se está incorporando en la actualidad distintos fertilizantes orgánicos en sustitución del mineral, posiblemente debido a una combinación de varios factores que podrían ser: los elevados precios de los abonos minerales, la disponibilidad de residuos de origen ganadero y también la mayor conciencia sobre la necesidad de incrementar la materia orgánica del suelo. Estos fertilizantes son gallinaza mezclada con otros subproductos de la industria agroalimentaria o compost, según el año; gallinaza en fondo complementada con abono mineral en cobertera o solo abonos orgánicos combinados con abonados en verde de leguminosas en agricultura ecológica.

Otros cambios agronómicos

Entre los comentarios de las personas que contestaron al cuestionario se incluyeron aspectos interesantes no mencionados todavía, como la aparición de problemas de fitotoxicidades en suelos ligeros, particularidades en el uso de maquinaria, la reducción en la oferta de materias activas de herbicidas, etc. (Ver en material complementario. Tabla M1).

Cambios sociales

En la mayoría de las comarcas se ha producido un progresivo aumento de las hectáreas gestionadas por cada agricultor (16 comarcas). En una comarca se ha llevado a cabo una concentración parcelaria en el primer período (CBe) detallado explícitamente en 16 comarcas y en 4 comarcas desde el segun-

do. La necesidad de incrementar la renta ha propiciado que en algunas zonas la mayoría de los agricultores no lo sean ya a tiempo completo, sino que combinan esta actividad con la ganadería de porcino, hecho que se cita específicamente en cinco comarcas, aunque posiblemente éste sea un fenómeno extendido en más zonas.

Clima

La gran mayoría de personas encuestadas percibe cambios en el clima en su comarca desde el segundo período comparado con el primero. En 20 comarcas se afirma que las temperaturas actualmente son más elevadas. En concreto, se destaca que en 16 comarcas los veranos se han alargado y/o que son más calurosos o que el invierno se ha suavizado (en 4 comarcas) (Tabla M1). En cuanto a la precipitación, en 9 comarcas se considera, que, en general llueve menos o que las lluvias se han desplazado de época o incluso que llueve más o de forma más intensa (7 comarcas).

Discusión

Cultivos, pastoreo y laboreo

Las percepciones sobre la diversificación de cultivos recogidas en las encuestas coinciden con los datos disponibles: en Aragón en estos períodos destaca un incremento en la superficie sembrada de cebada en detrimento del trigo desde los años 1970, que posteriormente se ha mantenido bastante estable; en 2004 hubo 658.000 ha sembradas, con un pico en 2016 aumentando un 8,7 % y bajando un 6,5 % en 2023 (Tabla 6). El cultivo de trigo duro fue subvencionado en la provincia de Zaragoza por la PAC desde principios de los noventa (Orden de 21 de febrero de 1992), de ahí su popularidad, pero esta decreció drásticamente cuando se dejó de incentivar, des-

Tabla 6. Distribución de la superficie cerealista de secano en Aragón (ha), datos concretos de algunos años, de 2004 a 2023 (ESYRCE, 2024) y de Clark y Pinilla (2009).

Table 6. Distribution of the rainfed cereal area in Aragón (ha), data from particular years, from 2004 to 2023 (ESYRCE, 2024) and from Clark and Pinilla (2009).

Cultivo/año	1965	1975	2004	2009	2014	2019	2023
Trigo duro			209.864	163.610	82.212	65.782	53.871
Trigo blando y semiduro			56.574	51.745	131.082	132.033	167.422
Trigo (genérico)	525.000	356.000	266.438	215.355	213.294	197.815	221.293
Cebada de 2 carreras			294.392	366.003	437.710	399.409	369.962
Cebada de 6 carreras			70.244	33.960	10.119	3.602	2.866
Cebada (genérico)	82.000	417.000	364.636	399.963	447.829	403.011	372.828
Avena			16.972	37.100	23.786	27.675	26.173
Centeno			7.221	17.489	16.121	13.513	11.305
Triticale			266	1.779	12.463	30.960	40.521
Mezcla cereales de invierno			933	5.394	870	119	15
Maíz			1.439	154	402	368	365
Total			657.906	677.234	714.766	673.461	672.500

cendiendo su superficie cultivada a la mitad, de 2009 a 2014. La superficie perdida por el trigo duro en estos 5 años es prácticamente la misma que la ganada por el trigo blando en ese periodo (80.000 ha). El incremento en la siembra de cebada de 1965 a 1975 (Tabla 6) posiblemente se haya producido debido a que la cebada termina el ciclo dos a tres semanas antes que el trigo escapando así a algunos periodos de canícula, por tanto, se adapta mejor al clima actual, y por sus mayores rendimientos. La superficie dedicada a la cebada de 6 carreras también ha disminuido, aumentando la de dos carreras durante este periodo, posiblemente por ser más productiva (Tabla 7), lo que probablemente ha propiciado su popularidad, además del aumento del consumo por el sector porcino y de las empresas malteras.

La avena y el centeno muestran altibajos en estos periodos y destaca un incremento en el triticale hasta alcanzar 40.000 ha en 2023. Seguramente este híbrido es más rustico que el trigo (menos sensible a enfermedades y a sequía) y potencialmente es el cereal de invierno que proporciona más proteína por hectárea. Otras ventajas adicionales y por lo que se cultiva es que los conejos, que constituyen plaga en algunas zonas como en el BG, CCar, los Me y RBE (Tabla M1) lo consumen menos que otros cereales de invierno y además puede rebrotar consiguiendo cierta producción, a pesar de que su techo productivo es inferior al de otros cereales (Aibar, com. pers.).

Algunos requisitos de la PAC relacionados con la elección de cultivos también han promocionado la siembra de determinadas es-

Tabla 7. Evolución del rendimiento medio (kg ha⁻¹) de los principales cereales de invierno cultivados en Aragón en secano en el periodo 2002-2023. Elaboración propia a partir de datos de ESYRCE (2024), de Clark y Pinilla (2009) y de Departamento de Agricultura, Ganadería y Medio Ambiente del Gobierno de Aragón (Gutiérrez, 2023).
Table 7. Changes in mean yield (kg ha⁻¹) of the main winter cereal types grown in Aragón under rain-fed conditions in 2002-2023. Own elaboration from data of ESYRCE (2024), Clark and Pinilla (2009) and the Department of Agriculture, Livestock and Environment of the Aragón Government (Gutiérrez, 2023).

Cereal	Periodo					
	1975	2002-05	2011-14	2018-21	2002-21	2022-23
Trigo duro		1.275	1.189	1.545	1.305	1.420
Trigo blando		2.709	2.630	3.137	2.693	1.950
Trigo (genérico)	1.600					
Cebada de 2 carreras		2.675	2.311	2.875	2.600	
Cebada de 6 carreras		2.204	1.891	2.149	2.043	
Cebada (genérico)						1.760

pecies tanto cuando se iniciaron las subvenciones a principios de los años noventa (girasol, lino y trigo duro en Zaragoza) como condicionando por el “greening” (PAC desde 2013) o en la actualidad si los agricultores se acogen a determinados ecoesquemas (PAC 2023-27) (MAPA, 2024a).

A pesar de las tendencias generales se siguen constatando, lógicamente, diferencias comarcales debidas a la altitud, a la orografía y la climatología locales. A su vez, la elección de cultivos y el grado de tecnificación también están condicionados por el tamaño de las explotaciones y de las parcelas, de la proximidad y la distancia entre los campos y los principales centros de la agroindustria. Por ejemplo, en zonas en las que abundan las granjas de porcino lógicamente se ha adoptado el uso de purines como fertilizantes en vez de usar abonos minerales, mientras que, en otras, donde la implantación es menor, no se utilizan.

Los cambios mencionados en el manejo, ocurridos en estas décadas, muy probablemente no solo hayan tenido una influencia en los

rendimientos medios (Tabla 7), sino también en otros aspectos. En cuanto al suelo se refiere, las consecuencias de los cambios producidos en la fertilización posiblemente sean múltiples e incluyan la modificación de la composición de la microbiota del suelo debido a una cierta acidificación de los mismos al usar fertilizantes nitrogenados (Cai et al., 2015; Wang et al., 2019). En las parcelas bajo SD posiblemente haya un ligero aumento de la materia orgánica en la capa más superficial del suelo (Arshad et al., 1990; Álvaro-Fuentes et al., 2006) y de algunos tipos de micorrizas (Liu et al., 2022).

Como han expresado algunas personas entrevistadas, el declive de la cabaña ovina y también en el número de explotaciones (de 4.007 en 2012 a 2.614 en 2022; Gobierno de Aragón, 2024) ha supuesto un cambio muy importante. Durante siglos se han pastoreado los rastrojos y barbechos por este ganado que ahora se ha reducido drásticamente. En este sentido cabe señalar que el pastoreo, que todavía se realizaba de manera ge-

neralizada sobre los barbechos en el primer e incluso en el segundo periodo, aunque tenía algunos inconvenientes ligados a la compactación de suelo, sí que impedía a algunas malas hierbas completar el ciclo reduciendo las infestaciones. Hoy en día, con apenas pastoreo, cada vez es más frecuente ver los barbechos llenos de malezas que terminan arrojando semillas al suelo (que infestarán al cultivo siguiente) a no ser que se controlen de otra forma, mecánica o químicamente, lo que supone un coste adicional y ambiental.

En cuanto al laboreo, algunos técnicos advierten que la SD mejora la estructura del suelo solo si se consigue cobertura de este con el rastrojo y otros restos vegetales. En zonas muy secas es, según ellos, difícil conseguir dicha cobertura, por lo que a menudo es necesario dejar crecer malas hierbas en el rastrojo en verano para luego controlarlas química o mecánicamente. Algunas personas entrevistadas han detallado el motivo de la reducción del laboreo con vertedera: en la HH y R se asocia a una mayor concentración de tierras en menos agricultores, a quienes no les da tiempo de labrar toda la superficie, a pesar de la maquinaria existente. Curiosamente, los encuestados no han argumentado directamente que el laboreo con vertedera es lento y caro, pero ello seguro que ha influido a la hora de reducir su uso. Así mismo, tampoco se han recogido comentarios negativos de la utilización de este apero en el sentido de que degrade el suelo y promueva su erosión, a pesar de ser un hecho evidente.

En las CM, donde se sigue labrando con vertedera, por el contrario, algunos agricultores dicen necesitar ahora binar más veces que en décadas anteriores debido a la falta de pastoreo con ovino y a causa de los cambios en las épocas en las que se registran las precipitaciones que obligan a repetir esas labores.

Cambios en las malas hierbas

El incremento en la frecuencia y abundancia de *L. rigidum* puede venir en gran parte explicado por la generalizada reducción del laboreo, ya que le favorece (Taberner et al., 1992b); además es una especie que tiene una rápida tendencia a desarrollar resistencias (Loureiro et al., 2017). También *A. myosuroides* presenta poblaciones resistentes a herbicidas (Heap, 2024) y predomina en ML (Lutman et al., 2013). Esta segunda especie posiblemente necesita mayor humedad, lo que podría explicar su reducción en la Ja en el contexto del cambio climático. En cuanto al control de *Avena* spp. posiblemente se haya mejorado en la identificación y correcto tratamiento de esta especie (debido al asesoramiento, como comenta un técnico) o también que la reducción de laboreo le haya perjudicado, ya que es una especie muy adaptada al mismo y cuyas semillas emergen mejor de mayor profundidad que desde la superficie (Mahajan y Chauhan, 2021). Se ha observado una reducción de la producción de semillas de *A. sterilis ludoviciana* en un 28 % en SD comparando con laboreo convencional (Mahajan y Chauhan, 2023).

El aumento de *S. kali* posiblemente esté relacionado con la reducción del pastoreo de rastrojos con ovino, donde tradicionalmente eran ingeridas en estadios jóvenes poco tiempo después de la siega. Las especies arvenses del género *Veronica* terminan su ciclo pronto (marzo-abril) y tienen un porte bajo. Desde el punto de vista teórico se considera una especie que puede ser incluso beneficiosa para prevenir la proliferación de otras especies más competitivas (Adeux, 2019), no obstante, cabe tener en cuenta que en varias comarcas se destaca su presencia y podría ser oportuno estudiar su capacidad competitiva, en especial por la disponibilidad de agua en los primeros meses de establecimiento del cultivo y en los de ciclo más corto.

La escasa preocupación mostrada en general respecto a *P. rhoeas* posiblemente sea debida a la existencia de materias activas herbicidas de diferentes grupos que son eficaces para su control (Montull et al., 2023) a pesar de la resistencia a herbicidas hormonales y a sulfonilureas. Esta percepción es inesperada, ya que se trata de una especie muy vistosa y fácilmente reconocible.

Implicaciones de los cambios de manejo observados para las malas hierbas

Varios técnicos y/o agricultores han indicado aquellos factores que consideran han sido los más relevantes para provocar los cambios observados en las arvenses. Entre ellos se destacan: la reducción del laboreo, la siembra anual de cultivos en sustitución del “año y vez”, el uso repetido de herbicidas de los mismos modos de acción propiciando el desarrollo de resistencias, la reducción del pastoreo de rastrojos que motiva la expansión de *S. kali*, así como los cambios en los regímenes de lluvias que no favorecen la nascencia de malas hierbas en otoño y dificultan su control antes de la siembra. Por otro lado, algunas personas encuestadas mencionan determinadas novedades, en concreto la siembra de girasol, que facilitan el control de especies poáceas de ciclo invernal (especialmente de *L. rigidum* y de *Avena* spp.), así como un mayor asesoramiento por parte de técnicos de cooperativas o de ATRÍAs. Algunos agricultores ecológicos comentan la necesidad de seguir usando la vertedera para el control de las malas hierbas por conseguir un efecto reductor de la emergencia más duradero que utilizando aperos de ML, especialmente en zonas muy secas, en las que es difícil alcanzar una buena cubierta vegetal.

En cuanto a la quema de rastrojo, los ensayos de Lyon et al. (2016), sugieren que la mayoría de las semillas de *Lolium multiflorum* perdieron su viabilidad cuando se quema el cor-

dón de paja que deja la cosechadora. En estudios realizados en Navarra, por lo contrario, lo que se observó fue una rotura de dormición después del paso del fuego, lo cual favoreció la emergencia adelantada de *A. sterilis*, *L. rigidum*, *Veronica* spp. y *Sinapis arvensis* (Lezaun et al., 2017). En un ensayo de simulación se confirmó la pérdida de dormición tras exponer semillas de *A. sterilis ludoviciana* a calor por llama durante diferentes períodos de tiempo (Garnica et al., 2019). Por lo tanto, dependiendo de la temperatura alcanzada, muchas semillas o bien acaban muriendo o bien rompen la dormición, por lo que en ese caso habría que estar atentos a dichas emergencias y eliminar esa cohorte posteriormente con medios mecánicos y/o químicos. Uno de los técnicos consultados considera que la reducción de la práctica de la quema de rastrojos puede haber favorecido la expansión de *L. rigidum* y de *Bromus* spp. pero sin llegar a ser determinante.

Cambios sociales y climáticos

Los motivos del aumento de superficie gestionada por cada agricultor son probablemente la mecanización y los estrechos márgenes de beneficio. En cifras globales, desde 2009 a 2020 la superficie media por explotación ha aumentado un 7,4 % en España (INE, 2020), confirmando los comentarios de las personas encuestadas. Curiosamente no se han recogido comentarios relacionados con la avanzada edad de muchos agricultores, lo cual seguramente también ha conducido a la concentración de las tierras en los pocos agricultores más jóvenes en activo. En algunas zonas se ha constatado que la mayoría de los agricultores a tiempo parcial trabajan, además, en sectores ajenos al agropecuario como en el sector servicios o industrial. También los incrementos en temperaturas y cambios en los regímenes pluviométricos se ven reflejados en los datos oficiales (Tabla 2).

Futuros trabajos

Estos resultados pueden orientar los trabajos de análisis de los resultados de las prospecciones de malas hierbas en los tres períodos temporales focalizando el estudio no solo en especies concretas sino en otros parámetros. Uno de ellos podría ser el tamaño de las semillas, ya que especies arvenses con semillas de mayor tamaño están por lo general relacionadas con una mayor intensidad de laboreo (o enterrado) y semillas de menor tamaño con la SD o ML (Grundy et al., 2003). El análisis de las fechas de germinación y de floración de las especies arvenses dominantes en los diferentes períodos puede ser también *a priori* interesante, ya que se han producido cambios en los cultivos sembrados (Fried et al., 2015).

Conclusiones

Los principales cambios observados se refieren a una reducción generalizada del laboreo y del pastoreo de los barbechos por ovino sustituidos por el uso de herbicidas en pre y postemergencia. Las consecuencias son un incremento en especies poáceas y la aparición de resistencias a herbicidas en al menos 7 comarcas de Aragón. También se ha reducido la práctica del “año y vez”, a pesar de que las políticas de la PAC propician la inclusión de barbechos y de cultivos más diversificados en la rotación. El coste energético del laboreo con vertedera y la agrupación de la misma superficie de tierras en menos agricultores que se ha producido en las últimas décadas, parecen hacer imposible revertir esta tendencia, por lo que probablemente seguirán cobrando importancia especies arvenses adaptadas al ML o SD.

Por otro lado, se observa una diversificación de los cultivos propiciada por la PAC, lo cual abre posibilidades de uso de otros herbicidas y de métodos de control no químicos, como abonos verdes con leguminosas y cuando las

siembras se produzcan en momentos diferentes al del cereal de invierno (como el girasol). Otro cambio bastante generalizado es el incremento del uso de purines de porcino y, en algunas comarcas, de gallinaza. Posiblemente estos fertilizantes también estén propiciando la proliferación de algunas especies nitrófilas (como *A. sterilis* y *P. rhoeas*) y la disminución de otras menos adaptadas.

En zonas de mayor altitud se sigue labrando con vertedera y los herbicidas se aplican únicamente en postemergencia; en ocasiones también se sigue practicando el “año y vez”. La irregularidad de las precipitaciones, así como las temperaturas más elevadas antes de cosechar están ocasionando la elección de variedades de ciclos más cortos. Probablemente esta situación provocará de nuevo una adaptación y cambios en el manejo agronómico del cereal de invierno en los próximos años.

Agradecimientos

Agradecemos la colaboración de: S. Ambroj, J.L. Angoy, M. Barba, M. Blesa, G. Blesa, C. Cardesa, A. Castán, E.M. Checa, P. Cirujeda, R. Colas, M. Eslava, J.M. Esteban, M. Francés, G. Gimeno, D. Gregorio, G. Herrero, S. Ibáñez, R. Izquierdo, C. de Jaime, F. Jaso, A. Jiménez, J.A. Lample, R. Langa, C. Lapetra, L.M. Lerín, J. Lobera, A. López, V. López, J.I. Martínez, J. Monreal, J. Mur, J. Nocito, L. Ortas, G. Pérez, J. Pérez, M. Portal, C. Sánchez, J.A. Sánchez, M. Sanz, O. Sanz, R. Sanz, J.L. Sariñena, A. Serrano, P. Sopena, J. Torres, J.L. Valenzuela.

Agradecemos a S. Cordeau, G. Fried y G. Adeux por animarnos a realizar este trabajo.

Agradecemos el apoyo del proyecto “Sistemas Agrarios Biodiversos y Resilientes” (BIO-DIVERSA, P22-072), que forma parte del Plan Complementario de I+D+i en el Área de Agroalimentación (programa AGROALNEXT financiado por CITA-GA y MCIN con fondos de la Unión Europea Next Generation EU (PRTR-C17.I1)).

Referencias bibliográficas

- Adeux G., Vieren E., Carlesi S., Bàrberi P., Munier-Jolain N., Cordeau S. (2019). Mitigating crop yield losses through weed diversity. *Nature Sustainability* 2: 1018-1026. <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0415-y>
- Álvaro-Fuentes J., López M.V., Cantero-Martínez C., Gracia R., Arrúe, J.L. (2006). No-tillage, soil organic matter and soil structure: Relationships and implications. *Options méditerranéennes Serie A* 69: 149-153.
- Cai Z., Wang B., Xu M., Zhang H., He X., Zhang L., Gao S. (2015). Intensified soil acidification from chemical N fertilization and prevention by manure in an 18-year field experiment in the red soil of southern China. *Journal of Soils and Sediments* 15: 260-270. <https://doi.org/10.1007/s11368-014-0989-y>
- Arshad M.A., Schnitzer M., Angers D.A., Ripmeester J.A. (1990) Effects of till vs no-till on the quality of soil organic matter. *Soil Biology and Biochemistry* 22(5): 595-599. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(90\)90003-I](https://doi.org/10.1016/0038-0717(90)90003-I).
- Cirujeda A., Aibar J., Zaragoza C. (2011). Remarkable changes of weed species in Spanish cereal fields from 1976 to 2007. *Agronomy for Sustainable Development* 31: 675-688. <https://doi.org/10.1007/s13593-011-0030-4>.
- Clark E., Pinilla V. (2009). Del atraso a la modernización: la evolución de la producción agraria en Aragón, 1936-1986. Fundación Economía Aragonesa, documento de trabajo 52/2009. Disponible en: https://www.aragon.es/documents/20127/674325/Documento_trabajo_52.pdf/cbc9b675-151e-a98b-6563-af54e029921c. (Consultado: 20/02/2024).
- Centro de Sanidad Vegetal (CSV) (1995). Principales problemas de malas hierbas y herbicidas planteados durante 1994 en Aragón. XIV Reunión del Grupo de Trabajo de "Malas Hierbas y Herbicidas" de las CCAA, Sevilla, España.
- Centro de Sanidad Vegetal (CSV) (2005). Principales problemas de malas hierbas y herbicidas planteados durante 2004 en Aragón. XXIV Reunión del Grupo de Trabajo de "Malas Hierbas y Herbicidas" de las CCAA, Aranjuez, España, 8R.
- ESYRCE (2024). Encuesta sobre Superficies y Rendimientos Cultivos (ESYRCE): resultados de años anteriores. Disponible en: <https://www.mapa.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticas-agrarias/agricultura/esyrce/resultados-de-anos-anteriores/> (Consultado: 20/02/2024).
- Fried G., Chauvel B., Reboud X. (2015). Weed flora shifts and specialisation in winter oilseed rape in France. *Weed Research* 55: 514-524. <https://doi.org/10.1111/wre.12164>.
- García-Torres L., Fernández-Quintanilla C. (1991) Fundamentos sobre malas hierbas y herbicidas. Cap. VI, página 111. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación y Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, España. 348 pp.
- Garnica I., Lezáun J.A., Segura A., Goñi J. (2019). ¿El efecto del fuego puede romper la latencia de las semillas de avena loca (*Avena sterilis ludoviciana* (Durieu) Nyman)? Actas del XVII Congreso de la Sociedad Española de Malherbología, 8-10 de octubre de 2019, Vigo, España. pp. 144-149.
- Gobierno de Aragón (2024). Instituto Aragonés de Estadística (IAEST). Estadísticas de la ganadería. <https://servicios3.aragon.es/iaeaxi/tabla.do?path=/08/01/08/&file=080108A01.px&type=pcaxis&L=0>. (Consultado: 28/02/2024).
- González V. (2018). Las enfermedades de los cereales de invierno en Aragón. Situación actual y perspectivas. Disponible en: https://citare.a.cita-aragon.es/bitstream/10532/4083/1/2018_217.pdf (Consultado: 28/02/2024).
- Grundy A.C., Mead A., Burston S. (2003). Modelling the emergence response of weed seeds to burial depth: Interactions with seed density, weight and shape. *Journal of Applied Ecology* 40: 757-770. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2664.2003.00836.x>
- Güell F., Domingo P. (1978). La flora adventicia de los cereales de invierno en España y el 2-4D. Symposium Mediterráneo de Herbicidas, 6-10 de marzo de 1978, Madrid, España. Tomo II, pp. 24-41.
- Gutiérrez M. (2023). Orientaciones varietales para las siembras de cereales en Aragón. Transfereencia de resultados. Cosecha 2023. Informaciones Técnicas nº 288. Departamento de Agricultura, Ganadería y Alimentación del Gobierno de Aragón, Zaragoza, España. 36 pp.

- Heap (2024). International Herbicide-Resistant Weed Database. Disponible en: <https://www.weedscience.org>. (Consultado: 08/03/2024).
- INE (2020). Nota de prensa del 4 de mayo de 2022. Censo Agrario. Disponible en: <https://www.ine.es/>. (Consultado: 08/03/2024).
- Lezáun J.A., Telletxea-Senosiain N., Garnica I. (2017). Evaluación del efecto de un incendio sobre la emergencia de malas hierbas en una parcela de cereal de invierno en Navarra. Actas del XVI Congreso de la Sociedad Española de Malherbología, 25-27 de octubre de 2017, Pamplona, España. pp. 237-241.
- Liu W., Ma K., Wang X., Wang Z., Negrete-Yankelevich S. (2022) Effects of no-tillage and biologically-based organic fertilizer on soil arbuscular mycorrhizal fungal communities in winter wheat field. *Applied Soil Ecology* 178: 104564. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2022.104564>.
- Loureiro I., Rodríguez-García E., Escorial C., García-Baudin J.M., González-Andújar J.L., Chueca C. (2010). Distribution and frequency of resistance to four herbicide modes of action in *Lolium rigidum* Gaud. accessions randomly collected in winter cereal fields in Spain. *Crop Protection* 29: 1248-1256. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2010.07.005>
- Loureiro I., Escorial C., Hernández-Plaza E., González-Andújar J.L., Chueca M.C. (2017). Current status in herbicide resistance in *Lolium rigidum* in winter cereal fields in Spain: Evolution of resistance 12 years after. *Crop Protection* 102: 10-18. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2017.08.001>.
- Lutman P.J.W., Moss S.R., Cook S., Welham S.J. (2013). A review of the effects of crop agronomy on the management of *Alopecurus myosuroides*. *Weed Research* 53: 299-313. <https://doi.org/10.1111/wre.12024>
- Lyon D.J., Huggins D.R., Spring, J.F. (2016). Windrow burning eliminates Italian ryegrass (*Lolium perenne* ssp. *multiflorum*) seed viability. *Weed Technology* 30: 279-283. <https://doi.org/10.1614/WT-D-15-00118.1>
- Mahajan G., Chauhan B.S. (2021). Seed longevity and seedling emergence behavior of wild oat (*Avena fatua*) and sterile oat (*Avena sterilis* ssp. *ludoviciana*) in response to burial depth in eastern Australia. *Weed Science* 69: 362-371. <https://doi.org/10.1017/wsc.2021.7>
- Mahajan, G., Chauhan, B.S. (2023). *Avena sterilis* ssp. *ludoviciana* (Durieu) control in wheat through integration of tillage, seeding rate, and herbicide application. *Gesunde Pflanzen* 75: 2337-2344. <https://doi.org/10.1007/s10343-023-00909-1>.
- MAPA (2023). El sector ovino y caprino de carne en cifras. Principales Indicadores Económicos. Subdirección General de Producciones Ganaderas y Cinegéticas, Dirección General de Producciones y Mercados Agrarios. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. 79 pp.
- MAPA (2024a). Historia de la PAC. Disponible en: <https://www.mapa.gob.es/es/pac/historia-pac/> (consultado: 30/11/2024).
- MAPA (2024b). Registro de Productos Fitosanitarios. Disponible en: <https://www.mapa.gob.es/es/agricultura/temas/sanidad-vegetal/productos-fitosanitarios/registro-productos/> (consultado: 31/11/2024).
- Montull J.M., Bellver J., Llenes J.M. (2023). Control de malas hierbas dicotiledóneas difíciles en cultivo extensivos. *Vida Rural* 543: 10-14.
- Orden de 21 de febrero de 1992 por la que se regula la concesión y pago de la ayuda a la producción de trigo duro, cosecha de 1992. Boletín Oficial del Estado, núm 57, de 6 de marzo de 1992, pp. 7727-7731.
- RAE (2024). Diccionario de la Real Academia de la lengua española. Disponible en: <https://dle.rae.es/diccionario> (Consultado: 17/10/2024)
- Reglamento (CE) 1782/2003 del Consejo, de 29 de septiembre de 2003, por el que se establecen disposiciones comunes aplicables a los regímenes de ayuda directa en el marco de la política agrícola común y se instauran determinados regímenes de ayuda a los agricultores y por el que se modifican los Reglamentos (CEE) n° 2019/93, (CE) n° 1452/2001, (CE) n° 1453/2001, (CE) n° 1454/2001, (CE) n° 1868/94, (CE) n° 1251/1999, (CE) n° 1254/1999, (CE) n° 1673/2000, (CEE) n° 2358/71 y (CE) n° 2529/2001. Diario Oficial de la Unión Europea, núm 270, de 21 de octubre de 2003, pp. 1-69.

- Segarra M.T. (2022). Caracterización actual y descripción de la evolución de la flora arvense en cultivos de cereal de invierno en la provincia de Zaragoza. Proyecto Final de Máster. Máster Universitario en Ciencias Agroambientales y Agroalimentarias, UNED.
- SIAR (2024). Sistema de Información Agroclimática para el Regadío. Disponible en: <https://servicio.mapa.gob.es/websiar/> (Consultado: 17/10/2024).
- SIGPAC (2024). Visor del Sistema de Información Geográfica de Parcelas Agrícolas (SIGPAC). Disponible en: <https://sigpac.mapa.gob.es/fega/visor> (Consultado: 30/11/2024).
- Taberner A., Estruch, F., Senmarti X. (1992a). Balance de 50 años de control de malas hierbas. Punto de vista del agricultor/aplicador. Actas del III Congreso de la Sociedad Española de Malherbología, 1-3 de diciembre de 1992, Lleida, España. pp. 43-48.
- Taberner A., Riba F., Recasens J. (1992b). Effet de la profondeur d'enfouissement et du regime pluviométrique sur la longevité de semences de *Lolium rigidum* Gaud. et *Bromus diandrus* Roth. Proc. IX Colloque International sur la Biologie des Mauvaises Herbes, 16-18 septembre, Dijon, France. pp. 15-24.
- Wang H., Xu J., Liu X., Zhang D., Li L., Li W., Sheng L. (2019). Effects of long-term application of organic fertilizer on improving organic matter content and retarding acidity in red soil from China. Soil and Tillage Research 195: 104382. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104382>
- Zaragoza C., Maillet J. (1976). Flora adventicia en cereales de invierno de la provincia de Zaragoza. VIII Jornadas de Estudio de la Asociación Interprofesional para el Desarrollo Agrario. Zaragoza.

(Aceptado para publicación el 30 de enero de 2025)

Estudio de resistencia a antihelmínticos en explotaciones de ganado ovino del Suroeste de España. Resultados preliminares

Pablo J. Rufino-Moya¹, Rafael Zafra^{1,*}, Lilian Gonçalves-Reis¹, Isabel Acosta-García¹, Álvaro Martínez-Moreno¹, Ángela Salvador-Castaño¹, Diego Ruíz-Di Genova², Almudena Sánchez-Gómez², Francisco García-García² y F. Javier Martínez-Moreno¹

¹ Departamento de Sanidad Animal (Área de Parasitología y Enfermedades Parasitarias), Facultad de Veterinaria, Universidad de Córdoba, Edificio de Sanidad Animal, Campus de Rabanales, Córdoba, 14071, España.

² Departamento de Investigación y Desarrollo de COVAP (Cooperativa Ganadera del Valle de los Pedroches). Pozoblanco, 14400, Córdoba, España.

Resumen

Las infecciones por nematodos gastrointestinales causan pérdidas económicas significativas en las explotaciones de ovino. Su control se basa en el uso de fármacos antihelmínticos, pero su uso indiscriminado acelera el desarrollo de resistencias. El objetivo de este estudio fue evaluar la presencia de resistencias a antihelmínticos en granjas de ovino en el suroeste de España y analizar las prácticas de manejo que pudieran acelerar su aparición. Para ello, se seleccionaron 30 animales en cada una de las 15 explotaciones: Grupo Fenbendazol (n =10), Grupo Moxidectina (n =10) y Grupo Control (n =10). Se recogieron muestras de heces antes de la aplicación de los fármacos (día 0) y a los 15 días post-tratamiento para evaluar la posible presencia de resistencia mediante la prueba de reducción del recuento de huevos en heces (FECRT). También se realizó una encuesta a los ganaderos para conocer sus prácticas de manejo. Los recuentos coprológicos mostraron que 4 explotaciones (26,7 %) presentaban una eficacia reducida al fenbendazol y 1 (6,7 %) una eficacia dudosa. En cuanto a la moxidectina, 1 explotación (6,7 %) mostró una eficacia reducida y 3 (20 %) presentaron una eficacia dudosa. La encuesta reveló que el 93,3 % de las fincas no realizaron análisis coprológicos en el último año y el 100 % optaron por tratar a todo el rebaño en lugar de realizar un tratamiento selectivo. Este estudio pone de manifiesto la presencia de resistencias al fenbendazol y moxidectina en el ovino del suroeste de España y sugiere que ciertas prácticas de manejo pueden promover y acelerar esta resistencia.

Palabras clave: Benzimidazoles, lactonas macrocíclicas, fenbendazol, moxidectina, prueba de reducción del recuento de huevos en heces, encuesta.

* Autor para correspondencia: v62zafle@uco.es

Cita del artículo: Rufino-Moya P.J., Zafra-Leva R., Gonçalves-Reis L., Acosta-García I., Martínez-Moreno A., Salvador A., Ruíz-Di Genova D., Sánchez-Gómez A., García-García F., Martínez-Moreno F.J. (2025). Estudio de resistencia a antihelmínticos en explotaciones de ganado ovino del Suroeste de España. Resultados preliminares. ITEA-Información Técnica Económica Agraria 121(2): 136-151. <https://doi.org/10.12706/itea.2024.019>



Copyright: © 2025 de los autores. Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la licencia de uso y distribución Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY NC SA 4.0)

Study of anthelmintic resistance in sheep farms in southwestern Spain. Preliminary results

Abstract

Gastrointestinal nematode infections cause significant economic losses in sheep farms. Their control is based on use of antihelminthic drugs, but their indiscriminate use accelerates the development of resistance. The objective of this study was to evaluate the presence of resistance to antihelminthics in sheep flocks in Southwestern Spain and to assess management practices that might accelerate its occurrence. For this purpose, 30 animals were selected in each of the 15 farms: Fenbendazole group (n =10), Moxidectin group (n =10) and Control group (n =10). Fecal samples were collected before the application of the drugs (day 0) and 15 days post-treatment to evaluate potential resistance through the fecal egg count reduction test (FECRT). A survey was also conducted with farmers to understand their management practices. The coprological counts showed 4 farms (26.7 %) with reduced efficacy to fenbendazole and 1 (6.7 %) with doubtful efficacy. Regarding moxidectin, 1 farm (6.7 %) showed reduced efficacy and 3 (20 %) presented doubtful efficacy. The survey revealed that 93.3 % of the farms did not perform coprological analysis in the last year, and 100 % opted for treating the entire flock rather than selective treatment. This study highlights the presence of resistance to fenbendazole and moxidectin in sheep in Southwestern Spain and suggests that certain management practices may promote and accelerate this resistance.

Keywords: Benzimidazoles, macrocyclic lactones, fenbendazole, moxidectine, fecal egg count reduction test, survey.

Introducción

La producción de ganado ovino en España es muy importante. De hecho, España es el primer país en censo y en producción de carne de ovino de toda la Unión Europea. Además, el 56 % de toda la cabaña ovina española se encuentra en Suroeste del país, englobando las comunidades de Andalucía, Extremadura y Castilla-La Mancha (MAPA, 2023). Sin embargo, la rentabilidad de las explotaciones puede verse mermada por las infecciones parasitarias producidas por nematodos gastrointestinales (NGI) que provocan pérdidas económicas directas e indirectas debido a bajada de las producciones e incremento de los gastos en alimentación y en medicamentos (Mavrot et al., 2015; Charlier et al., 2020). La principal medida de control para contrarrestar este problema ha sido el tratamiento con fármacos antihelmínticos, que usados de manera descontrolada e indiscriminada aceleran la aparición de resistencias a antihelmínticos (RA) (Hoste et al., 2011; Martínez-Valladares et al., 2015). La

prueba de reducción del recuento de huevos en heces o FECRT (del inglés "Fecal Egg Count Reduction Test") es la principal prueba *in vivo* recomendada por la Asociación Mundial para el Avance de la Parasitología Veterinaria (World Association for the Advancement of Veterinary Parasitology, WAAVP) para el estudio de la RA por ser sencilla, barata y no invasiva (Kaplan et al., 2023).

El primer trabajo que abordó la RA en NGI de pequeños rumiantes en España fue realizado en León por Rojo-Vázquez y Martínez-Fernández (1993), quienes describieron una sospecha de resistencia a benzimidazoles en rebaños de ganado ovino tratados 2-3 veces al año. Sin embargo, no fue hasta 1997 cuando se confirmó un caso de resistencia al netobimín en ganado caprino de Asturias (Requejo-Fernández et al., 1997). A partir del 2000, el número de estudios aumentó debido a la preocupación y a la problemática existente por la falta de eficacia de los fármacos sobre los NGI en el ganado ovino, describiéndose resistencia a distintos principios activos en diferentes áreas de España, aunque la mayoría

de los estudios se han desarrollado en áreas del norte peninsular. Respecto al estudio de RA a los benzimidazoles, se ha encontrado presencia de resistencia al albendazol en Castilla y León. En un estudio realizado entre 1999 y 2003 se detectó la presencia de resistencia en un 12,7 % de los rebaños estudiados mediante FECRT (Álvarez-Sánchez et al., 2006). En este sentido, otro estudio realizado entre 2006-2011 determinó la presencia de resistencia en un 13,6 % de los rebaños muestreados mediante FECRT en las provincias de Zamora y León (Martínez-Valladares et al., 2013). Sin embargo, un estudio llevado a cabo posteriormente (2011-2012) en el mismo área, reveló un aumento significativo, con un 30 % de las explotaciones resistentes al albendazol mediante FECRT (Martínez-Valladares et al., 2015). Más recientemente, en el último estudio realizado en esta área (2015-2016) se detectó una resistencia al albendazol del 35 % mediante FECRT (Martínez-Valladares et al., 2020). En Galicia, Díez-Baños et al. (2008) también encontraron presencia de RA al albendazol en el 15 % en los rebaños analizados mediante FECRT entre 2002 y 2003. En cuanto al grupo de las lactonas macrocíclicas, se ha evaluado la resistencia a la ivermectina en Castilla y León obteniendo una falta de eficacia en el 15,7 % (Álvarez-Sánchez et al., 2006); 27,3 % (Martínez-Valladares et al., 2013) y 75 % (Martínez-Valladares et al., 2015) de los rebaños estudiados. Otro principio activo evaluado en trabajos anteriores ha sido la moxidectina, alcanzándose un porcentaje de presencia de resistencia del 25 % en Castilla y León (Martínez-Valladares et al., 2015) y del 5 % en Galicia (Díez-Baños et al., 2008) en los rebaños evaluados. En algunas ocasiones se han descrito rebaños que presentaban multiresistencia a diferentes principios activos contra los NGL. En Castilla y León, Martínez-Valladares et al. (2013) encontraron que el 4,5 % de los rebaños ovinos presentaban resistencia

al albendazol+levamisol+ivermectina. En la misma región, Martínez-Valladares et al. (2015) señalaron que en el 50 % de los rebaños estudiados se observó multiresistencia a varios fármacos, siendo un 10 % resistente a todos los fármacos evaluados (albendazol+levamisol+ivermectina+moxidectina).

El desarrollo de RA está influenciado por las medidas sanitarias y de manejo que se llevan a cabo en la explotación, tales como la introducción de nuevos individuos en el rebaño, la frecuencia de tratamientos, la dosificación, la rotación de parcelas de pastoreo, la alternancia de productos farmacológicos o el tamaño de la población de NGL *in refugia* (Silvestre et al., 2002; Valcárcel et al., 2013; Fissiha y Kinde, 2021). De estos, los principales factores responsables del desarrollo de RA son: tratamientos demasiado frecuentes, subdosificación de antihelmínticos, falta de rotación de principios activos y el tamaño poblacional de los parásitos *in refugia* (Chartier et al., 1998; Jabbar et al., 2006; Sargison et al., 2007). Además, la RA puede estar influenciada por la convivencia de ovino y caprino, ya que este último metaboliza los antihelmínticos de manera más rápida. Por tanto, aplicaciones a dosis recomendadas para ovino podrían ser insuficientes y promover la aparición de RA, por lo que se sugiere que se traten con 1,5 o 2 veces la dosis recomendada para ovino (Requejo-Fernández et al., 1997; Hoste et al., 2011; Zanzani et al., 2014).

En este contexto, el objetivo de este estudio fue evaluar la presencia de resistencia a benzimidazoles y lactonas macrocíclicas en rebaños de ovino de aptitud cárnica del Suroeste de España mediante FECRT. Además, con la información recopilada mediante una encuesta se pretendió detectar qué medidas de manejo y sanitarias podrían estar implicadas en la aparición de casos de RA en explotaciones del área de estudio.

Material y métodos

Selección de las explotaciones

La selección de las explotaciones se hizo en base al estudio previo realizado por Rufino-Moya et al. (2024), donde se llevaron a cabo encuestas y análisis coprológicos en 159 explotaciones de ovino entre los meses de abril y mayo de 2021. Este estudio se desarrolló en el suroeste de España, participando explotaciones pertenecientes a la Cooperativa Ganadera del Valle de los Pedroches (COVAP) y procedentes de las provincias de Córdoba, Badajoz y Ciudad Real. Se seleccionaron 15 de las explotaciones participantes (Figura 1) en base a su carga parasitaria de NGI y a la predisposición de sus ganaderos para participar. Todas las explotaciones seleccionadas fueron de ganado ovino de aptitud cárnica con régimen en extensivo, sin contacto con ganado caprino, y alimentadas con pasto y concentrado. El censo medio de las explotaciones fue de $612,5 \pm 274,9$ con un rango de 114 a 1146 animales por explotación.

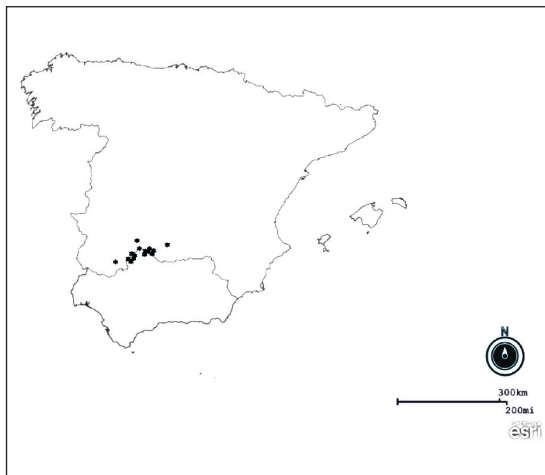


Figura 1. Mapa de localización de las explotaciones muestreadas (n=15). Mapa creado con Epi Info® v. 7.2.6.0.

Figure 1. Map of the sampled farms (n=15). Map created with Epi Info® v. 7.2.6.0

Selección de los animales

En el mes de noviembre de 2021 se realizó la selección del número de animales de acuerdo a Kaplan (2020). De cada una de las 15 granjas se seleccionaron 30 ovejas adultas no lactantes y se dividieron de manera equitativa en 3 grupos: un grupo de animales (Grupo Fenbendazol) tratados con fenbendazol (n=10), un segundo grupo (Grupo Moxidectina) tratado con moxidectina (n=10), y por último, un tercer grupo de animales (Grupo Control) que no recibieron ningún tipo de tratamiento (n=10). Estos animales tuvieron como requisito no estar tratados con antihelmínticos dentro de los 3 meses anteriores al presente estudio.

Selección de antihelmínticos

En el caso de los benzimidazoles se decidió usar fenbendazol como principio activo debido a su alta efectividad previa y a ser un producto comúnmente administrado en la zona de estudio. Además este principio ya se ha usado en otros estudios de resistencia en pequeños rumiantes (Singh et al., 2017; Lambert et al., 2019b; Antunes et al., 2022; Krücken et al., 2024). Para evaluar la resistencia a las lactonas macrocíclicas se usó la moxidectina debido a su largo periodo de acción. A esto hay que sumar que, dicho principio activo ya se ha usado en estudios previos en España (Díez-Baños et al., 2008; Martínez-Valladares et al., 2015).

Prueba de reducción del recuento de huevos en heces (FECRT)

Se recogieron muestras fecales del recto de los 30 animales seleccionados de cada explotación a día 0 (antes del tratamiento) y a los 15 días post-tratamiento. El mismo día 0 se trataron los animales del grupo Fenbendazol (n=10) con fenbendazol (Panacur®, 25 mg/ml, 10 mg

de fenbendazol/kg p.v. en dosis única; MSD Animal Health S.r.l) y a los del grupo Moxidectina (n =10) con moxidectina (Cydectin® Larga Acción 20 mg/ml; 1 mg moxidectina/kg p.v. en una dosis; Zoetis Manufacturing & Research Spain, S.L), dejando al grupo Control (n =10) sin tratamiento.

Análisis parasitológico

Todas las muestras fecales fueron frescas y recogidas directamente del recto. Una vez recogidas se enviaron a Área de Parasitología del Departamento de Sanidad Animal de la Universidad de Córdoba (España) y se conservaron en refrigeración a 4 °C hasta su análisis. Se analizaron 900 muestras obtenidas del muestreo previo y posterior al tratamiento mediante una técnica modificada de McMaster (MAFF, 1986), que permite expresar los resultados en huevos por gramo de heces (HPG) y ofrece una sensibilidad analítica de 50 HPG. Para ello, se analizaron 3 g heces, utilizando solución de flotación de sulfato de zinc (Panreac®, Barcelona, España) con una densidad de 1,35.

Encuesta

La encuesta estuvo compuesta por 21 preguntas cerradas que se clasificaron en tres secciones. La primera sección estuvo relacionada con datos generales sobre la explotación (localización, tamaño del rebaño, especies animales y tipo de producción). La segunda sección se refería a cuestiones relacionadas con el manejo de la explotación (manejo de los pastos, tipo de alimentación y nueva entrada de animales). Por último, la tercera sección estaba relacionada con las infecciones parasitarias y el uso de antihelmínticos (frecuencia de análisis coprológicos, frecuencia y estrategia de desparasitación, rotación de princi-

pios activos, asesoramiento veterinario y sospechas de resistencia a los antihelmínticos). A partir de las respuestas de esta encuesta, también se intentó identificar las prácticas de manejo que se consideran de riesgo y que podrían estar relacionadas con el desarrollo de RA de acuerdo a lo establecido por Silvestre et al. (2002).

Análisis estadístico

Las respuestas de las encuestas se recogieron en una hoja de cálculo usando Microsoft Excel. Los datos obtenidos de las diferentes explotaciones se expresaron como frecuencias, tanto para las preguntas cerradas como las multirrespuesta, siendo expresados los resultados como porcentaje en base a la respuesta seleccionada.

Para determinar la posible presencia de RA, el FECR se calculó aplicando un método de análisis binomial negativo desarrollado por Matthew Denwood (COMBAR, 2021). La eficacia del tratamiento antihelmíntico se interpretó de acuerdo con las recomendaciones de la WAAVP (Coles et al., 1992), revisado recientemente por Levecke et al. (2018). De manera que una eficacia reducida del antihelmíntico se da cuando $FECR < 95\%$ y el límite inferior del intervalo de confianza del $95\% < 90\%$; la eficacia sería dudosa cuando $FECR < 95\%$ o el límite inferior del intervalo de confianza del $95\% < 90\%$ y la eficacia sería normal cuando $FECR \geq 95\%$ y el límite inferior del intervalo de confianza del $95\% \geq 90\%$.

Mediante el software estadístico Jamovi v.2.3 (Jamovi Project, 2023) se evaluó la asociación de determinados factores de riesgo con la presencia de RA en las explotaciones mediante un análisis de Odds ratio univariado y bivariado, donde p valor $< 0,05$ fue considerado como estadísticamente significativo.

Resultados

Evaluación de la resistencia a antihelmínticos

En la Tabla 1 se describe la carga parasitaria media para el grupo Control y la carga parasitaria media antes y después para el grupo Fenbendazol. Se observó que el fenbendazol tuvo una eficacia reducida frente a los NGI en 4 de las 15 explotaciones (26,7 %) muestreadas. Además, otra explotación presentó una eficacia dudosa, con que la posible RA podría

ascender hasta el 33,3 % de las explotaciones estudiadas.

En la Tabla 2 se describe la carga parasitaria media para el grupo Control y la carga parasitaria media antes y después para el grupo Moxidectina. Tan solo una explotación presentó una eficacia reducida de la moxidectina frente a los NGI (6,7 %). Sin embargo, 3 explotaciones más presentaron una eficacia dudosa, pudiendo ascender la posible resistencia a moxidectina a un 26,7 % de las explotaciones analizadas.

Tabla 1. Carga parasitaria media, expresada como huevos por gramo (HPG) así como la reducción de huevos en heces (FECR) de cada explotación para los animales tratados con Fenbendazol.
Table 1. Mean parasitic burden, expressed as eggs per gram (EPG), and the faecal eggs count reduction (FECR) for the farms analyzed and treated animals with Fenbendazol.

Granja	CONTROL		FENBENDAZOL		Eficacia (%)	p
	D0	D15	D0	D15		
1	90	65	80	5	93,8	0.267 [†]
2	275	555	150	45	70	<0,001 [*]
3	60	65	25	0	100	–
4	145	255	235	0	100	–
5	30	75	65	0	100	–
6	165	35	190	0	100	–
7	245	80	210	0	100	–
8	160	150	210	0	100	–
9	105	375	115	0	100	–
10	380	80	230	0	100	–
11	175	90	320	0	100	–
12	85	95	90	0	100	–
13	270	155	275	50	81,8	0,003 [*]
14	355	275	245	50	79,6	0,001 [*]
15	135	60	65	45	30,8	<0,001 [*]

†Dudoso. *Eficacia reducida.

Tabla 2. Carga parasitaria media, expresada como huevos por gramo (HPG) así como la reducción de huevos en heces (FECR) de cada explotación para los animales tratados con Moxidectina.

Table 2. Mean parasitic burden, expressed as eggs per gram (EPG), and the faecal eggs count reduction (FECR) for the farms analyzed and treated animals with Moxidectin.

Granja	CONTROL		MOXIDECTINA		Eficacia (%)	p
	D0	D15	D0	D15		
1	90	65	45	0	100	–
2	275	555	220	0	100	–
3	60	65	90	0	100	–
4	145	255	250	5	98	0,09 [†]
5	30	75	40	0	100	–
6	165	35	75	0	100	–
7	245	80	195	0	100	–
8	160	150	100	0	100	–
9	105	375	100	0	100	–
10	380	80	200	0	100	–
11	175	90	135	35	73,1	0,009 [*]
12	85	95	60	0	100	–
13	270	155	495	40	91,9	0,194 [†]
14	355	275	215	15	93	0,238 [†]
15	135	60	60	0	100	–

†Dudoso. *Eficacia reducida.

En la Tabla 3 se muestra la relación de explotaciones que han presentado eficacia reducida o dudosa al fenbenzadól y/o moxidectina. En conjunto, un total de 7 de las 15 explotaciones han mostrado una eficacia reducida o dudosa para al menos uno de los dos productos (46,7 %). Entre ellas, 5 explotaciones han mostrado eficacia reducida (33,3 %) y 4 (26,7 %) eficacia dudosa para alguno de los dos antihelmínticos. Además, cabe destacar que 2 explotaciones (13,3 %) presentaron simultáneamente eficacia reducida al fenbenzadól y eficacia dudosa a la moxidectina.

Encuestas: medidas de manejo y control sanitario

En la Tabla 4 se muestran los resultados de las encuestas realizadas en las explotaciones. Cabe destacar que 93,3 % de los ganaderos consideraron importantes los problemas causados por parásitos, aunque la frecuencia de dichos problemas fue catalogada como baja (46,7 %) o como moderada (53,3 %) sin que se existieran casos de frecuencia alta (0 %). Generalmente, la frecuencia de asesoramiento para el control de los parásitos fue de

Tabla 3. Granjas en las que se ha observado eficacia reducida o dudosa frente al tratamiento con fenbendazol y/o moxidectina.

Table 3. Farms that have shown reduced or inconclusive efficacy against treatment with fenbendazole and/or moxidectin.

Granja	FENBENDAZOL		MOXIDECTINA	
	Eficacia (%)	P	Eficacia (%)	p
1	93,8	0,267 [†]	–	–
2	70	<0,001*	–	–
4	–	–	98	0,09 [†]
11	–	–	73,1	0,009*
13	81,8	0,003*	91,9	0,194 [†]
14	79,6	0,001*	93	0,238 [†]
15	30,8	<0,001*	–	–

[†]Dudoso. *Eficacia reducida.

2 veces al año en la mayoría de las explotaciones (57,20 %); sin embargo, la participación de los veterinarios en los planes de desparasitación solo se dio en el 6,7 % de las explotaciones. La frecuencia de tratamiento tanto en ovino adulto como en cría fue fundamentalmente dos veces al año (86,6 % y 71,9 %, respectivamente), mientras que para las crías se hizo mayoritariamente un tratamiento anual (70 %). El antihelmíntico más usado fueron las lactonas macrocíclicas (92,3 %), seguido del closantel (46,2 %) y los benzimidazoles (30,8 %). La rotación de fármacos se produjo en el 53,8 % de las explotaciones y el tratamiento a todo el lote se hizo en el 100 % de las explotaciones. Respecto a los protocolos de llegada de nuevos animales, sólo el 46,20 % de las explotaciones respetaron los periodos de cuarentena y el 50 % de las explotaciones trataron con antihelmínticos a los animales nuevos. A pesar de lo expuesto anteriormente, solo el 26,7 % de los ganaderos sospecharon que pueden tener fenómenos de RA en su explotación.

El estudio de asociación entre las medidas de manejo y la aparición de fenómenos de resistencia no presentó ningún resultado que fuera significativo estadísticamente ($p > 0,05$), tanto para la resistencia general (estudiando de manera conjunta benzimidazoles y lactonas macrocíclicas) como para benzimidazoles y lactonas macrocíclicas de manera separada.

Discusión

Existen descritos numerosos métodos que permiten evaluar la resistencia a los antihelmínticos: i) pruebas *in vivo* como el FECRT y el test de eficacia controlada (conteo de parásitos en necropsia) ii) pruebas *in vitro* (inhibición de migración larval, pruebas de motilidad, desarrollo larval, alimentación larval y eclosión de huevos) y pruebas moleculares (Coles et al., 1988; Elard et al., 1999; Fissiha y Kinde, 2021). A pesar de su utilidad en investigación, las pruebas *in vitro* y moleculares presentan limitaciones para el diagnóstico

Tabla 4. Resultados de las encuestas realizadas en las explotaciones estudiadas.

Table 4. Survey results from the studied farms.

	n ¹	%
¿Considera importante los parásitos?	15	
Si	14	93,30
No	1	6,70
No lo se	0	0,0
Frecuencia de problemas por parásitos	15	
Baja	7	46,70
Moderada	8	53,30
Alta	0	0,0
¿Realiza al menos una coprología al año?	15	
No	14	93,30
Si	1	6,70
¿Participa el veterinario en la planificación de las desparasitaciones?	15	
Si	1	6,70
No	14	93,30
En el último año, frecuencia de asesoramiento para control de parásitos	14	
Nunca	0	0,0
1	3	21,40
2	8	57,20
>2	3	21,40
En el último año, ¿has tratado a las ovejas adultas?	15	
Nunca	0	0,0
1 vez año	1	6,70
2 veces año	13	86,60
Más de 2 veces año	1	6,70
En el último año, ¿has tratado a las crías?	14	
Nunca	0	0,00
1 vez año	3	21,40
2 veces año	10	71,90
Más de 2 veces año	1	6,70
En el último año, ¿has tratado a los corderos?	10	
Nunca	0	0,0
1 vez año	7	70,00
2 veces año	3	30,00
Más de 2 veces año	0	0,0

Tabla 4. Resultados de las encuestas realizadas en las explotaciones estudiadas (continuación).
 Table 4. Survey results from the studied farms (continuation).

	n ¹	%
En el último año, ¿qué clase de antiparasitario has usado?²	13	
No sé	0	0,0
Ninguno	0	0,0
Benzimidazoles	4	30,80
Lactonas	12	92,30
Clorsulon	0	0,0
Closantel	6	46,20
Levamisol	1	7,70
Nitroxinil	1	7,70
Otros	0	0,0
Si desparasita, ¿realiza rotación de antiparasitario?	13	
Si	7	53,80
No	6	46,20
Sistema de tratamiento	14	
Todo el lote	14	100,00
Individual	0	0,00
Desparasita animales que entran nuevos	12	
Si	6	50,00
No	6	50,00
Traslada a animales a pastos justo después de tratar	15	
No	8	53,30
Si	7	46,70
Sospecha de resistencias	15	
Si	4	26,70
No	11	73,30
No sé	0	0,00
Traslado corderos a pasto tras destete	15	
Si	2	13,30
No	13	86,70
Ovejas nuevas pastan con rebaño	13	
Si	7	53,80
No	6	46,20

¹Los números de la primera línea de cada pregunta indican el número de respuestas a esa pregunta. n puede ser inferior al número total de explotaciones encuestadas debido a preguntas sin respuesta o no aplicables. ²Preguntas con múltiple respuesta.

de RA en granjas. Por ello, el FECRT sigue siendo el método de elección para evaluar la eficacia de los fármacos y diagnosticar resistencia (Kaplan et al., 2023).

En las explotaciones estudiadas se detectaron fenómenos de resistencia a los benzimidazoles (grupo Fenbendazol) como a las lactonas macrocíclicas (grupo Moxidectina). Respecto a los benzimidazoles, el 26,7 % de las explotaciones presentaron resistencia al fenbendazol. La resistencia al fenbendazol no se ha descrito previamente en España, ya que para la evaluación de resistencia a benzimidazoles en España se ha administrado albendazol. En este sentido, el presente resultado tuvo cierta similitud con el estudio más reciente realizado en Castilla y León donde encontraron la presencia de resistencia a albendazol en el 35 % de los rebaños estudiados (Martínez-Valladares et al., 2020). En otras áreas, como Galicia, la presencia de resistencia al albendazol tan solo se detectó en el 15 % de los rebaños analizados (Díez-Baños et al., 2008). Sin embargo, en otros países europeos se ha administrado fenbendazol como principio para estudiar la resistencia a benzimidazoles. En países de la cuenca mediterránea como Portugal, se encontró resistencia al fenbendazol en dos explotaciones con ganado ovino y caprino (Antunes et al., 2022), mientras que no se detectó resistencia al fenbendazol tanto en ovino como caprino en estudios realizados en Italia (Lambertz et al., 2019b y 2019a). En el norte de Europa, Krücken et al. (2024) encontraron que el 77,7 % explotaciones de ovino en Alemania presentaron resistencia al fenbendazol.

Se determinó una sola explotación resistente a la moxidectina, que representó un 6,7 % de las explotaciones analizadas. Este resultado fue similar al 5 % encontrado por Díez-Baños et al. (2008) en Galicia e inferior al 25 % encontrado en León por Martínez-Valladares et al. (2015). Fuera de España, Krücken et al. (2024) encontraron un 69,2 % de explotaciones de ovino con resistencia a la moxidec-

tina en Alemania. Es destacable que en tres explotaciones la eficacia de la moxidectina fue dudosa. Este hecho puede deberse a que el intervalo entre el muestreo pre y post tratamiento fue de 14 días, en lugar de 17 a 21 días como se recomienda para moxidectina (Kaplan et al., 2023). Sin embargo, otros autores (Coles et al., 1992; Kaplan, 2020) indicaron que en estudios donde se comprueben varios principios activos, como es el caso, haya un intervalo entre muestreos de 14 días. Otra razón de la aparición de tantas explotaciones dudosas de resistencia a la moxidectina podría ser la existencia de resistencias cruzadas con la ivermectina, como describió Martínez-Valladares et al. (2015), quienes encontraron que todas las explotaciones resistentes a la moxidectina también lo fueron a la ivermectina, pero no todas las explotaciones resistentes a la ivermectina lo fueron a la moxidectina.

Dos de las explotaciones muestreadas presentaron resistencia al fenbendazol a la vez que fueron dudosas de resistencia a la moxidectina, representando un 13,3 % de las explotaciones estudiadas. La resistencia a benzimidazoles y lactonas macrocíclicas de manera simultánea ya se ha descrito anteriormente. Martínez-Valladares et al. (2013) describieron que un 4,5 % de las explotaciones estudiadas presentaron resistencias simultáneas a albendazol+ivermectina+levamisol (4,5 %). Por otro lado, Martínez-Valladares et al. (2015) encontraron un 10 % de explotaciones con resistencia simultánea a albendazol+moxidectina+ivermectina+levamisol. Además, este mismo estudio también encontró un 10 % de explotaciones resistentes de manera simultánea a la ivermectina y la moxidectina. Fuera de nuestras fronteras, Krücken et al. (2024) describieron que un 62,5 % de las explotaciones fueron resistentes al fenbendazol+moxidectina+ivermectina y que un 12,5 % de las explotaciones fueron resistentes al fenbendazol+ivermectina.

Viendo los resultados de este estudio de manera global, fueron 5 las explotaciones con implicaciones de resistencia a benzimidazoles

y solo una de ellas con resultados dudosos de resistencia. Hay 4 explotaciones que presentaron resistencia a la moxidectina, aunque en 3 de ellas los resultados fueron dudosos. Esto sugiere que los problemas de resistencia son superiores frente a benzimidazoles que frente a moxidectina en el área estudiada. Sin embargo, el uso de lactonas macrocíclicas fue superior (92,3 %) que el uso de benzimidazoles (30,8 %) en las desparasitaciones del último año según los resultados de la presente encuesta. Pero es posible que haya existido un uso excesivo de estos fármacos en años previos como han sugerido estudios realizados en Galicia (Pedreira et al., 2006), y en Andalucía, Extremadura, Castilla y León y Castilla-La Mancha (Rojo-Vázquez y Hosking, 2013), que ponen de manifiesto un mayor uso de benzimidazoles frente a otros fármacos. Otra razón para encontrar un mayor número de explotaciones con resistencia frente a los benzimidazoles que frente a las lactonas macrocíclicas podría ser debido a que los mecanismos para el desarrollo de RA frente a los benzimidazoles es más simple que frente a lactonas macrocíclicas, ya que está bien establecido que la RA frente a los benzimidazoles se desarrolla por una alteración estructural en la proteína β -tubulina, mientras que para las lactonas macrocíclicas hay varias dianas celulares que pueden interferir en la aparición de la RA (Whittaker et al., 2017). Sumado a ello, la moxidectina podría ser más eficaz y reducir los casos de resistencia debido a que esta molécula tiene un mayor tiempo de persistencia de acción antihelmíntica que los benzimidazoles gracias a sus características fisicoquímicas y farmacocinéticas que le confiere un carácter altamente lipofílico (Martínez-Valladares et al., 2012). Además, la aplicación subcutánea de la moxidectina frente a la aplicación oral del fenbendazol podría dar lugar a menos resistencias ya que la administración subcutánea produce mayores concentraciones del fármaco en el plasma para un mayor periodo de

tiempo (Martínez-Valladares et al., 2012). Sin embargo, Leathwick et al. (2020) describieron que la concentración plasmática de ivermectina puede alcanzar concentraciones desiguales en la luz del aparato digestivo dependiendo de la zona de éste, afectando de diferente manera a los diferentes grupos de NGI según su localización, estableciéndose un tipo administración del fármaco más efectiva según la especie parásita a tratar en cada caso.

La asociación entre las medidas de manejo y la presencia de resistencias no fue estadísticamente significativa, quizás debido a un número insuficiente de granjas analizadas y de respuestas recogidas. Sin embargo, la encuesta realizada pone de manifiesto que en las explotaciones evaluadas se llevaron a cabo medidas que, a priori, favorecen y aceleran la aparición de casos de RA de acuerdo con lo indicado en estudios previos (Silvestre et al., 2002; Valcárcel et al., 2013; Fissiha y Kinde, 2021). Además de llevarse a cabo medidas desaconsejadas para evitar la RA, dichas medidas se dan en un alto porcentaje de explotaciones. Se realizaron prácticas que tienen un riesgo alto de promover el desarrollo de RA según Valcárcel et al. (2013), como no desparasitar el ganado nuevo que entra a la explotación (50 %), tratar más de dos veces al año (6,7 %), no rotar antihelmínticos (46,22 %) o que el veterinario no participe en la planificación. La aplicación de dos tratamientos al año (86,6 %) podría conllevar a un riesgo intermedio para el desarrollo de RA, mientras que los regímenes de explotación en extensivo (100 %) permiten un riesgo bajo para el desarrollo de RA de acuerdo con Silvestre et al. (2002). El tratamiento a individuos hospedadores concretos en lugar del tratamiento de todo el rebaño es una medida que evita el desarrollo de RA (Silvestre et al., 2002; Fissiha y Kinde, 2021; Charlier et al., 2022). Sin embargo, tan solo el 6,7 % de las explotaciones hicieron análisis coprológico y todas realizaron tratamientos al rebaño completo.

Conclusiones

Los resultados obtenidos ponen de manifiesto la existencia de resistencia a fenbendazol y moxidectina mediante la prueba de reducción del recuento de huevos en heces (FECRT) en explotaciones ovinas en el suroeste de España, con mayor importancia en el caso del fenbendazol. Al mismo tiempo, las prácticas sanitarias y de manejo que se están llevando a cabo, como la omisión de análisis coprológicos, la falta de rotación de fármacos antihelmínticos, la ausencia de supervisión veterinaria y la desparasitación de todo el rebaño, podrían contribuir significativamente al desarrollo de resistencia a antihelmínticos. Por tanto, se debería seguir investigando la posible aparición de más casos de resistencia a antihelmínticos aumentando el número de explotaciones y el número de fármacos a evaluar, ajustando adecuadamente el tiempo entre los muestreos de pre y post tratamiento. Además, sería recomendable, a la vista de los resultados de la encuesta, concienciar a los ganaderos para implementar las medidas correctas que eviten que se acelere el desarrollo de casos de RA en su explotación.

Agradecimientos

Este estudio fue financiado por la Consejería de Economía, Conocimiento, Empresas y Universidad de la Junta de Andalucía mediante la concesión del Proyecto "Resistencia a Antihelmínticos de Nematodos Gastrointestinales en Pequeños Rumiantes: Estrategias Alternativas de Control (1263234-R)".

Los autores desean expresar su más sincero agradecimiento a todos los ganaderos que generosamente participaron en este estudio, así como al personal del Departamento de Investigación y Desarrollo de COVAP.

Referencias bibliográficas

- Álvarez-Sánchez M.A., Pérez-García J., Cruz-Rojo M.A., Rojo-Vázquez F.A. (2006). Anthelmintic resistance in trichostrongylid nematodes of sheep farms in Northwest Spain. *Parasitology Research* 99(1): 78-83. <https://doi.org/10.1007/s00436-006-0130-2>
- Antunes M.I., Lima M.S., Stilwell G., Romeiras M.I., Fragoso L., Madeira De Carvalho L.M. (2022). Anthelmintic efficacy in sheep and goats under different management and deworming systems in the region of Lisbon and Tagus Valley, Portugal. *Pathogens* 11(12): 1457. <https://doi.org/10.3390/pathogens11121457>
- Charlier J., Rinaldi L., Musella V., Ploeger H.W., Chartier C., Vineer H.R., Hinney B., Von Samson-Himmelstjerna G., B cescu B., Mickiewicz M., Mateus T.L., Martinez-Valladares M., Quealy S., Azaiz H., Sekovska B., Akkari H., Petkevicius S., Hektoen L., Höglund J., Morgan E.R., Bartley D.J., Claerebout E. (2020). Initial assessment of the economic burden of major parasitic helminth infections to the ruminant livestock industry in Europe. *Preventive Veterinary Medicine* 182: 105103. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2020.105103>
- Charlier J., Bartley D.J., Sotiraki S., Martinez-Valladares M., Claerebout E., von Samson-Himmelstjerna G., Thamsborg S.M., Hoste H., Morgan E.R., Rinaldi L. (2022). Anthelmintic resistance in ruminants: Challenges and solutions. *Advances in Parasitology* 115: 171-227. <https://doi.org/10.1016/bs.apar.2021.12.002>
- Chartier C., Pors I., Hubert J., Rocheteau D., Benoit C., Bernard N. (1998). Prevalence of anthelmintic resistant nematodes in sheep and goats in Western France. *Small Ruminant Research* 29(1): 33-41. [https://doi.org/10.1016/S0921-4488\(97\)00116-8](https://doi.org/10.1016/S0921-4488(97)00116-8)
- COMBAR. (2021). Faecal egg count reduction test (FECRT) protocol Gastrointestinal nematodes – SHEEP and GOATS. COST-European Cooperation in Science and Technology. Disponible en: https://www.combar-ca.eu/sites/default/files/FECRT_PROTOCOL_sheep_goats_March%202021.pdf (Consultado: 25/03/2024).

- Coles G.C., Tritschler II J.P., Giordano D.J., Laste N.J., Schmidt A.L. (1988). Larval development test for detection of anthelmintic resistant nematodes. *Research in veterinary Science* 45(1): 50-53. [https://doi.org/10.1016/S0034-5288\(18\)30893-2](https://doi.org/10.1016/S0034-5288(18)30893-2)
- Coles G.C., Bauer C., Borgsteede F.H.M., Geerts S., Klei T.R., Taylor M.A., Waller P.J. (1992). World Association for the Advancement of Veterinary Parasitology (W.A.A.V.P.) methods for the detection of anthelmintic resistance in nematodes of veterinary importance. *Veterinary Parasitology* 44(1-2): 35-44. [https://doi.org/10.1016/0304-4017\(92\)90141-U](https://doi.org/10.1016/0304-4017(92)90141-U)
- Díez-Baños P., Pedreira J., Sánchez-Andrade R., Francisco I., Suárez J.L., Díaz P., Panadero R., Arias M., Paineira A., Paz-Silva A., Morondo P. (2008). Field evaluation for anthelmintic-resistant ovine gastrointestinal nematodes by *in vitro* and *in vivo* assays. *Journal of Parasitology* 94(4): 925-928. <https://doi.org/10.1645/GE-1366.1>
- Elard L., Cabaret J., Humbert J.F. (1999). PCR diagnosis of benzimidazole-susceptibility or -resistance in natural populations of the small ruminant parasite, *Teladorsagia circumcincta*. *Veterinary parasitology* 80(3): 231-237. [https://doi.org/10.1016/S0304-4017\(98\)00214-3](https://doi.org/10.1016/S0304-4017(98)00214-3)
- Fissiha W., Kinde M.Z. (2021). Anthelmintic resistance and its mechanism: a review. *Infection and Drug Resistance* 14: 5403-5410. <https://doi.org/10.2147/IDR.S332378>
- Hoste H., Sotiraki S., De Jesús Torres-Acosta J.F. (2011). Control of endoparasitic nematode infections in goats. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice* 27(1): 163-173. <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2010.10.008>
- Jabbar A., Iqbal Z., Kerboeuf D., Muhammad G., Khan M.N., Afaq M. (2006). Anthelmintic resistance: The state of play revisited. *Life Sciences* 79(26): 2413-2431. <https://doi.org/10.1016/j.lfs.2006.08.010>
- Kaplan R.M. (2020). Biology, epidemiology, diagnosis, and management of anthelmintic resistance in gastrointestinal nematodes of livestock. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice* 36(1): 17-30. <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2019.12.001>
- Kaplan R.M., Denwood M.J., Nielsen M.K., Thamsborg S.M., Torgerson P.R., Gilleard J.S., Dobson R.J., Vercruysse J., Levecke B. (2023). World Association for the Advancement of Veterinary Parasitology (W.A.A.V.P.) guideline for diagnosing anthelmintic resistance using the faecal egg count reduction test in ruminants, horses and swine. *Veterinary Parasitology* 318: 109936. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2023.109936>
- Krücken J., Ehnert P., Fiedler S., Horn F., Helm C.S., Ramünke S., Bartmann T., Kahl A., Neubert A., Weiher W., Daher R., Terhalle W., Klabunde-Negatsch A., Steuber S., Von Samson-Himmelstjerna G. (2024). Faecal egg count reduction tests and nemabiome analysis reveal high frequency of multi-resistant parasites on sheep farms in north-east Germany involving multiple strongyle parasite species. *International Journal for Parasitology: Drugs and Drug Resistance* 25: 100547. <https://doi.org/10.1016/j.ijpddr.2024.100547>
- Jamovi Project (2023). Jamovi (Version 23) [Computer Software] [Internet]. Disponible en: <https://www.jamovi.org> (Consultado: 20/04/2024).
- Lambertz C., Pouloupoulou I., Wuthijaree K., Gauly M. (2019a). Anthelmintic efficacy against gastrointestinal nematodes in goats raised under mountain farming conditions in northern Italy. *BMC Veterinary Research* 15(1): 216. <https://doi.org/10.1186/s12917-019-1968-8>
- Lambertz C., Pouloupoulou I., Wuthijaree K., Gauly M. (2019b). Anthelmintic resistance in gastrointestinal nematodes in sheep raised under mountain farming conditions in Northern Italy. *Veterinary Record Open* 6(1): e000332. <https://doi.org/10.1136/vetreco-2018-000332>
- Leathwick D.M., Miller C.M., Waghorn T.S., Schwendel H., Lifschitz A. (2020). Route of administration influences the concentration of ivermectin reaching nematode parasites in the gastrointestinal tract of cattle. *International Journal for Parasitology: Drugs and Drug Resistance* 14: 152-158. <https://doi.org/10.1016/j.ijpddr.2020.10.006>
- Levecke B., Kaplan R.M., Thamsborg S.M., Torgerson P.R., Vercruysse J., Dobson R.J. (2018). How to improve the standardization and the diagnostic performance of the fecal egg count reduction test? *Veterinary Parasitology* 253: 71-78. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2018.02.004>

- MAFF – Ministry of Agriculture, Fisheries and Food. (1986). Manual of veterinary parasitology laboratory techniques, 3rd edn. GB, London. 160 pp.
- MAPA (2023). Resultados de las Encuestas de Gado Ovino y Caprino 2023. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Disponible en: <https://www.mapa.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticas-agrarias/ganaderia/encuestas-ganaderas/> (Consultato: 15/06/2024).
- Martínez-Valladares M., Famularo M.R., Fernández-Pato N., Cordero-Pérez C., Castañón-Ordóñez L., Rojo-Vázquez F.A. (2012). Characterization of a multidrug resistant *Teladorsagia circumcincta* isolate from Spain. *Parasitology Research* 110(5): 2083-2087. <https://doi.org/10.1007/s00436-011-2753-1>
- Martínez-Valladares M., Martínez-Pérez J.M., Robles-Pérez D., Cordero-Pérez C., Famularo M.R., Fernández-Pato N., Castañón-Ordóñez L., Rojo-Vázquez F.A. (2013). The present status of anthelmintic resistance in gastrointestinal nematode infections of sheep in the northwest of Spain by *in vivo* and *in vitro* techniques. *Veterinary Parasitology* 191(1-2): 177-181. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2012.08.009>
- Martínez-Valladares M., Geurden T., Bartram D.J., Martínez-Pérez J.M., Robles-Pérez D., Bohórquez A., Florez E., Meana A., Rojo-Vázquez F.A. (2015). Resistance of gastrointestinal nematodes to the most commonly used anthelmintics in sheep, cattle and horses in Spain. *Veterinary Parasitology* 211(3-4): 228-233. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2015.05.024>
- Martínez-Valladares M., Valderas-García E., Ganda-segui J., Skuce P., Morrison A., Castilla Gómez de Agüero V., Cambra-Pellejá M., Balaña-Fouce R., Rojo-Vázquez F.A. (2020). *Teladorsagia circumcincta* beta tubulin: the presence of the E198L polymorphism on its own is associated with benzimidazole resistance. *Parasites & vectors* 13: 1-12. <https://doi.org/10.1186/s13071-020-04320-x>
- Mavrot F., Hertzberg H., Torgerson P. (2015). Effect of gastro-intestinal nematode infection on sheep performance: A systematic review and meta-analysis. *Parasites & Vectors* 8(1): 557. <https://doi.org/10.1186/s13071-015-1164-z>
- Pedreira J., Paz-Silva A., Sánchez-Andrade R., Suárez J.L., Arias M., Lomba C., Díaz P., López C., Díez-Baños P., Morondo P. (2006). Prevalences of gastrointestinal parasites in sheep and parasite-control practices in NW Spain. *Preventive Veterinary Medicine* 75(1-2): 56-62. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2006.01.011>
- Requejo-Fernández J.A., Martínez A., Meana A., Rojo-Vázquez F.A., Osoro K., Ortega-Mora L.M. (1997). Anthelmintic resistance in nematode parasites from goats in Spain. *Veterinary Parasitology* 73(1-2): 83-88. [https://doi.org/10.1016/S0304-4017\(97\)00043-5](https://doi.org/10.1016/S0304-4017(97)00043-5)
- Rojo-Vázquez F.A., Martínez-Fernández A.R. (1993). Anthelmintic resistant nematodes in farm animals in Spain. 1993. Anthelmintic resistance in nematodes of farm animals. Proc. of a Seminar Organised for the European Commission, 8-9 November, Brussels, Belgium, pp 115-117.
- Rojo-Vázquez F.A., Hosking B.C. (2013). A telephone survey of internal parasite control practices on sheep farms in Spain. *Veterinary Parasitology* 192(1-3): 166-172. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2012.11.004>
- Rufino-Moya P.J., Zafra Leva R., Gonçalves Reis L., Acosta García I., Ruiz Di Genova D., Sánchez Gómez A., García García F., Martínez-Moreno F.J. (2024). Prevalence of Gastrointestinal Parasites in Small Ruminant Farms in Southern Spain. *Animals* 14(11): 1668. <https://doi.org/10.3390/ani14111668>
- Sargison N.D., Jackson F., Bartley D.J., Wilson D.J., Stenhouse L.J., Penny C.D. (2007). Observations on the emergence of multiple anthelmintic resistance in sheep flocks in the south-east of Scotland. *Veterinary Parasitology* 145(1-2): 65-76. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2006.10.024>
- Silvestre A., Leignel V., Berrag B., Gasnier N., Humbert J.F., Chartier C., Cabaret J. (2002). Sheep and goat nematode resistance to anthelmintics: Pro and cons among breeding management factors. *Veterinary Research* 33(5): 465-480. <https://doi.org/10.1051/vetres:2002033>
- Singh R., Bal M.S., Singla L.D., Kaur P. (2017). Detection of anthelmintic resistance in sheep and goat against fenbendazole by faecal egg count

- reduction test. *Journal of Parasitic Diseases* 41(2): 463-466. <https://doi.org/10.1007/s12639-016-0828-8>
- Valcárcel F., Meana A., Sacristán E., Uriarte J., Calvete C., Calavia R., Martínez Valladares M., Rojo-Vázquez F.A. (2013). Small ruminants farm management practices in Spain and its influence on the development of anthelmintic resistance. *Revista Ibero-Latinoamericana de Parasitología* 72(2): 151-163.
- Whittaker J.H., Carlson S.A., Jones D.E., Brewer M.T. (2017). Molecular mechanisms for anthelmintic resistance in strongyle nematode parasites of veterinary importance. *Journal of Veterinary Pharmacology and Therapeutics* 40(2): 105-115. <https://doi.org/10.1111/jvp.12330>
- Zanzani S.A., Gazzonis A.L., Di Cerbo A., Varady M., Manfredi M.T. (2014). Gastrointestinal nematodes of dairy goats, anthelmintic resistance and practices of parasite control in Northern Italy. *BMC Veterinary Research* 10(1): 114. <https://doi.org/10.1186/1746-6148-10-114>
- (Aceptado para publicación el 11 de diciembre de 2024)

Evaluación de diferentes métodos de castración en *Cavia porcellus*: Impacto en el bienestar animal, reproducción y producción

Erik Sandor Valencia-Kanut^{1,*}, Patricia Katiusca Cumbe-Nacipucha², Sirley Verónica Bautista-Deleg² y Juan Carlos Dominguez-Fernández de Tejerina¹

¹ Universidad de León, Facultad de Veterinaria, León, España.

² Universidad de Guayaquil, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Guayaquil, Ecuador.

Resumen

El objetivo del presente estudio fue evaluar diferentes métodos de castración en *Cavia porcellus* y su impacto en el bienestar animal, reproducción y producción. En la investigación se utilizaron 100 machos enteros de *C. porcellus* distribuidos en 4 tratamientos que fueron el ácido láctico (AL), cloruro de calcio (CC), Innosure® (I) y control (Co). En cada tratamiento se probaron 3 dosis que fueron 0,10 ml 0,15 ml y 0,20 ml, excepto en el control donde se aplicó dosis 0 ml. De tal forma, que se constituyeron 10 grupos de 10 animales cada uno. En cada grupo se evaluaron 11 variables que fueron la ganancia de peso, mortalidad, diámetro testicular, monta sin hembra, monta con hembra, agresiones, letargia, convulsiones, lesiones iatrogénicas, prurito o molestia en el punto de inoculación y vocalizaciones. El tratamiento Innosure presentó un incremento significativo de peso con respecto de AL, CC y Co. Además, todos los tratamientos redujeron el diámetro testicular mientras que en el control se incrementó. En relación con las diversas variables, se detectó que en los grupos donde se presentó una mayor frecuencia o incidencia, fueron siguientes: agresiones en los grupos Co y AL 0,20 ml, prurito en punto de inoculación en AL 0,10 ml, letargia en I 0,15 ml y 0,20 ml, lesiones iatrogénicas en CC 0,10 ml, convulsiones en I 0,20 ml, vocalizaciones en I 0,20 ml, mortalidad en I 0,20 ml, monta con hembra en Co e I 0,20 ml, y monta sin hembra en Co e I 0,20 ml. En conclusión, todos tratamientos indujeron la castración, sin embargo, el I requiere más investigación.

Palabra clave: Inmunocastración, castración química, inyección intra-testicular cloruro de calcio, ácido láctico.

Evaluation of different castration methods in *Cavia porcellus*: Impact on animal welfare, reproduction and production

Abstract

The aim of this study was to evaluate different castration methods in *Cavia porcellus* and their impact on animal welfare, reproduction and production. In the research, 100 whole males of *C. porcellus* were used distributed in 4 treatments that were lactic acid (LA), calcium chloride (CC), Innosure® (I) and con-

* Autor para correspondencia: evalek00@estudiantes.unileon.es

Cita del artículo: Valencia-Kanut E.S., Cumbe-Nacipucha P.K., Deleg S.V.B., Domínguez-Tejerina J.C. (2025). Evaluación de diferentes métodos de castración en *Cavia porcellus*: Impacto en el bienestar animal, reproducción y producción. ITEA-Información Técnica Económica Agraria 121(2): 152-172. <https://doi.org/10.12706/itea.2025.002>



trol (Co). In each treatment, 3 doses were tested, which were 0.10 ml, 0.15 ml and 0.20 ml, except in the control where dose 0 ml was applied. In such a way, 10 groups of 10 animals each were constituted. In each group, 11 variables were evaluated, which were weight gain, mortality, testicular diameter, riding without a female, riding with a female, aggression, lethargy, seizures, iatrogenic lesions, pruritus or discomfort at the point of inoculation, and vocalizations. The Innosure treatment showed a significant weight gain compared to LA, CC and Co. In addition, all treatments reduced testicular diameter while in control it increased. In relation to the various variables, it was detected that in the groups where there was a higher frequency or incidence, they were as follows: aggressions in the Co and AL 0.20 ml groups, pruritus at the point of inoculation in AL 0.10 ml, lethargy in I 0.15 ml and 0.20 ml, iatrogenic lesions in CC 0.10 ml, seizures in I 0.20 ml, vocalizations in I 0.20 ml, mortality in I 0.20 ml, mounts with female in Co and I 0.20 ml, and mounts without female in Co and I 0.20 ml. In conclusion, all treatments induced castration, however, I requires further investigation.

Keyword: Immunocastration, chemical castration, intra-testicular injection calcium chloride, lactic acid.

Introducción

La castración de *Cavia porcellus* Linnaeus de aptitud cárnica es una práctica comúnmente empleada con el objetivo de mejorar la calidad del producto final y optimizar la eficiencia de la explotación. Asimismo, facilita el manejo de los machos, mejora las propiedades organolépticas de la carne, la presentación y la calidad de la canal (Apráez Guerrero et al., 2011). También permite el control de la natalidad dentro del sistema de producción de carne (Aponte et al., 2018).

Así mismo, sobre los efectos de la castración en la producción, también se conocen efectos sobre el comportamiento, tales como la disminución de agresiones, ya que los machos de *C. porcellus* suelen exhibir un comportamiento agresivo como parte de su repertorio conductual (Künzl y Sachser, 1999). Cabe destacar que, durante la etapa productiva de esta especie, se observa un elevado número de agresiones, que podría generar dolor, estrés y lesiones en la carcasa (Vega et al., 2012).

En este sentido, la castración en *C. porcellus* previene la agresividad y los comportamientos sexuales indeseables (Aponte et al., 2018), entre ellos la territorialidad, luchas y el apareamiento fértil, además de patologías escro-

tales y testiculares (Guilmette et al., 2015). Por tanto, en esta especie, la acción de castrar implica una disminución de las hormonas sexuales del macho, lo cual podría reducir las manifestaciones de agresividad (Iburg et al., 2013).

Es por ello que, para limitar la capacidad reproductiva de manera reversible o irreversible en la producción de *C. porcellus* de condición cárnica, existen diferentes métodos de castración, entre ellos los quirúrgicos, químicos e inmunológico (Mohammed y James, 2013; Sen et al., 2017).

Dentro de los métodos quirúrgicos utilizados en la castración de *C. porcellus* para carne, se destaca la extirpación quirúrgica de testículos (Anderson y Froimovitch, 1974; Guilmette et al., 2015; Dunbar et al., 2016). Otro método es el aplastamiento de los testículos, un método ancestral y muy difundido en la región andina, pero que puede resultar doloroso y generador de estrés. También se puede destacar una técnica tradicional utilizada con fines similares a la castración, que consiste en la eliminación manual de las espículas del pene (Rosales Jaramill et al., 2018). En este sentido, los métodos quirúrgicos podrían tener consecuencias negativas tanto para la producción como para el bienestar animal, ya que requieren un mayor tiempo de manipulación de los animales por parte de los

operarios dedicados al proceso, así como un mayor tiempo de recuperación post cirugía.

Por otro lado, el método de castración química se considera una alternativa a la castración quirúrgica, ya que facilita la esterilización masiva sin riesgos postoperatorios (Sen et al., 2017). Los agentes químicos más utilizados son cloruro de cadmio, danazol, glicerol, ácido láctico y cloruro de calcio (CaCl_2). Según Mohammed y James (2013), también se ha utilizado el cloruro férrico, clorhexidina, formalina aceite de semilla de algodón.

La castración química se realiza mediante la administración intratesticular o intraepididimaria de agentes quimioesterilizantes, que provocan la esclerosis de las estructuras testiculares y detienen la espermatogénesis (Lopes y Silva, 2014). Un ejemplo de ello es la administración vía intratesticular de solución salina hipertónica, que puede presentar efectos histo-tóxicos a nivel testicular, con la consecuente reducción de los parámetros reproductivos (Baquerkhani et al., 2024; Gökdal et al., 2023). En este orden de ideas, el cloruro de calcio causa atrofia del túbulo seminífero en machos (Ibrahim et al., 2016).

Por tanto, el método químico puede desempeñar un rol importante en la castración, aunque, en el caso de los animales con testículos de tamaño grande los resultados pueden ser menos satisfactorios que en los animales con testículos de tamaño pequeño. En estos últimos, hay que considerar de manera precisa el volumen de la dosis (Cavaliere, 2017).

Por otra parte, el método inmunológico utilizado en producción animal consiste en la inmunización contra el factor liberador de gonadotropina (GnRF), lo cual es una opción para la castración en animales de granja (Aponte et al., 2018). Ya que, la inhibición de la acción de la GnRF trae como consecuencia una menor producción de la hormona luteinizante (LH) y a su vez un impacto negativo sobre la fisiología testicular, es decir, la limitación en producción de testosterona. Sin

embargo, este método no está ampliamente utilizado para la castración de *C. porcellus*, y además existe una discreta evaluación de su impacto en el bienestar, reproducción y producción de esta especie.

Por todo lo expresado en párrafos anteriores, la práctica de castración plantea preocupaciones en términos de bienestar animal y eficacia de los métodos utilizados. Por ello, se requiere de estudios que permitan la estandarización y viabilidad de los diferentes métodos de castración.

Es por ello que, el presente estudio tiene como objetivo evaluar diferentes métodos de castración en *C. porcellus* y su impacto en el bienestar animal, reproducción y producción, lo que podría aportar mejoras en el bienestar animal y sistemas productivos.

Material y métodos

Animales y condiciones de alojamiento

La investigación se desarrolló durante 4 semanas, en una granja comercial ubicada en recinto de la colonia 10 de agosto de La Troncal, Cañar, Ecuador. Para lo cual, se siguieron las pautas ARRIVE (*Animal Research: Reporting of In Vivo Experiments*) a fin de garantizar la transparencia y calidad de los resultados. Además, se cumplió con las leyes y regulaciones establecidas en las directivas europeas, como la Directiva 2010/63/UE, que establece normas para la protección y el bienestar de los animales utilizados en experimentación científica.

Para el experimento utilizamos 6 hembras adultas y 100 machos enteros de *C. Porcellus* de tipo criollo destetados de 30 días de edad y de diferentes pesos (tabla 1). Los animales fueron distribuidos en 4 jaulas. La dimensión de 3 jaulas fue de $3 \times 1 \times 0,7$ m (longitud $\times$ ancho $\times$ altura, respectivamente). Cada jaula estaba subdividida en 3 compartimen-

tos con capacidad para alojar a 10 animales cada uno, mientras que la cuarta jaula tenía una dimensión $1 \times 1 \times 0,7$ metros con capacidad para alojar a los 10 animales del tratamiento control.

Los animales fueron alimentados con forraje de alfalfa previamente oreada y pienso comercial para la especie, con una composición de proteína cruda (16,0 %), grasa cruda (3,0 %), fibra cruda (6,0 %), ceniza (8,0 %), y humedad (13,0 %). También se les proporcionó agua fresca *ad libitum* cada día del estudio.

Diseño experimental

En este estudio se utilizó un diseño factorial completamente aleatorizado, con tres factores principales (tratamientos, dosis y repeticiones) y un grupo control. Este diseño permite analizar los efectos de los tratamientos, las dosis y las interacciones en el resultado medido.

Se estudiaron cuatro tratamientos: Ácido láctico al 10 % (AL), cloruro de calcio al 10 % (CC) (ambos de laboratorio Cevallos), Inno-sure® (I) (de Zoetis) y un control (Co) sin tratamiento o medicación. Los tratamientos AL, CC e I estaban constituidos por 30 animales cada uno, mientras que el control se conformó con 10 animales. En cada tratamiento se probaron 3 dosis: 0,10 ml, 0,15 ml y 0,20 ml, mientras que el control fue a 0 ml. En este contexto, se conformaron un total de 10 grupos con 10 animales cada uno, que se describen a continuación: AL 0,10 ml; AL 0,15 ml; AL 0,20 ml; CC 0,10 ml; CC 0,15 ml; CC 0,20 ml; I 0,10 ml; I 0,15 ml; I 0,20 ml y Co 0 ml.

En todos los tratamientos y sus diferentes dosis se evaluaron 11 variables distribuidas entre las categorías de bienestar animal, reproducción y producción. En bienestar se consideró las agresiones (Agr), letargia (LT), convulsiones (Con), lesiones iatrogénicas (Li), vocalización (Vo) y prurito en el punto de inoculación (Pr). Por su parte, las variables consi-

deradas en reproducción fueron, monta sin hembra (Msh), monta con hembra (Mch) y el diámetro testicular (Dt) en centímetros (cm). Mientras que, en producción se estudiaron la mortalidad (Mor) y el incremento de peso en gramos (g).

Las variables Agr, LT, Con, Li, Vo, Pr, Msh y Mch, se midieron por medio de una cámara digital de grabación continua, así como en periodos diarios de observación directa de 1 h de duración. Cabe agregar que, para evaluar la variable monta con hembra se incorporaban 2 hembras a cada cubículo durante un periodo de una hora por semana y durante 4 semanas. También, se utilizó una balanza digital y un calibrador para medir el peso y el diámetro testicular, respectivamente.

Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó utilizando el software gratuito Jeffrey's Amazing Statistics Program (JASP) en su versión 0.17.1. Las características descriptivas de la muestra del estudio son presentadas como media $\pm$ desviación estándar. Se comprobó la normalidad de las variables a través de las pruebas de Shapiro-Wilk, y el test de Levene para comprobar la homocedasticidad de las varianzas. Se realizó el ANOVA de un factor para evaluar la diferencia entre medias (Md). Cuando fue necesario, se llevó a cabo la prueba post hoc de Tukey para observar entre qué tratamientos y dosis existían diferencias entre medias. Los tamaños del efecto del ANOVA se expresaron con la omega al cuadrado (ω^2), considerando los valores de $<0,06$ (pequeño); 0,06 a 0,14 (mediano) y $>0,14$ (grande). El tamaño del efecto (ES) d de Cohen se calculó mediante la fórmula $ES = t/\sqrt{n}$. Su interpretación fue: 0,2 (trivial); 0,2 a 0,6 (pequeño); 0,6 a 1,2 (moderado); 1,2 a 2,0 (grande) y $>2,0$ (muy grande). Se utilizó un intervalo de confianza (IC) del 95 % y el nivel de significación se fijó en $p \leq 0,05$.

Resultados

Resultados del Análisis de la varianza

Los resultados del análisis de la varianza lo clasificamos en 4 categorías:

- En primer lugar, se midió la interacción “entre dosis del mismo tratamiento” (A), es decir la interacción entre las 3 dosis de AL (0,10 ml; 0,15 ml y 0,20 ml), todas las dosis de CC (0,10 ml; 0,15 ml y 0,20 ml) y las tres dosis de I (0,10 ml; 0,15 ml y 0,20 ml).
- En segundo lugar, Se estudió la interacción “entre Co vs. cada dosis de cada tratamiento” (B).
- En tercer lugar, la interacción “entre tratamientos sin Co” (C), es decir, entre AL, CC e I.
- En cuarto lugar, en este apartado estadístico, se analizó la interacción “entre dosis iguales de distintos tratamientos” (D), es decir, entre dosis 0,10 ml de AL, CC e I; entre dosis 0,15 ml de AL, CC e I; y entre dosis 0,20 ml de AL, CC e I.

Los datos del análisis de la varianza y estadística descriptiva como la media (Md) y desviación estándar (DE), se muestran en las tablas individuales por variable y numeradas del 2 al 12. Los datos de la frecuencia relativa (Fr), en porcentaje, se representa en la figura 1. Sin embargo, a continuación, se puntualizan de manera textual los resultados con diferencia significativa según variable:

- Agresiones: la categoría B presentó diferencia significativa entre Co y las 3 dosis de AL, las 3 dosis de CC y las 3 dosis de I.
- Convulsiones: en esta variable se observó diferencia significativa en la categoría C. Mientras que, en la categoría D se presentó diferencia significativa entre las dosis tipo 0,20 ml.
- Prurito en punto de inoculación: solo se observó diferencia significativa en la cate-

goría B, específicamente entre Co vs. AL 0,10 ml y 0,15 ml; y entre Co vs. CC 0,10 ml y 0,15 ml.

- Letargia: la diferencia significativa se exhibió en la categoría B, específicamente entre Co vs. AL 0,10 ml y 0,20 ml; entre Co vs. CC 0,20 ml; y entre Co vs. I 0,10 ml, 0,15 ml y 0,20 ml.
- Monta sin hembra: mostro diferencia significativa en la categoría B, especialmente entre Co vs. las tres dosis de AL; entre Co vs. todas las dosis CC, y entre Co vs. I 0,10 ml y 0,20 ml.
- Variable monta con hembra: se presentó diferencia significativa en la categoría B y particularmente en Co vs. AL 0,10 ml, y entre Co y las tres dosis de CC.

Estadística Descriptiva

A continuación, describimos los resultados de la estadística descriptiva, específicamente lo referente a medias y frecuencia relativa, los mismos que están expuestos en las tablas 2-12 y figura 1, respectivamente.

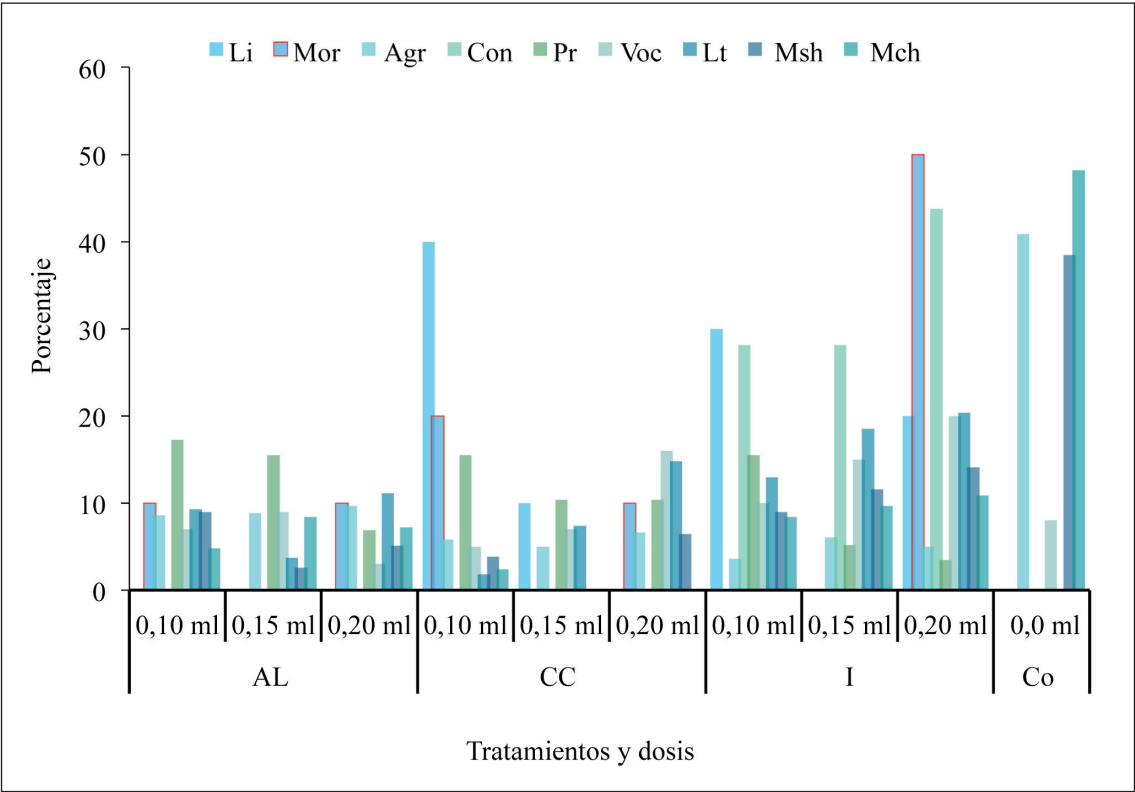
- Agresiones: la media y frecuencia relativa se presentó con mayor incidencia en Co y AL (0,20 ml).
- Prurito en punto de inoculación: se observó que la media y Fr fueron mayores en AL (0,10 ml).
- Letargia: la media y Fr fueron más altas en I (0,15 ml y 0,20 ml).
- Lesiones iatrogénicas: la media y Fr de mayor índice numérico se observó en CC (0,10 ml).
- Convulsiones: solo se presentó en I, y en ese tratamiento la mayor proporción respecto de la media y Fr se exhibió en la dosis I (0,20 ml).
- Vocalizaciones: la media y Fr mayores fueron en I (0,20 ml).

- Mortalidad: la media y Fr fueron más altas en el grupo I (0,20 ml).
- Monta sin hembra y monta con hembra: la media y Fr, en ambas variables, fueron de mayor índice en el Co y tratamiento I (0,20 ml).

Por otro lado, la medición del diámetro testicular entre pre-1 día vs. post-4 semanas, reveló que en el Co se produjo un incremento del diámetro. Por el contrario, en el resto de los tratamientos y diferentes dosis hubo una reducción del diámetro testicular. La mayor reducción se presentó en CC (0,10 ml y

0,15 ml), mientras que la menor reducción se observó en I (0,20 ml). En concreto hubo una diferencia entre AL vs. CC de 0,10 cm, y vs. Co de 0,57 cm. Entre CC e I de 0,36 cm, y vs. Co de 0,47 cm. Así mismo, la diferencia entre I y Co fue de 0,83 cm.

De igual manera, el grupo que más incremento su peso pre- 1 día vs. post-4 semanas fue el I (0,20 ml), mientras que el que registró una menor ganancia de peso fue el AL (0,15 ml). En concreto la diferencia presentada entre I vs. Co fue de 38,09 g; de 49,79 g entre I vs. AL, y entre I y CC fue de 30,84 g.



AL: ácido láctico; CC: cloruro de calcio; I: Innosure; Co: Control; Li: lesiones iatrogénicas; Mor: mortalidad; Agr: agresiones; Con: convulsiones; Pr: prurito en el punto de inoculación; Voc: vocalizaciones; Lt: letargia; Msh: monta sin hembra; Mch: monta con hembra.

Figura 1. Frecuencia relativa/porcentaje de incidencias respecto de variables por tratamientos y dosis.
Figure 1. Relative frequency/percentage of incidences with respect to variables by treatments and doses.

Tabla 1. Peso (gr) de los animales usados en el ensayo, el día previo a realizar cada tratamiento, después de 4 semanas de cada tratamiento e incremento proporcional del peso.

Table 1. Weight (gr) of animals used in the trial, the day before each treatment, after 4 weeks of each treatment and proportional weight gain.

Tratamiento/dosis	Peso 1 día pre-tratamiento	Peso 4 semanas post tratamiento	Incremento proporcional del peso
AL 0,10 ml	456	646	1,42
AL 0,15 ml	462,7	619,7	1,34
AL 0,20 ml	439,3	646,3	1,47
CC 0,10 ml	420,7	604,7	1,44
CC 0,15 ml	383,7	602,3	1,57
CC 0,20 ml	394,3	603,7	1,53
I 0,10 ml	335,3	539,7	1,61
I 0,15 ml	329,7	568,3	1,72
I 0,20 ml	315,3	576,7	1,83
Co 0 ml	300,3	497	1,66

AL: ácido láctico; CC: cloruro de calcio; I: Innosure; Co: Control.

Discusión

En la presente investigación se evaluaron diferentes métodos de castración en *C. porcellus* de aptitud cárnica y su efecto en el bienestar animal, la reproducción y la producción. Para lo cual, se probaron dos métodos químicos y uno inmunológico, consistentes en ácido láctico, cloruro de calcio e Innosure, respectivamente.

El CC (0,15 ml y 0,20 ml) y todas las dosis de I indujeron, de manera significativa, un aumento de peso respecto de Co. Es así que, Sen et al. (2017) indican que la castración química con cloruro de calcio vía intratesticular induce un aumento del peso ($p < 0,001$).

Sin embargo, en AL (0,10 ml y 0,15 ml) y CC (0,10 ml) se observó un menor incremento de peso respecto de Co. De modo que, el menor peso puede deberse a la disminución de la testosterona y el aumento del estradiol (Cohen, 2008; Sen et al., 2017).

Por otro lado, los tratamientos AL, CC e I en todas sus dosis provocaron una reducción significativa del Dt. En este sentido, se ha observado que los *C. porcellus* inmunizados contra GnRF reducen significativamente el Dt (Janett et al., 2009 y 2012; Aponte et al., 2018), Lo cual podría ser producto de una reducción de testosterona, de una degeneración fisiológica testicular (Jana y Samanta, 2007; Aponte et al., 2018) y por un menor flujo de LH.

Así mismo, observamos una reducción significativa del diámetro testicular en los animales tratados con CC vía intratesticular, lo que sugiere que la esterilización se produjo por una reducción importante de testosterona (Canpolat et al., 2006). No obstante, Sen et al. (2017) mencionan que el CC a pesar de producir toxicidad testicular y necrosis de las células germinales no produce la esterilización permanente.

Tabla 2. Estadística inferencial y descriptiva de la variable lesiones iatrogénicas.

Table 2. Inferential and descriptive statistics of the variable iatrogenic lesions.

Interacciones	Tratamientos implicados ⁿ	Valores estadísticos				
		F	P	VcF	Md	DE
Entre dosis del mismo tratamiento	AL (0,10, 0,15 y 0,20ml) ⁿ³	65535	1,000 ¹	3,354	–	–
	CC (0,10, 0,15 y 0,20ml) ⁿ³	2,208	0,129 ¹	3,354	–	–
	I (0,10, 0,15 y 0,20ml) ⁿ³	1,703	0,201 ¹	3,354	–	–
Entre Co vs. cada dosis de cada tratamiento	(Co vs. AL 0,10ml) ⁿ²	65535	1,000 ¹	4,414	–	–
	(Co vs. AL 0,15ml) ⁿ²	65535	1,000 ¹	4,414	–	–
	(Co vs. AL 0,20ml) ⁿ²	65535	1,000 ¹	4,414	–	–
	(Co vs. CC 0,10ml) ⁿ²	3,273	0,087 ¹	4,414	–	–
	(Co vs. CC 0,15ml) ⁿ²	1,000	0,331 ¹	4,414	–	–
	(Co vs. CC 0,20ml) ⁿ²	65535	1,000 ¹	4,414	–	–
	(Co vs. I 0,10ml) ⁿ²	3,857	0,065 ¹	4,414	–	–
	(Co vs. I 0,15ml) ⁿ²	65535	1,000 ¹	4,414	–	–
	(Co vs. I 0,20ml) ⁿ²	2,250	0,151 ¹	4,414	–	–
Entre tratamiento sin Co	(AL, CC, e I) ⁿ⁹	2,045	0,149 ¹	3,354	–	–
Entre todos los tratamientos incluido Co	(AL, CC, I y Co) ⁿ¹⁰	2,727	0,058 ¹	2,866	–	–
Entre dosis iguales de distintos tratamientos	(0,10ml de AL, CC, I) ⁿ³	1,800	0,185 ¹	3,354	–	–
	(0,15ml de AL, CC, I) ⁿ³	1,000	0,381 ¹	3,354	–	–
	(0,20ml de AL, CC, I) ⁿ³	2,250	0,125 ¹	3,354	–	–
Descriptiva por tratamiento según dosis	AL 0,10ml ⁿ¹	–	–	–	0,00	0,00
	AL 0,15ml ⁿ¹	–	–	–	0,00	0,00
	AL 0,20ml ⁿ¹	–	–	–	0,00	0,00
	CC 0,10ml ⁿ¹	–	–	–	0,40	0,70
	CC 0,15ml ⁿ¹	–	–	–	0,10	0,32
	CC 0,20ml ⁿ¹	–	–	–	0,00	0,00
	I 0,10ml ⁿ¹	–	–	–	0,30	0,48
	I 0,15ml ⁿ¹	–	–	–	0,00	0,00
	I 0,20ml ⁿ¹	–	–	–	0,20	0,42
	Co 0ml ⁿ¹	–	–	–	0,00	0,00
Descriptiva por tratamientos	AL ⁿ³	–	–	–	0,00	0,00
	CC ⁿ³	–	–	–	0,17	0,46
	I ⁿ³	–	–	–	0,17	0,38
Descriptiva entre dosis iguales	(0,10ml de AL, CC e I) ⁿ³	–	–	–	0,23	0,48
	(0,15ml de AL, CC e I) ⁿ³	–	–	–	0,03	0,17
	(0,20ml de AL, CC e I) ⁿ³	–	–	–	0,07	0,24

AL: ácido láctico; CC: cloruro de calcio; I: Innosure; Co: Control; F: F de anova; P: Probabilidad; VcF: Valor crítico de F; Md: Media; DE: Desviación estándar; ¹P > 0,05; ²P < 0,05; ⁿ número total de animales intervinientes; ⁿ¹ = 10; ⁿ² = 20; ⁿ³ = 30; ⁿ⁹ = 90; ⁿ¹⁰ = 100.

Tabla 3. Estadística inferencial y descriptiva de la variable agresiones.
 Table 3. Inferential and descriptive statistics of the Aggression variable.

Interacciones	Tratamientos implicados ⁿ	Valores estadísticos				
		F	P	VcF	Md	DE
Entre dosis del mismo tratamiento	AL (0,10, 0,15 y 0,20ml) ⁿ³	0,047	0,954 ¹	3,354	–	–
	CC (0,10, 0,15 y 0,20ml) ⁿ³	0,123	0,884 ¹	3,354	–	–
	I (0,10, 0,15 y 0,20ml) ⁿ³	0,588	0,562 ¹	3,354	–	–
Entre Co vs. cada dosis de cada tratamiento	(Co vs. AL 0,10ml) ⁿ²	12,962	0,002 ²	4,414	–	–
	(Co vs. AL 0,15ml) ⁿ²	11,859	0,003 ²	4,414	–	–
	(Co vs. AL 0,20ml) ⁿ²	12,020	0,003 ²	4,414	–	–
	(Co vs. CC 0,10ml) ⁿ²	15,304	0,001 ²	4,414	–	–
	(Co vs. CC 0,15ml) ⁿ²	16,511	0,001 ²	4,414	–	–
	(Co vs. CC 0,20ml) ⁿ²	13,729	0,002 ²	4,414	–	–
	(Co vs. I 0,10ml) ⁿ²	17,913	0,001 ²	4,414	–	–
	(Co vs. I 0,15ml) ⁿ²	15,544	0,001 ²	4,414	–	–
	(Co vs. I 0,20ml) ⁿ²	16,195	0,001 ²	4,414	–	–
Entre tratamiento sin Co	(AL, CC, e I) ⁿ⁹	1,248	0,303 ¹	3,354	–	–
Entre todos los tratamientos incluido Co	(AL, CC, I y Co) ⁿ¹⁰	3,155	0,036 ²	2,866	–	–
Entre dosis iguales de distintos tratamientos	(0,10ml de AL, CC, I) ⁿ³	1,640	0,213 ¹	3,354	–	–
	(0,15ml de AL, CC, I) ⁿ³	0,777	0,470 ¹	3,354	–	–
	(0,20ml de AL, CC, I) ⁿ³	0,902	0,418 ¹	3,354	–	–
Descriptiva por tratamiento según dosis	AL 0,10ml ⁿ¹	–	–	–	3,10	2,51
	AL 0,15ml ⁿ¹	–	–	–	3,20	3,77
	AL 0,20ml ⁿ¹	–	–	–	3,50	2,64
	CC 0,10ml ⁿ¹	–	–	–	2,10	2,47
	CC 0,15ml ⁿ¹	–	–	–	1,80	1,75
	CC 0,20ml ⁿ¹	–	–	–	2,40	3,57
	I 0,10ml ⁿ¹	–	–	–	1,30	1,57
	I 0,15ml ⁿ¹	–	–	–	2,20	1,69
	I 0,20ml ⁿ¹	–	–	–	1,80	2,25
	Co 0ml ⁿ¹	–	–	–	14,8	9,96
Descriptiva por tratamientos	AL ⁿ³	–	–	–	3,27	2,92
	CC ⁿ³	–	–	–	2,10	2,62
	I ⁿ³	–	–	–	1,77	1,83
Descriptiva entre dosis iguales	(0,10ml de AL, CC e I) ⁿ³	–	–	–	2,17	2,28
	(0,15ml de AL, CC e I) ⁿ³	–	–	–	2,40	2,57
	(0,20ml de AL, CC e I) ⁿ³	–	–	–	2,57	2,86

AL: ácido láctico; CC: cloruro de calcio; I: Innosure; Co: Control; F: F de anova; P: Probabilidad; VcF: Valor crítico de F; Md: Media; DE: Desviación estándar; ¹P > 0,05; ²P < 0,05; ⁿ número total de animales intervinientes; ⁿ¹ = 10; ⁿ² = 20; ⁿ³ = 30; ⁿ⁹ = 90; ⁿ¹⁰ = 100.

Tabla 4. Estadística inferencial y descriptiva de la variable convulsiones.

Table 4. Inferential and descriptive statistics of the Seizures variable.

Interacciones	Tratamientos implicados ⁿ	Valores estadísticos				
		F	P	VcF	Md	DE
Entre dosis del mismo tratamiento	AL (0,10, 0,15 y 0,20ml) ⁿ³	65535	1,000 ¹	3,354	–	–
	CC (0,10, 0,15 y 0,20ml) ⁿ³	65535	1,000 ¹	3,354	–	–
	I (0,10, 0,15 y 0,20ml) ⁿ³	0,220	0,804 ¹	3,354	–	–
Entre Co vs. cada dosis de cada tratamiento	(Co vs. AL 0,10ml) ⁿ²	65535	1,000 ¹	4,414	–	–
	(Co vs. AL 0,15ml) ⁿ²	65535	1,000 ¹	4,414	–	–
	(Co vs. AL 0,20ml) ⁿ²	65535	1,000 ¹	4,414	–	–
	(Co vs. CC 0,10ml) ⁿ²	65535	1,000 ¹	4,414	–	–
	(Co vs. CC 0,15ml) ⁿ²	65535	1,000 ¹	4,414	–	–
	(Co vs. CC 0,20ml) ⁿ²	65535	1,000 ¹	4,414	–	–
	(Co vs. I 0,10ml) ⁿ²	2,9277	0,104 ¹	4,414	–	–
	(Co vs. I 0,15ml) ⁿ²	2,7100	0,117 ¹	4,414	–	–
	(Co vs. I 0,20ml) ⁿ²	3,5000	0,078 ¹	4,414	–	–
Entre tratamiento sin Co	(AL, CC, e I) ⁿ⁹	3,3932	0,048 ²	3,354	–	–
Entre todos los tratamientos incluido Co	(AL, CC, I y Co) ⁿ¹⁰	3,3932	0,028 ²	2,866	–	–
Entre dosis iguales de distintos tratamientos	(0,10ml de AL, CC, I) ⁿ³	2,9277	0,071 ¹	3,354	–	–
	(0,15ml de AL, CC, I) ⁿ³	2,7100	0,085 ¹	3,354	–	–
	(0,20ml de AL, CC, I) ⁿ³	3,5000	0,045 ¹	3,354	–	–
Descriptiva por tratamiento según dosis	AL 0,10ml ⁿ¹	–	–	–	0,00	0,00
	AL 0,1ml ⁿ¹	–	–	–	0,00	0,00
	AL 0,20ml ⁿ¹	–	–	–	0,00	0,00
	CC 0,10ml ⁿ¹	–	–	–	0,00	0,00
	CC 0,15ml ⁿ¹	–	–	–	0,00	0,00
	CC 0,20ml ⁿ¹	–	–	–	0,00	0,00
	I 0,10ml ⁿ¹	–	–	–	0,90	1,66
	I 0,15ml ⁿ¹	–	–	–	0,90	1,73
	I 0,20ml ⁿ¹	–	–	–	1,40	2,37
	Co 0mm ⁿ¹	–	–	–	0,00	0,00
Descriptiva por tratamientos	AL ⁿ³	–	–	–	0,00	0,00
	CC ⁿ³	–	–	–	0,00	0,00
	I ⁿ³	–	–	–	1,07	1,89
Descriptiva entre dosis iguales	(0,10ml de AL, CC e I) ⁿ³	–	–	–	0,30	1,02
	(0,15ml de AL, CC e I) ⁿ³	–	–	–	0,30	1,06
	(0,20ml de AL, CC e I) ⁿ³	–	–	–	0,47	1,48

AL: ácido láctico; CC: cloruro de calcio; I: Innosure; Co: Control; F: F de anova; P: Probabilidad; VcF: Valor crítico de F; Md: Media; DE: Desviación estándar; ¹P > 0,05; ²P < 0,05; ⁿ número total de animales intervinientes; ⁿ¹ = 10; ⁿ² = 20; ⁿ³ = 30; ⁿ⁹ = 90; ⁿ¹⁰ = 100.

Tabla 5. Estadística inferencial y descriptiva de la variable vocalizaciones.

Table 5. Inferential and descriptive statistics of the Vocalizations variable.

Interacciones	Tratamientos implicados ⁿ	Valores estadísticos				
		F	P	VcF	Md	DE
Entre dosis del mismo tratamiento	AL (0,10, 0,15 y 0,20ml) ⁿ³	0,5847	0,5642 ¹	3,3541	–	–
	CC (0,10, 0,15 y 0,20ml) ⁿ³	0,6970	0,5068 ¹	3,3541	–	–
	I (0,10, 0,15 y 0,20ml) ⁿ³	0,5602	0,5776 ¹	3,3541	–	–
Entre Co vs. cada dosis de cada tratamiento	(Co vs. AL 0,10ml) ⁿ²	0,0457	0,8332 ¹	4,4139	–	–
	(Co vs. AL 0,15ml) ⁿ²	0,0261	0,8735 ¹	4,4139	–	–
	(Co vs. AL 0,20ml) ⁿ²	1,9231	0,1825 ¹	4,4139	–	–
	(Co vs. CC 0,10ml) ⁿ²	0,4475	0,5120 ¹	4,4139	–	–
	(Co vs. CC 0,15ml) ⁿ²	0,0508	0,8241 ¹	4,4139	–	–
	(Co vs. CC 0,20ml) ⁿ²	0,4800	0,4973 ¹	4,4139	–	–
	(Co vs. I 0,10ml) ⁿ²	0,1304	0,7222 ¹	4,4139	–	–
	(Co vs. I 0,15ml) ⁿ²	0,9566	0,3410 ¹	4,4139	–	–
	(Co vs. I 0,20ml) ⁿ²	1,8621	0,1892 ¹	4,4139	–	–
Entre tratamiento sin Co	(AL, CC, e I) ⁿ⁹	0,9471	0,4004 ¹	3,3541	–	–
Entre todos los tratamientos incluido Co	(AL, CC, I y Co) ⁿ¹⁰	1,7455	0,1751 ¹	2,8663	–	–
Entre dosis iguales de distintos tratamientos	(0,10ml de AL, CC, I) ⁿ³	0,4014	0,6733 ¹	3,3541	–	–
	(0,15ml de AL, CC, I) ⁿ³	0,6199	0,5455 ¹	3,3541	–	–
	(0,20ml de AL, CC, I) ⁿ³	1,1950	0,5455 ¹	3,3541	–	–
Descriptiva por tratamiento según dosis	AL 0,10ml ⁿ¹	–	–	–	0,7	1,16
	AL 0,15ml ⁿ¹	–	–	–	0,9	1,73
	AL 0,20ml ⁿ¹	–	–	–	0,3	0,67
	CC 0,10ml ⁿ¹	–	–	–	0,5	1,08
	CC 0,15ml ⁿ¹	–	–	–	0,7	1,06
	CC 0,20ml ⁿ¹	–	–	–	1,6	3,53
	I 0,10ml ⁿ¹	–	–	–	1	1,49
	I 0,15ml ⁿ¹	–	–	–	1,5	2,07
	I 0,20ml ⁿ¹	–	–	–	2	2,62
	Co 0ml ⁿ¹	–	–	–	0,8	0,92
Descriptiva por tratamientos	AL ⁿ³	–	–	–	0,63	1,25
	CC ⁿ³	–	–	–	0,93	2,20
	I ⁿ³	–	–	–	1,50	2,08
Descriptiva entre dosis iguales	(0,10ml de AL, CC e I) ⁿ³	–	–	–	0,73	1,23
	(0,15ml de AL, CC e I) ⁿ³	–	–	–	1,03	1,65
	(0,20ml de AL, CC e I) ⁿ³	–	–	–	1,30	2,59

AL: ácido láctico; CC: cloruro de calcio; I: Innosure; Co: Control; F: F de anova; P: Probabilidad; VcF: Valor crítico de F; Md: Media; DE: Desviación estándar; ¹P > 0,05; ²P < 0,05; ⁿ número total de animales intervinientes; ⁿ¹ = 10; ⁿ² = 20; ⁿ³ = 30; ⁿ⁹ = 90; ⁿ¹⁰ = 100.

Tabla 6. Estadística inferencial y descriptiva de la variable prurito en punto de inoculación.
 Table 6. Inferential and descriptive statistics of the variable Pruritus at inoculation point.

Interacciones	Tratamientos implicados ⁿ	Valores estadísticos				
		F	P	VcF	Md	DE
Entre dosis del mismo tratamiento	AL (0,10, 0,15 y 0,20ml) ⁿ³	0,7480	0,483 ¹	3,354	–	–
	CC (0,10, 0,15 y 0,20ml) ⁿ³	0,2555	0,776 ¹	3,354	–	–
	I (0,10, 0,15 y 0,20ml) ⁿ³	1,7124	0,199 ¹	3,354	–	–
Entre Co vs. cada dosis de cada tratamiento	(Co vs. AL 0,10ml) ⁿ²	5,0000	0,038 ²	4,414	–	–
	(Co vs. AL 0,15ml) ⁿ²	4,8926	0,040 ¹	4,414	–	–
	(Co vs. AL 0,20ml) ⁿ²	3,2727	0,087 ¹	4,414	–	–
	(Co vs. CC 0,10ml) ⁿ²	4,8926	0,040 ²	4,414	–	–
	(Co vs. CC 0,15ml) ⁿ²	5,0625	0,037 ²	4,414	–	–
	(Co vs. CC 0,20ml) ⁿ²	3,1154	0,095 ¹	4,414	–	–
	(Co vs. I 0,10ml) ⁿ²	4,3136	0,052 ¹	4,414	–	–
	(Co vs. I 0,15ml) ⁿ²	1,9756	0,177 ¹	4,414	–	–
	(Co vs. I 0,20ml) ⁿ²	2,2500	0,151 ¹	4,414	–	–
Entre tratamiento sin Co	(AL, CC, e I) ⁿ⁹	0,3361	0,717 ¹	3,354	–	–
Entre todos los tratamientos incluido Co	(AL, CC, I y Co) ⁿ¹⁰	2,1739	0,108 ¹	2,866	–	–
Entre dosis iguales de distintos tratamientos	(0,10ml de AL, CC, I) ⁿ³	0,0181	0,982 ¹	3,354	–	–
	(0,15ml de AL, CC, I) ⁿ³	0,9567	0,397 ¹	3,354	–	–
	(0,20ml de AL, CC, I) ⁿ³	0,6585	0,397 ¹	3,354	–	–
Descriptiva por tratamiento según dosis	AL 0,10ml ⁿ¹	–	–	–	1,00	1,41
	AL 0,15ml ⁿ¹	–	–	–	0,90	1,29
	AL 0,20ml ⁿ¹	–	–	–	0,40	0,70
	CC 0,10ml ⁿ¹	–	–	–	0,90	1,29
	CC 0,15ml ⁿ¹	–	–	–	0,60	0,84
	CC 0,20ml ⁿ¹	–	–	–	0,60	1,07
	I 0,10ml ⁿ¹	–	–	–	0,90	1,37
	I 0,15ml ⁿ¹	–	–	–	0,30	0,67
	I 0,20ml ⁿ¹	–	–	–	0,20	0,42
	Co 0ml ⁿ¹	–	–	–	0,00	0,00
Descriptiva por tratamientos	AL ⁿ³	–	–	–	0,77	1,17
	CC ⁿ³	–	–	–	0,70	1,06
	I ⁿ³	–	–	–	0,47	0,94
Descriptiva entre dosis iguales	(0,10ml de AL, CC e I) ⁿ³	–	–	–	0,93	1,31
	(0,15ml de AL, CC e I) ⁿ³	–	–	–	0,60	0,97
	(0,20ml de AL, CC e I) ⁿ³	–	–	–	0,40	0,77

AL: ácido láctico; CC: cloruro de calcio; I: Innosure; Co: Control; F: F de anova; P: Probabilidad; VcF: Valor crítico de F; Md: Media; DE: Desviación estándar; ¹P > 0,05; ²P < 0,05; ⁿ número total de animales intervinientes; ⁿ¹ = 10; ⁿ² = 20; ⁿ³ = 30; ⁿ⁹ = 90; ⁿ¹⁰ = 100.

Tabla 7. Estadística inferencial y descriptiva de la variable letargia.
 Table 7. Inferential and descriptive statistics of the lethargy variable.

Interacciones	Tratamientos implicados ⁿ	Valores estadísticos				
		F	P	VcF	Md	DE
Entre dosis del mismo tratamiento	AL (0,10, 0,15 y 0,20ml) ⁿ³	1,3765	0,2696 ¹	3,3541	–	–
	CC (0,10, 0,15 y 0,20ml) ⁿ³	1,9704	0,1589 ¹	3,3541	–	–
	I (0,10, 0,15 y 0,20ml) ⁿ³	0,2600	0,7730 ¹	3,3541	–	–
Entre Co vs. cada dosis de cada tratamiento	(Co vs. AL 0,10ml) ⁿ²	9,0000	0,0077 ²	4,4139	–	–
	(Co vs. AL 0,15ml) ⁿ²	2,2500	0,1510 ¹	4,4139	–	–
	(Co vs. AL 0,20ml) ⁿ²	7,3636	0,0142 ²	4,4139	–	–
	(Co vs. CC 0,10ml) ⁿ²	1,0000	0,3306 ¹	4,4139	–	–
	(Co vs. CC 0,15ml) ⁿ²	3,2727	0,0872 ¹	4,4139	–	–
	(Co vs. CC 0,20ml) ⁿ²	4,9655	0,0388 ²	4,4139	–	–
	(Co vs. I 0,10ml) ⁿ²	7,2295	0,0150 ²	4,4139	–	–
	(Co vs. I 0,15ml) ⁿ²	5,6250	0,0291 ²	4,4139	–	–
	(Co vs. I 0,20ml) ⁿ²	4,7555	0,0427 ²	4,4139	–	–
Entre tratamiento sin Co	(AL, CC, e I) ⁿ⁹	1,8443	0,1775 ¹	3,3541	–	–
Entre todos los tratamientos incluido Co	(AL, CC, I y Co) ⁿ¹⁰	4,2951	0,0109 ²	2,8663	–	–
Entre dosis iguales de distintos tratamientos	(0,10ml de AL, CC, I) ⁿ³	2,6526	0,0888 ¹	3,3541	–	–
	(0,15ml de AL, CC, I) ⁿ³	2,1273	0,1387 ¹	3,3541	–	–
	(0,20ml de AL, CC, I) ⁿ³	0,4396	0,6488 ¹	3,3541	–	–
Descriptiva por tratamiento según dosis	AL 0,10ml ⁿ¹	–	–	–	0,50	0,53
	AL 0,15ml ⁿ¹	–	–	–	0,20	0,42
	AL 0,20ml ⁿ¹	–	–	–	0,60	0,70
	CC 0,10ml ⁿ¹	–	–	–	0,10	0,32
	CC 0,15ml ⁿ¹	–	–	–	0,40	0,70
	CC 0,20ml ⁿ¹	–	–	–	0,80	1,14
	I 0,10ml ⁿ¹	–	–	–	0,70	0,82
	I 0,15ml ⁿ¹	–	–	–	1,00	1,33
	I 0,20ml ⁿ¹	–	–	–	1,10	1,60
	Co 0ml ⁿ¹	–	–	–	0,00	0,00
Descriptiva por tratamientos	AL ⁿ³	–	–	–	0,43	0,57
	CC ⁿ³	–	–	–	0,43	0,82
	I ⁿ³	–	–	–	0,93	1,26
Descriptiva entre dosis iguales	(0,10ml de AL, CC e I) ⁿ³	–	–	–	0,43	0,63
	(0,15ml de AL, CC e I) ⁿ³	–	–	–	0,53	0,94
	(0,20ml de AL, CC e I) ⁿ³	–	–	–	0,83	1,18

AL: ácido láctico; CC: cloruro de calcio; I: Innosure; Co: Control; F: F de anova; P: Probabilidad; VcF: Valor crítico de F; Md: Media; DE: Desviación estándar; ¹P > 0,05; ²P < 0,05; ⁿ número total de animales intervinientes; ⁿ¹ = 10; ⁿ² = 20; ⁿ³ = 30; ⁿ⁹ = 90; ⁿ¹⁰ = 100.

Tabla 8. Estadística inferencial y descriptiva de la variable monta sin hembra.
 Table 8. Inferential and descriptive statistics of the variable mating without female.

Interacciones	Tratamientos implicados ⁿ	Valores estadísticos				
		F	P	VcF	Md	DE
Entre dosis del mismo tratamiento	AL (0,10, 0,15 y 0,20ml) ⁿ³	0,1461	0,865 ¹	3,354	–	–
	CC (0,10, 0,15 y 0,20ml) ⁿ³	1,6132	0,218 ¹	3,354	–	–
	I (0,10, 0,15 y 0,20ml) ⁿ³	0,1461	0,865 ¹	3,354	–	–
Entre Co vs. cada dosis de cada tratamiento	(Co vs. AL 0,10ml) ⁿ²	6,792	0,018 ²	4,414	–	–
	(Co vs. AL 0,15ml) ⁿ²	11,094	0,004 ²	4,414	–	–
	(Co vs. AL 0,20ml) ⁿ²	9,750	0,006 ²	4,414	–	–
	(Co vs. CC 0,10ml) ⁿ²	10,236	0,005 ²	4,414	–	–
	(Co vs. CC 0,15ml) ⁿ²	13,500	0,002 ²	4,414	–	–
	(Co vs. CC 0,20ml) ⁿ²	8,459	0,009 ²	4,414	–	–
	(Co vs. I 0,10ml) ⁿ²	6,256	0,022 ²	4,414	–	–
	(Co vs. I 0,15ml) ⁿ²	3,784	0,068 ¹	4,414	–	–
	(Co vs. I 0,20ml) ⁿ²	4,457	0,049 ²	4,414	–	–
Entre tratamiento sin Co	(AL, CC, e I) ⁿ⁹	1,441	0,254 ¹	3,354	–	–
Entre todos los tratamientos incluido Co	(AL, CC, I y Co) ⁿ¹⁰	1,692	0,186 ¹	2,866	–	–
Entre dosis iguales de distintos tratamientos	(0,10ml de AL, CC, I) ⁿ³	0,475	0,627 ¹	3,354	–	–
	(0,15ml de AL, CC, I) ⁿ³	1,243	0,304 ¹	3,354	–	–
	(0,20ml de AL, CC, I) ⁿ³	1,775	0,189 ¹	3,354	–	–
Descriptiva por tratamiento según dosis	AL 0,10ml ⁿ¹	–	–	–	0,70	1,06
	AL 0,15ml ⁿ¹	–	–	–	0,20	0,63
	AL 0,20ml ⁿ¹	–	–	–	0,40	0,52
	CC 0,10ml ⁿ¹	–	–	–	0,30	0,67
	CC 0,15ml ⁿ¹	–	–	–	0,00	0,00
	CC 0,20ml ⁿ¹	–	–	–	0,50	0,85
	I 0,10ml ⁿ¹	–	–	–	0,70	1,34
	I 0,15ml ⁿ¹	–	–	–	0,90	2,23
	I 0,20ml ⁿ¹	–	–	–	1,10	1,20
	Co 0ml ⁿ¹	–	–	–	3,00	2,58
Descriptiva por tratamientos	AL ⁿ³	–	–	–	0,43	0,77
	CC ⁿ³	–	–	–	0,27	0,64
	I ⁿ³	–	–	–	0,90	1,60
Descriptiva entre dosis iguales	(0,10ml de AL, CC e I) ⁿ³	–	–	–	0,57	1,04
	(0,15ml de AL, CC e I) ⁿ³	–	–	–	0,37	1,35
	(0,20ml de AL, CC e I) ⁿ³	–	–	–	0,67	0,92

AL: ácido láctico; CC: cloruro de calcio; I: Innosure; Co: Control; F: F de anova; P: Probabilidad; VcF: Valor crítico de F; Md: Media; DE: Desviación estándar; ¹P > 0,05; ²P < 0,05; ⁿ número total de animales intervinientes; ⁿ¹ = 10; ⁿ² = 20; ⁿ³ = 30; ⁿ⁹ = 90; ⁿ¹⁰ = 100.

Tabla 9. Estadística inferencial y descriptiva de la variable monta con hembra.
 Table 9. Inferential and descriptive statistics of the variable mounting with female.

Interacciones	Tratamientos implicados ⁿ	Valores estadísticos				
		F	P	VcF	Md	DE
Entre dosis del mismo tratamiento	AL (0,10, 0,15 y 0,20ml) ⁿ³	0,171	0,844 ¹	3,354	–	–
	CC (0,10, 0,15 y 0,20ml) ⁿ³	1,000	0,381 ¹	3,354	–	–
	I (0,10, 0,15 y 0,20ml) ⁿ³	0,046	0,955 ¹	3,354	–	–
Entre Co vs. cada dosis de cada tratamiento	(Co vs. AL 0,10ml) ⁿ²	4,734	0,043 ²	4,414	–	–
	(Co vs. AL 0,15ml) ⁿ²	3,768	0,068 ¹	4,414	–	–
	(Co vs. AL 0,20ml) ⁿ²	4,155	0,056 ¹	4,414	–	–
	(Co vs. CC 0,10ml) ⁿ²	5,335	0,033 ²	4,414	–	–
	(Co vs. CC 0,15ml) ⁿ²	6,000	0,025 ²	4,414	–	–
	(Co vs. CC 0,20ml) ⁿ²	6,000	0,025 ²	4,414	–	–
	(Co vs. I 0,10ml) ⁿ²	3,711	0,070 ¹	4,414	–	–
	(Co vs. I 0,15ml) ⁿ²	3,606	0,074 ¹	4,414	–	–
	(Co vs. I 0,20ml) ⁿ²	3,341	0,084 ¹	4,414	–	–
Entre tratamiento sin Co	(AL, CC, e I) ⁿ⁹	1,353	0,275 ¹	3,354	–	–
Entre todos los tratamientos incluido Co	(AL, CC, I y Co) ⁿ¹⁰	1,821	0,161 ¹	2,866	–	–
Entre dosis iguales de distintos tratamientos	(0,10ml de AL, CC, I) ⁿ³	0,501	0,611 ¹	3,354	–	–
	(0,15ml de AL, CC, I) ⁿ³	1,437	0,255 ¹	3,354	–	–
	(0,20ml de AL, CC, I) ⁿ³	1,935	0,164 ¹	3,354	–	–
Descriptiva por tratamiento según dosis	AL 0,10ml ⁿ¹	–	–	–	0,40	0,84
	AL 0,15ml ⁿ¹	–	–	–	0,70	1,49
	AL 0,20ml ⁿ¹	–	–	–	0,60	1,07
	CC 0,10ml ⁿ¹	–	–	–	0,20	0,63
	CC 0,15ml ⁿ¹	–	–	–	0,00	0,00
	CC 0,20ml ⁿ¹	–	–	–	0,00	0,00
	I 0,10ml ⁿ¹	–	–	–	0,70	1,64
	I 0,15ml ⁿ¹	–	–	–	0,80	1,32
	I 0,20ml ⁿ¹	–	–	–	0,90	1,45
	Co 0ml ⁿ¹	–	–	–	4,00	5,16
Descriptiva por tratamientos	AL ⁿ³	–	–	–	0,57	1,14
	CC ⁿ³	–	–	–	0,07	0,37
	I ⁿ³	–	–	–	0,80	1,42
Descriptiva entre dosis iguales	(0,10ml de AL, CC e I) ⁿ³	–	–	–	0,43	1,10
	(0,15ml de AL, CC e I) ⁿ³	–	–	–	0,50	1,17
	(0,20ml de AL, CC e I) ⁿ³	–	–	–	0,50	1,07

AL: ácido láctico; CC: cloruro de calcio; I: Innosure; Co: Control; F: F de anova; P: Probabilidad; VcF: Valor crítico de F; Md: Media; DE: Desviación estándar; ¹P > 0,05; ²P < 0,05; ⁿ número total de animales intervinientes; ⁿ¹ = 10; ⁿ² = 20; ⁿ³ = 30; ⁿ⁹ = 90; ⁿ¹⁰ = 100.

Tabla 10. Estadística inferencial y descriptiva de la variable diámetro testicular.
 Table 10. Inferential and descriptive statistics of the variable Testicular diameter.

Interacciones	Tratamientos implicados ⁿ	Valores estadísticos				
		F	P	VcF	Md	DE
Entre dosis del mismo tratamiento	AL (0,10, 0,15 y 0,20ml) ⁿ³	4,875	0,0160 ²	3,354	–	–
	CC (0,10, 0,15 y 0,20ml) ⁿ³	1,400	0,2640 ¹	3,354	–	–
	I (0,10, 0,15 y 0,20ml) ⁿ³	39,426	0,0001 ²	3,354	–	–
Entre Co vs. cada dosis de cada tratamiento	(Co vs. AL 0,10ml) ⁿ²	133,9	0,0001 ²	4,414	–	–
	(Co vs. AL 0,15ml) ⁿ²	108,1	0,0001 ²	4,414	–	–
	(Co vs. AL 0,20ml) ⁿ²	144,9	0,0001 ²	4,414	–	–
	(Co vs. CC 0,10ml) ⁿ²	158,5	0,0001 ²	4,414	–	–
	(Co vs. CC 0,15ml) ⁿ²	72,1	0,0001 ²	4,414	–	–
	(Co vs. CC 0,20ml) ⁿ²	225,3	0,0001 ²	4,414	–	–
	(Co vs. I 0,10ml) ⁿ²	1633,5	0,0001 ²	4,414	–	–
	(Co vs. I 0,15ml) ⁿ²	108,1	0,0001 ²	4,414	–	–
	(Co vs. I 0,20ml) ⁿ²	1094,5	0,0001 ²	4,414	–	–
Entre tratamiento sin Co	(AL, CC, e I) ⁿ⁹	73,627	0,0001 ²	3,354	–	–
Entre todos los tratamientos incluido Co	(AL, CC, I y Co) ⁿ¹⁰	96,591	0,0001 ²	2,866	–	–
Entre dosis iguales de distintos tratamientos	(0,10ml de AL, CC, I) ⁿ³	16,680	0,0001 ²	3,354	–	–
	(0,15ml de AL, CC, I) ⁿ³	5,143	0,0131 ²	3,354	–	–
	(0,20ml de AL, CC, I) ⁿ³	108,38	0,0131 ²	3,354	–	–
Descriptiva por tratamiento según dosis	AL 0,10ml ⁿ¹	–	–	–	0,76	0,13
	AL 0,15ml ⁿ¹	–	–	–	0,56	0,21
	AL 0,20ml ⁿ¹	–	–	–	0,74	0,13
	CC 0,10ml ⁿ¹	–	–	–	0,83	0,09
	CC 0,15ml ⁿ¹	–	–	–	0,80	0,16
	CC 0,20ml ⁿ¹	–	–	–	0,74	0,10
	I 0,10ml ⁿ¹	–	–	–	0,60	0,00
	I 0,15ml ⁿ¹	–	–	–	0,56	0,21
	I 0,20ml ⁿ¹	–	–	–	0,13	0,09
	Co 0ml ⁿ¹	–	–	–	1,26	0,05
Descriptiva por tratamientos	AL ⁿ³	–	–	–	0,69	0,18
	CC ⁿ³	–	–	–	0,79	0,12
	I ⁿ³	–	–	–	0,43	0,25
Descriptiva entre dosis iguales	(0,10ml de AL, CC e I) ⁿ³	–	–	–	0,73	0,13
	(0,15ml de AL, CC e I) ⁿ³	–	–	–	0,64	0,22
	(0,20ml de AL, CC e I) ⁿ³	–	–	–	0,54	0,31

AL: ácido láctico; CC: cloruro de calcio; I: Innosure; Co: Control; F: F de anova; P: Probabilidad; VcF: Valor crítico de F; Md: Media; DE: Desviación estándar; ¹P > 0,05; ²P < 0,05; ⁿ número total de animales intervinientes; ⁿ¹ = 10; ⁿ² = 20; ⁿ³ = 30; ⁿ⁹ = 90; ⁿ¹⁰ = 100.

Tabla 11. Estadística inferencial y descriptiva de la variable mortalidad.

Table 11. Inferential and descriptive statistics of the mortality variable.

Interacciones	Tratamientos implicados ⁿ	Valores estadísticos				
		F	P	VcF	Md	DE
Entre dosis del mismo tratamiento	AL (0,10, 0,15 y 0,20ml) ⁿ³	0,500	0,612 ¹	3,354	–	–
	CC (0,10, 0,15 y 0,20ml) ⁿ³	1,080	0,354 ¹	3,354	–	–
	I (0,10, 0,15 y 0,20ml) ⁿ³	1,552	0,230 ¹	3,354	–	–
Entre Co vs. cada dosis de cada tratamiento	(Co vs. AL 0,10ml) ⁿ²	1,000	0,331 ¹	4,414	–	–
	(Co vs. AL 0,15ml) ⁿ²	65535	1,000 ¹	4,414	–	–
	(Co vs. AL 0,20ml) ⁿ²	1,000	0,331 ¹	4,414	–	–
	(Co vs. CC 0,10ml) ⁿ²	2,250	0,151 ¹	4,414	–	–
	(Co vs. CC 0,15ml) ⁿ²	65535	1,000 ¹	4,414	–	–
	(Co vs. CC 0,20ml) ⁿ²	1,000	0,331 ¹	4,414	–	–
	(Co vs. I 0,10ml) ⁿ²	65535	1,000 ¹	4,414	–	–
	(Co vs. I 0,15ml) ⁿ²	65535	1,000 ¹	4,414	–	–
	(Co vs. I 0,20ml) ⁿ²	1,552	0,229 ¹	4,414	–	–
Entre tratamiento sin Co	(AL, CC, e I) ⁿ⁹	0,312	0,735 ¹	3,354	–	–
Entre todos los tratamientos incluido Co	(AL, CC, I y Co) ⁿ¹⁰	0,772	0,517	2,866	–	–
Entre dosis iguales de distintos tratamientos	(0,10ml de AL, CC, I) ⁿ³	1,080	0,354 ¹	3,354	–	–
	(0,15ml de AL, CC, I) ⁿ³	65535	1,000 ¹	3,354	–	–
	(0,20ml de AL, CC, I) ⁿ³	0,883	0,425 ¹	3,354	–	–
Descriptiva por tratamiento según dosis	AL 0,10ml ⁿ¹	–	–	–	0,10	0,32
	AL 0,15ml ⁿ¹	–	–	–	0,00	0,00
	AL 0,20ml ⁿ¹	–	–	–	0,10	0,32
	CC 0,10ml ⁿ¹	–	–	–	0,20	0,42
	CC 0,15ml ⁿ¹	–	–	–	0,00	0,00
	CC 0,20ml ⁿ¹	–	–	–	0,10	0,32
	I 0,10ml ⁿ¹	–	–	–	0,00	0,00
	I 0,15ml ⁿ¹	–	–	–	0,00	0,00
	I 0,20ml ⁿ¹	–	–	–	0,50	1,27
	Co 0ml ⁿ¹	–	–	–	0,00	0,00
Descriptiva por tratamientos	AL ⁿ³	–	–	–	0,07	0,25
	CC ⁿ³	–	–	–	0,10	0,31
	I ⁿ³	–	–	–	0,17	0,75
Descriptiva entre dosis iguales	(0,10ml de AL, CC e I) ⁿ³	–	–	–	0,10	0,29
	(0,15ml de AL, CC e I) ⁿ³	–	–	–	0,00	0,00
	(0,20ml de AL, CC e I) ⁿ³	–	–	–	0,23	0,74

AL: ácido láctico; CC: cloruro de calcio; I: Innosure; Co: Control; F: F de anova; P: Probabilidad; VcF: Valor crítico de F; Md: Media; DE: Desviación estándar; ¹P > 0,05; ²P < 0,05; ⁿ número total de animales intervinientes; ⁿ¹ = 10; ⁿ² = 20; ⁿ³ = 30; ⁿ⁹ = 90; ⁿ¹⁰ = 100.

Tabla 12. Estadística inferencial y descriptiva de la variable Incremento de Peso.

Table 12. Inferential and descriptive statistics of the Weight Increase variable.

Interacciones	Tratamientos implicados ⁿ	Valores estadísticos				
		F	P	VcF	Md	DE
Entre dosis del mismo tratamiento	AL (0,10, 0,15 y 0,20ml) ⁿ³	717	0,001 ²	3,354	–	–
	CC (0,10, 0,15 y 0,20ml) ⁿ³	633	0,001 ²	3,354	–	–
	I (0,10, 0,15 y 0,20ml) ⁿ³	2202	0,001 ²	3,354	–	–
Entre Co vs. cada dosis de cada tratamiento	(Co vs. AL 0,10ml) ⁿ²	158	0,001 ²	4,414	–	–
	(Co vs. AL 0,15ml) ⁿ²	636	0,001 ²	4,414	–	–
	(Co vs. AL 0,20ml) ⁿ²	202	0,001 ²	4,414	–	–
	(Co vs. CC 0,10ml) ⁿ²	155	0,001 ²	4,414	–	–
	(Co vs. CC 0,15ml) ⁿ²	841	0,001 ²	4,414	–	–
	(Co vs. CC 0,20ml) ⁿ²	323	0,001 ²	4,414	–	–
	(Co vs. I 0,10ml) ⁿ²	70	0,001 ²	4,414	–	–
	(Co vs. I 0,15ml) ⁿ²	4876	0,001 ²	4,414	–	–
	(Co vs. I 0,20ml) ⁿ²	8372	0,001 ²	4,414	–	–
Entre tratamiento sin Co	(AL, CC, e I) ⁿ⁹	8398	0,001 ²	3,354	–	–
Entre todos los tratamientos incluido Co	(AL, CC, I y Co) ⁿ¹⁰	8857	0,000 ²	2,866	–	–
Entre dosis iguales de distintos tratamientos	(0,10ml de AL, CC, I) ⁿ³	208	0,001 ²	3,354	–	–
	(0,15ml de AL, CC, I) ⁿ³	1927	0,001 ²	3,354	–	–
	(0,20ml de AL, CC, I) ⁿ³	2720	0,001 ²	3,354	–	–
Descriptiva por tratamiento según dosis	AL 0,10ml ⁿ¹	–	–	–	190,03	0,93
	AL 0,15ml ⁿ¹	–	–	–	157,03	4,78
	AL 0,20ml ⁿ¹	–	–	–	207,93	2,05
	CC 0,10ml ⁿ¹	–	–	–	183,97	2,92
	CC 0,15ml ⁿ¹	–	–	–	218,57	1,92
	CC 0,20ml ⁿ¹	–	–	–	209,40	1,73
	I 0,10ml ⁿ¹	–	–	–	204,46	2,56
	I 0,15ml ⁿ¹	–	–	–	238,60	1,27
	I 0,20ml ⁿ¹	–	–	–	261,40	1,74
	Co 0ml ⁿ¹	–	–	–	196,73	1,41
Descriptiva por tratamientos	AL ⁿ³	–	–	–	185,00	21,6
	CC ⁿ³	–	–	–	203,98	15,0
	I ⁿ³	–	–	–	234,82	23,9
Descriptiva entre dosis iguales	(0,10ml de AL, CC e I) ⁿ³	–	–	–	192,82	9,0
	(0,15ml de AL, CC e I) ⁿ³	–	–	–	204,73	35,4
	(0,20ml de AL, CC e I) ⁿ³	–	–	–	226,24	25,4

AL: ácido láctico; CC: cloruro de calcio; I: Innosure; Co: Control; F: F de anova; P: Probabilidad; VcF: Valor crítico de F; Md: Media; DE: Desviación estándar; ¹P > 0,05; ²P < 0,05; ⁿ número total de animales intervinientes; ⁿ¹ = 10; ⁿ² = 20; ⁿ³ = 30; ⁿ⁹ = 90; ⁿ¹⁰ = 100.

Por otra parte, Co presento el mayor porcentaje de montas sin hembra y montas con hembra con respecto al resto de grupos. No obstante, se observó una importante actividad sexual con Msh y Mch por parte de los animales castrados. Esto podría explicarse debido a que en esta especie se produce un 12-35 % de testosterona extra gonadal a nivel de la piel, las glándulas adrenales y los músculos (Ayala Guanga et al., 2020). En este sentido, se ha descrito cierta biosíntesis extragonadal de testosterona y dihidrotestosterona a partir del precursor circulante de andrógenos suprarrenales débiles dentro de tejidos específicos (Handelsman, 2000).

Cabe señalar que nuestros resultados indican que una mayor reducción del Dt no está relacionada con una mayor dosis, pero el hecho de que se produzca una reducción testicular implica una disminución de la viabilidad tisular de las gónadas masculinas. En este sentido, diferentes dosis de sustancias químicas inyectadas en el testículo producen diferentes niveles de alteración tisular y variación testosterónica (Jana y Samanta, 2007; Sen et al., 2017).

Además, el grupo control presento un altísimo índice de agresiones frente al resto de tratamientos y/o grupos. Así, Dunshea et al. (2013) mencionan que los animales no castrados presentan una mayor relación de peleas frente a los castrados. En este sentido, las agresiones en *C. porcellus* aumentan con la edad, ya que los machos adultos forman una jerarquía dominante de tipo lineal (Harper, 1976), como producto de un aumento significativo de testosterona desde el día 16 hasta el día 60 de edad, cuando finaliza la pubertad (Ayala Guanga et al., 2020). Es así que, al final del periodo de engorde el 63 % de los machos de *C. porcellus* presentan lesiones superficiales producto de las agresiones (Mínquez Balaguer et al., 2019).

Por otro lado, las Li se presentaron en todos los tratamientos con una baja incidencia. Puesto que la castración química vía intratesticu-

lares no suele inducir lesiones iatrogénicas (Kutzler y Wood, 2006; Jana y Samanta, 2007; Ahmed Hassan y Fromsa Merga, 2017).

En este estudio, el AL no produjo Li, sin embargo Fordyce et al. (1989) mencionan que podría no ser recomendable inyectar vía intratesticular AL para inducir la castración, debido a que produce hasta un 25 % de necrosis escrotal.

Por último, es probable que la castración química a través de inyecciones intratesticulares no produzcan letargia (Kutzler y Wood, 2006; Jana y Samanta, 2007), sin embargo, en los resultados de este estudio se presentó letargia en todas las sustancias inoculadas.

Conclusiones

Todos los tratamientos indujeron la castración, ya que mostraron una menor monta sin hembra y monta con hembra, además redujeron el diámetro testicular respecto del control, aunque, cabe destacar que una dosis más alta no refleja una mayor reducción del mismo.

Un aspecto beneficioso del Innosure es que indujo un mayor incremento de peso, observándose que, a mayor dosis, mayor es la ganancia de peso.

Por otro lado, todos los tratamientos en sus diferentes dosis presentaron efectos beneficiosos para el bienestar animal, ya que disminuyeron las agresiones. Sin embargo, a mayor dosis de Innosure y cloruro de calcio, se incrementa el número de vocalizaciones, letargia. Además, todas las dosis de Innosure provocaron convulsiones e incluso la dosis 0,20 ml indujo el mayor índice de mortalidad.

Por tanto, se debería investigar más el uso de Innosure en *C. porcellus* de condición cárnica. Así mismo, se requieren estudios adicionales que estandaricen el uso y mejoren el rendimiento y la inocuidad de los diferentes métodos de castración.

La limitación de recursos financieros impidió realizar análisis laboratoriales de testosterona y cortisol, que valoren, respectivamente, el efecto esterilizante y la relación estrés-resultados. Así como, imposibilitó determinar clínicamente la etiología de las convulsiones y la letargia.

Referencias bibliográficas

- Ahmed Hassan A., Fromsa Merga A. (2017). Review on chemical sterilization of male dogs. *International Journal of Advanced Research* 5: 758-770. <https://doi.org/10.21474/IJAR01/5828>
- Anderson M., Froimovitch M. (1974). Simplified method of guinea pig castration. *The Canadian Veterinary Journal* 15(4): 126-127.
- Aponte P.M., Gutierrez-Reinoso M.A., Sanchez-Cepeda E.G., Garcia-Herreros M. (2018). Active immunization against GnRH in pre-pubertal domestic mammals: Testicular morphometry, histopathology and endocrine responses in rabbits, guinea pigs and ram lambs. *Animal* 12(4): 784-793. <https://doi.org/10.1017/S1751731117002129>
- Ayala Guanga L., Astiz S., Nieto Escandon P., Dutan Saramago J., Rodas Carpio R., Pesantez-Pacheco J.L., Rosales Jaramillo C. (2020). Relationship between testosterone and penile spicules in guinea pigs (*Cavia porcellus*). *Theriogenology* 158: 368-374. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2020.09.034>
- Baqerkhani M., Soleimanzadeh A., Mohammadi R. (2024). Effects of intratesticular injection of hypertonic mannitol and saline on the quality of donkey sperm, indicators of oxidative stress and testicular tissue pathology. *BMC Veterinary Research* 20: 99. <https://doi.org/10.1186/s12917-024-03915-1>
- Canpolat I., Gur S., Gunay C., Bulut S., Eroksuz H. (2006). An evaluation of the outcome of bull castration by intra-testicular injection of etharol and calcium chloride. *Revue de Medecine Veterinaire* 157(8-9): 420-425.
- Cavalieri J. (2017). Chemical sterilisation of animals: A review of the use of zinc- and CaCl₂ based solutions in male and female animals and factors likely to improve responses to treatment. *Animal Reproduction Science* 181: 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2017.03.010>
- Cohen P.G. (2008). Obesity in men: The hypogonadal-estrogen receptor relationship and its effect on glucose homeostasis. *Medical Hypotheses* 70(2): 358-360. <https://doi.org/10.1016/j.mehy.2007.05.020>
- Directiva 2010/63/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 22 de septiembre de 2010, relativa a la protección de los animales utilizados para fines científicos. Texto pertinente a efectos del EEE. *Diario Oficial de la Unión Europea*, núm 276, del 20 de noviembre de 2010, pp. 33-79.
- Dunbar M.L., David E.M., Aline M.R., Lofgren J.L. (2016). Validation of a behavioral ethogram for assessing postoperative pain in guinea pigs (*Cavia porcellus*). *Journal of the American Association for Laboratory Animal Science* 55(1): 29-34.
- Dunshea F.R., Allison J.R.D., Bertram M., Boler D.D., Brossard L., Campbell R., Crane J.P., Hennessy D.P., Huber L., de Lange C., Ferguson N., Matzat P., McKeith F., Moraes P.J.U., Mullan B.P., Noblet J., Quiniou N., Tokach M. (2013). The effect of immunization against GnRF on nutrient requirements of male pigs: A review. *Animal* 7(11): 1769-1778. <https://doi.org/10.1017/S1751731113001407>
- Fordyce G., Beaman N.J., Laing A.R., Hodge P.B., Campero C., Shepherd R.K. (1989). An evaluation of calf castration by intra-testicular injection of a lactic acid solution. *Australian Veterinary Journal* 66(9): 272-276. <https://doi.org/10.1111/j.1751-0813.1989.tb13950.x>
- Gökdağ Ö., Eren V., Eren Ü., Özüür A.K., Atay O. (2023). The effects of intratesticular injection of sodium chloride on liveweights, reproductive characteristics, and histological appearance of testes in goat kids. *Acta Scientiarum. Animal Sciences* 46: e62471. <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v46i1.62471>
- Apráez Guerrero J.E., Fernández Pármio L., Hernández González A. (2011). Efecto del sexo y de la castración en el comportamiento productivo y la calidad de la canal de cuyes (*Cavia porce-*

- llus*). Revista Veterinaria y Zootecnia (On Line) 5(1): 20-25.
- Guilmette J., Langlois I., Hélie P., de Oliveira El Warrak A. (2015). Comparative study of 2 surgical techniques for castration of guinea pigs (*Cavia porcellus*). Canadian Journal of Veterinary Research 79(4): 323-328.
- Handelsman D.J. (2000). Androgen physiology, pharmacology, use and misuse. En: Endotext (Eds. K.R. Feingold, B. Anawalt, M.R. Blackman, A. Boyce, G. Chrousos, E. Corpas, W.W. de Herder, K. Dhatariya, K. Dungan, J. Hofland, S. Kalra, G. Kaltsas, N. Kapoor, C. Koch, P. Kopp, M. Korbonsits, C. S. Kovacs, W. Kuohung, B. Laferrère, ... D.P. Wilson). MDTtext, South Dartmouth (MA).
- Harper L.V. (1976). Chapter 5-Behavior. En: The Biology of the guinea Pig (Eds.J.E. Wagner y P.J. Manning), pp. 31-51. Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-730050-4.50010-7>
- Ibrahim A., Ali M.M., Abou-Khalil N.S., Ali M.F. (2016). Evaluation of chemical castration with calcium chloride versus surgical castration in donkeys: Testosterone as an endpoint marker. BMC Veterinary Research 12: 46. <https://doi.org/10.1186/s12917-016-0670-3>
- Iburg T.M., Arnbjerg J., Rueløkke M.L. (2013). Gender differences in the anatomy of the perineal glands in guinea pigs and the effect of castration. Anatomia, Histologia, Embryologia 42(1): 65-71. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0264.2012.01166.x>
- Jana K., Samanta P.K. (2007). Sterilization of male stray dogs with a single intratesticular injection of calcium chloride: A dose-dependent study. Contraception 75(5): 390-400. <https://doi.org/10.1016/j.contraception.2007.01.022>
- Janett F., Gerig T., Tschuor A.C., Amatayakul-Chantler S., Walker J., Howard R., Piechotta M., Bollwein H., Hartnack S., Thun R. (2012). Effect of vaccination against gonadotropin-releasing factor (GnRF) with Bopriva® in the prepubertal bull calf. Animal Reproduction Science 131(1): 72-80. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2012.02.012>
- Janett F., Stump R., Burger D., Thun R. (2009). Suppression of testicular function and sexual behavior by vaccination against GnRH (Equity™) in the adult stallion. Animal Reproduction Science 115(1): 88-102. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2008.11.011>
- Künzl C., Sachser N. (1999). The behavioral endocrinology of domestication: a comparison between the domestic guinea pig (*Cavia apereaf. porcellus*) and its wild ancestor, the cavy (*Cavia aperea*). Hormones and Behavior 35(1): 28-37. <https://doi.org/10.1006/hbeh.1998.1493>
- Kutzler M., Wood A. (2006). Non-surgical methods of contraception and sterilization. Theriogenology 66(3): 514-525. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2006.04.014>
- Lopes K.R.F., Silva A.R. (2014). Castração química de mamíferos machos: Revisão. Revista Brasileira de Reprodução Animal 38(1): 49-53.
- Mínguez Balaguer C., Calvo Capilla A., Zeas Delgado V.A., Sánchez Macías D. (2019). A comparison of the growth performance, carcass traits, and behavior of guinea pigs reared in wire cages and floor pens for meat production. Meat Science 152: 38-40. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.02.012>
- Mohammed A., James F. (2013). Chemical castration by a single bilateral intra-testicular injection of chlorhexidine gluconate and cetrimide in bucks. Sokoto Journal of Veterinary Sciences 11: 62-65. <https://doi.org/10.4314/sokjvs.v11i1.10>
- Rosales Jaramill C.A., Rodas Carpi E.R., Nieto Escandón P.E., Torres Inga C.S., Gordillo Guambana B.G., Aucapiña C., Marín D. (2018). Extirpación de las espículas del pene de cuy (*Cavia porcellus*) y su efecto sobre la ganancia de peso y agresividad. Revista de Producción Animal 30(1): 47-52.
- Sen C.C., Yumusak N., Faundez R., Temamogullari F., Taskin A. (2017). Evaluation of intra-testicular injections of calcium chloride and 4-vinylcyclohexene 1,2 monoepoxide for chemical sterilization in guinea pigs. Polish Journal of Veterinary Sciences 20(2): 251-260.
- Vega J., Pujada H., Astocuri K. (2012). Efecto de la castración química en el comportamiento productivo y conductual del Cuy. Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú 23(1): 52-57.

(Aceptado para publicación el 10 de febrero de 2025)

Desarrollo corporal y reproductivo en novillas Brahman y Simbrah mantenidas bajo condiciones de trópico húmedo

Alfonso Juventino Chay-Canul¹, Nadia Florencia Ojeda-Robertos¹,
Víctor Hugo Severino-Lendecky² y Jorge Alonso Peralta-Torres^{1,*}

¹ División Académica de Ciencias Agropecuarias, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Villahermosa, Tabasco, México.

² Centro de Estudios Etnoagropecuarios, Universidad Autónoma de Chiapas. San Cristóbal de las Casas, Chiapas, México.

Resumen

El objetivo del estudio fue evaluar la relación entre el desarrollo corporal y el estado reproductivo en novillas Brahman y Simbrah prepúberes, mantenidas bajo condiciones de trópico húmedo. Se utilizaron 38 novillas: Brahman ($n = 19$) con 14,8 meses de edad y 242,2 kg de peso vivo, y Simbrah ($n = 19$) de 15,0 meses de edad y 244,4 kg de peso vivo. Se evaluó la ganancia diaria de peso (GDP), condición corporal (CC), y largo y ancho de pelvis (LP y AP) como indicadores del desarrollo corporal. El diámetro ovárico y uterino (DO y DU), medidos por ultrasonografía, fueron considerados como indicadores del desarrollo del aparato reproductor. No se encontraron diferencias ($P > 0,05$) en las variables de estudio entre las dos razas. El 89,5 % de las hembras Brahman y el 94,7 % de las Simbrah alcanzaron la pubertad con 17 meses de edad y con pesos de 269,4 kg y 271,4 kg, respectivamente. Las GDP para el periodo evaluado fueron de 420,2 g/día y 462,0 g/día, y la CC fue de 4 y 5 puntos para las novillas Brahman y Simbrah, respectivamente. El DU con que ovularon fue 14,7 mm y 15,1 mm en ambas razas ($P > 0,05$). El peso a la pubertad estuvo correlacionado ($P < 0,001$) con la edad, el LP, AP y DU. Se concluye que la edad y el peso a la pubertad están relacionados con la CC y las medidas pélvicas, las cuales pueden usarse como elementos de predicción de la pubertad en novillas Brahman y Simbrah.

Palabras clave: Diámetro uterino, cuerpo lúteo, medidas corporales, peso, pubertad.

Body and reproductive development in Brahman and Simbrah heifers reared under humid tropical conditions

Abstract

The aim of this study was to evaluate the relationship between body development and reproductive status in prepubertal Brahman and Simbrah heifers maintained under humid tropical conditions. A total of 38 heifers were used: Brahman heifers ($n = 19$) aged 14.8 months and weighing 242.2 kg live weight, and Simbrah heifers ($n = 19$) aged 15.0 months and weighing 244.4 kg live weight. Daily weight gain

* Autor para correspondencia: jorge.peralta@ujat.mx

Cita del artículo: Chay-Canul A.J., Ojeda-Robertos N.F., Severino-Lendecky V.H., Peralta-Torres J.A. (2025). Desarrollo corporal y reproductivo en novillas Brahman y Simbrah mantenidas bajo condiciones de trópico húmedo. ITEA-Información Técnica Económica Agraria 121(2): 173-182. <https://doi.org/10.12706/itea.2025.003>



(DWG), body condition score (BCS), and pelvic length and width (PL and PW) were evaluated as indicators of body development. Ovarian and uterine diameter (OD and UD), measured by ultrasonography, were considered indicators of reproductive system development. No statistical differences ($P > 0.05$) were found in the study variables between the two breeds. Results showed that 89.5 % of Brahman and 94.7 % of the Simbrah heifers reached puberty at 17 months of age, weighing 269.4 kg and 271.4 kg, respectively. The DWB for the evaluated period was 420.2 g/day and 462.0 g/day, and the BCS was 4 and 5 points for Brahman and Simbrah heifers, respectively. The UD at which they ovulated was 14.7 mm and 15.1 mm in both breeds ($P > 0.05$). Weight at puberty was correlated ($P < 0.001$) with age, PL, PW and UD. It is concluded that age and weight at puberty are related to BCS and pelvic measurements, which can be used as predictors factors of puberty in Brahman and Simbrah heifers.

Keywords: Uterine diameter, corpus luteum, body measurements, body weight, puberty.

Introducción

En México, la mayor parte del ganado bovino se encuentra en regiones tropicales donde predominan las altas temperaturas y humedad excesiva, y la alimentación se basa principalmente en pastoreo extensivo. Una consecuencia no deseada de estas condiciones medioambientales ha sido una disminución en la productividad y precocidad (Nogueira, 2004). Por lo anterior, la edad en que se presenta la pubertad en zonas tropicales es variable.

La pubertad en las novillas es iniciada como la exhibición del primer estro, acompañado de una ovulación y la formación de un cuerpo lúteo (CL; Kinder et al., 1987). Algunos de los factores que influyen en la edad a la pubertad son el genotipo, la época de nacimiento (Mejía-Baustista et al., 2010), los factores de tipo social (Garverick y Smith, 1993), la presencia de machos (Quadros y Lobato, 2004) y la implementación de tratamientos hormonales (Cardoso et al., 2011). Asimismo, las condiciones de manejo y alimentación durante la etapa de desarrollo de las hembras definen el inicio a la pubertad, ya que cualquier escasez nutricional ocasionará bajas ganancias de peso y retraso en el inicio de la actividad reproductiva (Yavas y Walton, 2000; Mejía-Baustista et al., 2010).

También existe una marcada diferencia en la edad a la pubertad entre hembras *Bos taurus* y *Bos indicus*, donde las primeras tienden a mostrar la pubertad a una edad más temprana (Rodrigues et al., 2002; Nogueira, 2004; Mejía-Baustista et al., 2010). Por otro lado, las novillas que alcanzan la pubertad a edades tempranas implican un menor costo de producción que aquellas con edades tardías (Canal et al., 2020), así como mayor productividad a lo largo de su vida (Perry, 2016).

En este sentido, los productores utilizan el peso vivo como principal criterio para poner a cubrir sus novillas, usualmente cuando alcanzan 350 kg en promedio (sin importar su edad), lo cual, en muchas ocasiones, se realiza sin conocer su estado reproductivo. Ante esto, es de gran importancia establecer medidas corporales indirectas, como el ancho y largo de la pelvis, que se relacionan con el desarrollo esquelético en hembras (tamaño corporal; Bretschneider et al., 2014; Herrera-López et al., 2018; Cruz-Tamayo et al., 2024), que puedan servir para predecir el peso vivo y el desarrollo del aparato reproductor (Holm et al., 2016). Por lo tanto, el objetivo del estudio fue evaluar y determinar la relación entre el desarrollo corporal y el estado reproductivo en novillas Brahman y Simbrah prepúberes bajo condiciones de trópico húmedo.

Material y métodos

Ubicación del estudio

El experimento se llevó a cabo en un rancho ubicado en el municipio de Centro, Tabasco, México. El clima en la zona es cálido-húmedo con abundantes lluvias en verano (AW_1), con temperatura media anual de 33,6 °C y precipitación pluvial anual de 2,237 mm (INEGI, 2023). El estudio comprendió los meses de marzo a julio (época seca).

Animales y manejo

Se utilizaron 38 novillas prepúberes de las razas Brahman ($n = 19$) y Simbrah ($n = 19$), con edad promedio de $14,8 \pm 2,1$ meses y $244,4 \pm 28,4$ kg de peso. Los animales nacieron y crecieron en la misma unidad de producción y posterior a su destete fueron agrupadas con novillas de diferentes edades. Las novillas fueron alimentadas con pasto estrella de África (*Cynodon nlemfuensis*) bajo un sistema de pastoreo rotacional, suplementadas con 2 kg/novilla-día de ensilado de maíz (*Zea mays*), sal mineral y agua *ad libitum*.

En las evaluaciones ginecológicas con ultrasonido en tiempo real (Mindray DP50® Vet, USA) no se encontraron CL en las cuatro ocasiones previas al inicio del estudio (0, 7, 14 y 21 días), de manera que todas fueron consideradas como novillas prepúberes. Además, se contó con las tarjetas de registro que indicaban la fecha de nacimiento y el peso.

Actividad ovárica

La actividad ovárica y el desarrollo reproductivo de las novillas se determinaron cada 21 días mediante una palpación transrectal y con el equipo de ultrasonido. Se registró el folículo de mayor diámetro, la presencia de CL, el diámetro ovárico (el promedio de la medida de ancho por largo) y el diámetro

uterino (inmediatamente craneal a la bifurcación). Este último se clasificó en pequeño (≤ 9 mm), mediano (10-15 mm) y grande (≥ 16 mm) (Anderson et al., 1991; Cutaia et al., 2006). Para el presente estudio, se consideró que la pubertad se presentó cuando se observó la presencia de un CL en el ovario (Rodrigues et al., 2002), detectado mediante ultrasonografía. Se confirmó la presencia del CL los días 7 y 14 después de observado. Las novillas que no ovularon fueron muestreadas hasta los 20 meses de edad.

Desarrollo corporal

Se determinó la ganancia diaria de peso (GDP), se midió la condición corporal (CC) y las medidas pélvicas, cada cuatro semanas (Gutierrez et al., 2014). Las novillas fueron pesadas mensualmente en una báscula digital (Wim-Systems®, LP7510). La GDP se determinó por regresión, considerando la pendiente de la regresión como la tasa de GDP. La CC se estimó por observación visual en escala de 1 a 9, donde 1 es emaciada y 9 es obesa (Ayala et al., 1995).

El ancho de pelvis (AP) comprendió la distancia existente entre las alas del ilion. El largo de la pelvis (LP) se midió por la distancia entre las alas del ilion y la tuberosidad isquiática (Deutscher, 1991). El AP y el LP se midieron con una forcípula de 65 cm (Haglof®, Suecia) aplicando la técnica descrita por Bretschneider et al. (2014) y Herrera-López et al. (2018).

Diseño experimental y análisis estadístico

Las novillas fueron asignadas de acuerdo con la raza (Brahman y Simbrah). Los estadísticos descriptivos que muestran el desarrollo corporal y el estado reproductivo de las novillas hasta alcanzar la pubertad fueron determinados utilizando el procedimiento *means* del SAS (SAS, 2015). La comparación entre las dos razas se hizo con una prueba de "t" de Student no

Resultados

pareados, bajo el procedimiento *ttest* del SAS. El porcentaje de novillas púberes fue analizado mediante una prueba de Chi-cuadrado del SAS. El grado de asociación de las variables (peso a la pubertad, edad, CC, AP, LP, diámetro ovárico y diámetro uterino) se determinó con un análisis de correlación de Pearson, bajo el procedimiento *corr* del SAS (SAS, 2015).

Los valores promedios de las variables al inicio del estudio fueron similares entre razas ($P > 0,05$; Tabla 1). Los promedios de ambas razas para la edad inicial, peso inicial, AP, LP, diámetro uterino y diámetro ovárico fueron $14,8 \pm 2,1$ meses; $244,4 \pm 28,4$ kg; $27,0 \pm 2,9$ cm; $32,2 \pm 1,5$ cm; $9,6 \pm 1,2$ mm y $10,4 \pm 1,5$ mm, respectivamente.

Tabla 1. Promedio $\pm$ desviación estándar de la edad, peso y medidas pélvicas y ováricas al inicio del estudio según la raza de las novillas.
Table 1. Mean $\pm$ standard deviation of age, weight and pelvic and ovarian measurements at the beginning of the study according to the breed of heifers.

Variable	Brahman	Simbrah	Coeficiente de variación	Valor de P
Novillas	19	19		
Edad inicial (m)	14,52 $\pm$ 1,83	15,05 $\pm$ 2,34	10,43	0,57
Peso inicial (kg)	242,21 $\pm$ 28,57	246,68 $\pm$ 24,58	7,32	0,60
AP (cm)	27,26 $\pm$ 3,01	27,13 $\pm$ 3,29	9,93	0,89
LP (cm)	32,55 $\pm$ 1,43	32,5 $\pm$ 2,07	5,47	0,92
DU (mm)	10,88 $\pm$ 1,34	9,77 $\pm$ 2,86	21,91	0,20
DO (mm)	11,35 $\pm$ 2,21	11,43 $\pm$ 2,95	22,44	0,94

AP: ancho de pelvis; LP: largo de pelvis; DU: diámetro uterino; DO: diámetro ovárico.

El 92 % (35/38) de las hembras ovularon (89,5 % y 94,7 % de las novillas Brahman y Simbrah, respectivamente) entre los 17 y 18 meses de edad (Figura 1). Las novillas ovularon con una CC de 4 a 5 puntos, y el 56 % (21/38) contaba con un diámetro uterino ≥ 16 mm. En la Tabla 2, se observa que el peso corporal, la GDP, las medidas de pelvis (AP y LP), el diámetro uterino y el diámetro ovárico, fueron similares entre razas ($P > 0,05$).

Al no observarse diferencias entre razas en las variables bajo evaluación, se realizó un análisis de correlación sin tomar en cuenta la ra-

za (Tabla 3). Se observó correlación del peso a la pubertad con la edad, CC, las variables pélvicas y el diámetro uterino ($P < 0,001$).

Discusión

La edad y el peso a la pubertad fueron similares en ambos grupos raciales, y estas variables estuvieron altamente correlacionadas. Valores superiores han sido reportados por Rodrigues et al. (2002) en novillas Brahman alimentadas a pastoreo, donde la pu-

Tabla 2. Promedio $\pm$ desviación estándar de la edad, peso y medidas pélvicas y ováricas a la primera ovulación¹ según la raza de las novillas.

Table 2. Mean $\pm$ standard deviation of age, weight and pelvic and ovarian measurements at first ovulation¹ according to the breed of heifers.

Variable a la pubertad	Brahman	Simbrah	Coeficiente de variación	Valor de P
Novillas que ovularon (%)	89,50	94,70		0,55
Edad (m)	16,68 $\pm$ 1,76	17,26 $\pm$ 1,99	11,08	0,35
Peso (kg)	269,36 $\pm$ 26,93	271,42 $\pm$ 34,75	11,34	0,84
GDP (g/día)	420,26 $\pm$ 165,29	462,00 $\pm$ 192,24	40,20	0,48
AP (cm)	35,21 $\pm$ 2,20	34,52 $\pm$ 1,71	5,66	0,29
LP (cm)	38,42 $\pm$ 2,19	38,15 $\pm$ 1,60	4,96	0,67
DU (mm)	14,74 $\pm$ 1,83	15,12 $\pm$ 1,61	11,51	0,50
DO (mm)	12,88 $\pm$ 1,06	13,96 $\pm$ 1,44	10,19	0,20

GDP: ganancia diaria de peso (g/día); AP: ancho de pelvis (cm); LP: largo de pelvis (cm); DU: diámetro uterino (mm); DO: diámetro ovárico (mm).

¹ Edad a la primera ovulación seguida de la formación de un cuerpo lúteo de duración normal.

Tabla 3. Coeficiente de correlación entre peso y edad a la pubertad, medidas corporales y reproductivas en novillas Brahman y Simbrah.

Table 3. Correlation coefficient between weight and age at puberty, body and reproductive measurements in Brahman and Simbrah heifers.

Variable	Peso a la pubertad	Edad a la pubertad	Condición corporal	Largo de pelvis	Ancho de pelvis	Diámetro uterino
Peso a la pubertad	1					
Edad a la pubertad	0,88***	1				
Condición corporal	0,70***	0,74***	1			
Largo de pelvis	0,63***	0,55**	0,41**	1		
Ancho de pelvis	0,64***	0,55**	0,38**	0,68***	1	
Diámetro uterino	0,54***	0,19 ^{ns}	0,22 ^{ns}	0,41**	0,53***	1
Diámetro ovárico	0,21 ^{ns}	0,26 ^{ns}	0,27 ^{ns}	-0,01 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,54***

*: $P < 0,05$; **: $P < 0,01$; ***: $P < 0,001$; ^{ns}: no significativo.

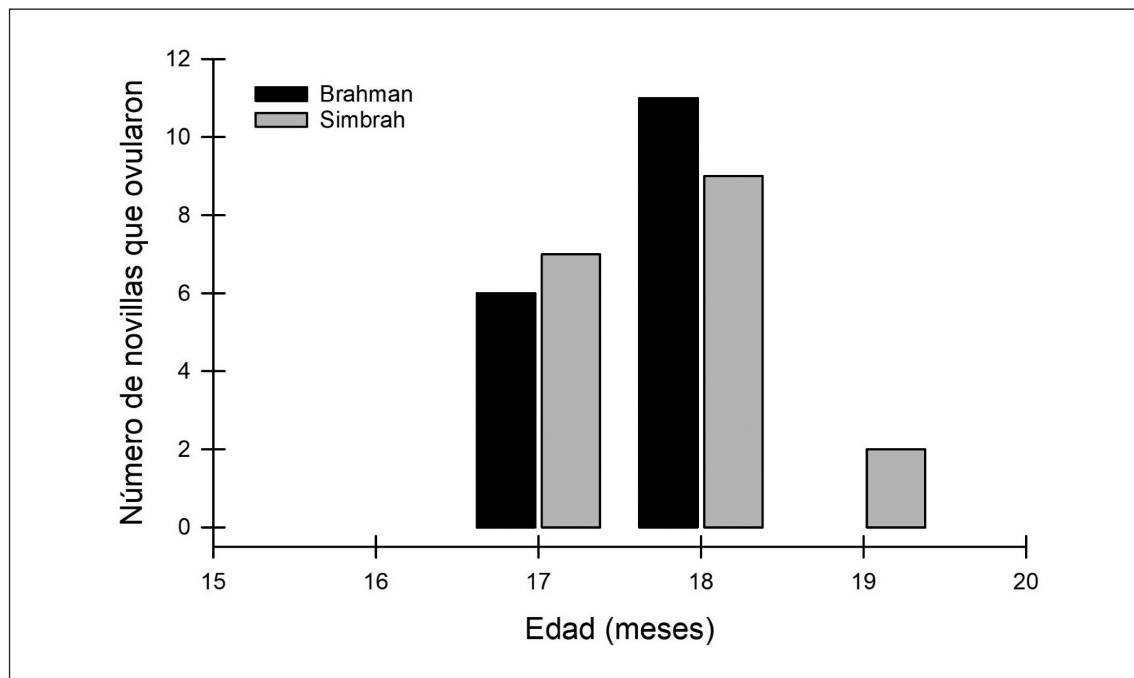


Figura 1. Distribución de las novillas que presentaron la pubertad de acuerdo a su edad.

Figure 1. Distribution of heifers that presented puberty according to their age.

bertad se presentó a los 22,6 meses con un peso de 299 kg. Asimismo, Johnston *et al.* (2009) reportaron la edad a la pubertad de 25 meses con peso de 334 kg en novillas Brahman, en tanto que Grajales *et al.* (2006) reportaron una edad de 23,7 meses y peso de 400 kg en hembras Cebú.

La edad y el peso son determinantes para que las novillas alcancen la pubertad. Las novillas de carne generalmente presentan la pubertad cuando alcanzan entre el 55 % y 60 % del peso corporal maduro (Funston y Deutscher, 2004). En este sentido, el peso en el que se alcanzó la pubertad en el presente estudio fue, en promedio, 270 kg, lo que representaría aproximadamente un peso adulto de las hembras de 450 kg a 490 kg, lo que se relaciona con el peso vivo de las madres que se encuentran el mismo rancho.

La edad de la pubertad en las novillas de carne está determinada por la genética, la nutrición y el medio ambiente (Lardner *et al.*, 2014; Roberts *et al.*, 2017). Samadi *et al.* (2014) indican que las novillas Brahman presentaron la pubertad entre los 16 y 23 meses de edad. Los resultados del presente estudio no mostraron diferencias en la edad en que se presentó la pubertad en las novillas Brahman y Simbrah. Sin embargo, el factor social pudo haber influido en mayor grado en la presentación de la pubertad (Fiol *et al.*, 2017), ya que las novillas estuvieron con grupos de hembras de diversas edades, incluyendo novillas púberes. Lo anterior pudo estar relacionado con los resultados aquí presentados, sin que importara el genotipo de las novillas utilizadas.

La GDP del presente estudio fue similar en comparación con el estudio de Romano *et al.*

(2007), evaluando novillas Nelore en condiciones de pastoreo con GDP de 447 g/día. Asimismo, Lima et al. (2008) reporta GDP de 520 g/día en novillas Girolando. Algunos estudios sugieren que la mejora en la nutrición influye a través de cambios en los sustratos metabólicos (glucosa y aminoácidos) y en las concentraciones circulantes de hormonas metabólicas, en lugar de efectos directos sobre las hormonas reproductivas (Samadi et al., 2014; Abeni et al., 2019; D'Occhio et al., 2019). Los promedios de GDP se deben principalmente a que el estudio se realizó en la época de seca (marzo a julio), cuando la disponibilidad y calidad del forraje son menores. En este sentido, la nutrición tiene un papel clave en el inicio de la pubertad en el ganado bovino, y las GDP reportadas en el presente estudio son lo característico bajo condiciones de pastoreo, a pesar de la época en que se realizó el estudio. Sin embargo, se demuestra que las novillas se encontraban en un balance energético positivo y que las hembras Simbrah se han adaptado a las condiciones ambientales adversas del trópico húmedo.

El AP y LP fueron similares con lo reportado por Abud et al. (2018) en hembras Nelore. Se ha reportado que el ancho de la cadera mostró ser una buena variable predictora del peso vivo e indicativo del desarrollo del tejido óseo de los animales. Además, esta medida se ubica en el tren posterior, justamente donde se concentra el mayor peso corporal del animal (Bretschneider et al., 2014; Herrera-López et al., 2018; Cruz-Tamayo et al., 2024). Así, si la cadera es más ancha, podría esperarse que soportara una mayor acumulación de músculo y grasa en esta región corporal. Por lo tanto, las mediciones anatómicas, como indicadores del tamaño del esqueleto, pueden reflejar el verdadero tamaño y desarrollo de las hembras de reemplazo (Herrera-López et al., 2018; Cruz-Tamayo et al., 2024).

El 92 % (35/38) de las hembras que ovularon en ambos grupos presentaron una CC de 4 a

5 puntos, y el 56 % (21/38) contaba con un diámetro uterino ≥ 16 mm. Morato (2011) reporta que en novillas Nelore la pubertad se presentó en el 51,8 % de las hembras con una CC de 5 puntos (escala 1-9) y un diámetro uterino de 11,7 mm. Asimismo, Johnston et al. (2009) reportan que la primera ovulación en novillas Brahman fue con una CC de 5 puntos (escala de 1-9) y un diámetro uterino 13,5 mm, mientras que Chelikani et al. (2003) observaron que novillas Holstein presentaron la pubertad con una CC de 2,6 puntos (escala de 1-5). La importancia de la CC reside en que es un reflejo de la condición nutricional, desarrollo muscular y depósito de grasa del animal (D'Occhio et al., 2019). Abud et al. (2018) indican que una adecuada CC favorece un inicio más rápido de su vida reproductiva y una mejor tasa de gestación.

Las asociaciones y correlaciones en las variables para determinar el desarrollo corporal y reproductivo del presente estudio concuerdan con los resultados obtenidos por Abud et al. (2018), quienes encontraron que las características de LP y AP muestran altas correlaciones ($r > 0,60$) con la edad y el peso. De igual forma, indican que las medidas de LP y AP están ligadas a la reproducción, ya que los animales que tienen mayores medidas presentan mayor facilidad de parto, disminuyendo con ello la probabilidad de parto distócico (Nogalski y Mordas, 2012).

Por último, Guillen-Alvarado et al. (2023) realizaron un estudio en condiciones climáticas favorables, en sistema estabulado (corrales), con dietas especiales para diferentes etapas (crecimiento y reproducción), con animales procedentes de fincas diferentes (Brahman y Simbrah). En este estudio, las novillas Simbrah presentaron mayor ganancia de peso, lo que se relacionó con la ciclicidad (presencia de CL). Esto difiere del presente estudio, que fue realizado en condiciones de pastoreo (pastos nativos), lo que representa los sistemas de crianza tradicionales en condiciones de trópico húmedo mexicano.

Conclusiones

En las condiciones del presente estudio, el desarrollo corporal y reproductivo fue similar en novillas Brahman y Simbrah que presentaron la pubertad. Las variables corporales, como ancho y largo de pelvis, pueden usarse como elementos de predicción de la pubertad en novillas Brahman y Simbrah. Se debe tener especial énfasis del inicio de la pubertad porque contribuye en mejorar los índices productivos existentes en condiciones de trópico húmedo.

Agradecimientos

A la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco por el apoyo otorgado y a la familia Bustamante León por los animales aportados.

Referencias bibliográficas

- Abeni F., Petrera F., Le Cozler Y. (2019). Effects of feeding treatment on growth rates, metabolic profiles and age at puberty, and their relationships in dairy heifers. *Animal* 13: 1020-1029. <https://doi.org/10.1017/S1751731118002422>.
- Abud L.J., Abud C.O.G., Costa G.L., Fioravanti M.C.S., Martins C.F., Pimentel C.M.M., Sereno J.R.B. (2018). Correlation between age, weight and body measures at first pregnancy of Nelore heifers. *Archives of Veterinary Science* 23(3): 80-88. <https://doi.org/10.5380/avs.v23i3.48642>.
- Anderson K.J., LeFever D.G., Brinks J.S., Odde K.G. (1991). The use of reproductive tract scoring in beef heifers. *Agriculture Practice* 12: 19-26.
- Ayala A., Honhold N., Delgado R., Magaña J. (1995). A visual condition scoring scheme for *Bos indicus* and crossbred cattle. Dual purpose cattle production research, Proceedings of the IFS/FMVZ-UADY international Workshop, 23-27 marzo 1992, Mérida, México. pp 119-128.
- Bretschneider G., Cuatrin A., Arias D., Vottero D. (2014). Estimation of body weight by an indirect measurement method in developing replacement Holstein heifers raised on pasture. *Archivos de Medicina Veterinaria* 46: 439-443. <https://doi.org/10.4067/S0301-732X2014000300014>.
- Canal L.B., Fontes P.L.P., Sanford C.D., Mercadante V.R.G., DiLorenzo N., Lamb G.C., Oosthuizen N. (2020). Relationships between feed efficiency and puberty in *Bos taurus* and *Bos indicus* -influenced replacement beef heifers. *Journal of Animal Science* 98: skaa319. <https://doi.org/10.1093/jas/skaa319>.
- Cardoso D., Guerra F.F., Peiró J.R., Perri S.H., Nogueira G.P. (2011). Changes in luteinizing hormone secretion after estradiol treatment in prepubertal Nelore heifers. *Canadian Journal of Veterinary Research* 75(3): 237-240.
- Chelikani P.K., Ambrose J.D., Kenelly J.J. (2003). Effect of dietary energy and protein density on body composition, attainment of puberty, and ovarian follicular dynamics in dairy heifers. *Theirionology* 60: 707-725. [https://doi.org/10.1016/s0093-691x\(03\)00088-8](https://doi.org/10.1016/s0093-691x(03)00088-8).
- Cutaia L., Peres L., Pincinato D., Bó G.A. (2006). Influence of uterine diameter, ovarian size and ovarian structures on fertility in 15 month old cross-bred Bonsmara heifers inseminated at Fixed-Time. 20th Brazilian Embryo Technology Society (SBTE) Annual Meeting, 24-27 agosto, Araxá, MG, Brazil. *Acta Scientiae Veterinariae* 34 (Supplement 1): 387.
- Cruz-Tamayo A.A., Ramírez-Bautista M.A., Mota-Rojas D., Escobar-España J.C., García-Herrera R., Gurgel A.L.C., Dias-Silva T.P., de Araújo M.J., Santana J.C.S., Aguiar I.O.M., Ítavo L.C.V., Chay-Canul A.J. (2024). Relationship between body weight and hip width in dairy buffaloes (*Bubalus bubalis*). *Journal of Dairy Research* 30: 1-4. <https://doi.org/10.1017/S0022029924000311>.
- Deutscher G.H. (1991). Pelvic measurements for reducing calving difficulty. *NebGuide. Historical Materials from University of Nebraska-Lincoln Extension* 325. 7 pp.

- D'Occhio M.J., Baruselli P.S., Campanile G. (2019). Influence of nutrition, body condition, and metabolic status on reproduction in female beef cattle: a review. *Theriogenology* 125: 277-284. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2018.11.010>.
- Fiol C., Carriquiry M., Ungerfeld R. (2017). Social dominance in prepubertal dairy heifers allocated in continuous competitive dyads: Effects on body growth, metabolic status, and reproductive development. *Journal of Dairy Science* 100(3): 2351-2359. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11840>.
- Funston R.N., Deutscher G.H. (2004). Comparison of target breeding weight and breeding date for replacement beef heifers and effects on subsequent reproduction and calf performance. *Journal of Animal Science* 82: 3094-3099. <https://doi.org/10.2527/2004.82103094x>.
- Garverick H.A., Smith M.F. (1993). Female reproductive physiology and endocrinology of cattle. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice* 9: 223-247. [https://doi.org/10.1016/s0749-0720\(15\)30643-5](https://doi.org/10.1016/s0749-0720(15)30643-5).
- Grajales H., Hernández A., Prieto E. (2006). Edad y peso a la pubertad y su relación con la eficiencia reproductiva de grupos raciales bovinos en el trópico colombiano. *Livestock Research of Rural Development* 18: 139.
- Gutierrez K., Kasimanickam R., Tibary A., Gay J.M., Kastelic J.P., Hall J.B., Whittier W.D. (2014). Effect of reproductive tract scoring on reproductive efficiency in beef heifers bred by timed insemination and natural service versus only natural service. *Theriogenology* 81(7): 918-924. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2014.01.008>.
- Herrera-López S., García-Herrera R., Chay-Canul A.J., González-Ronquillo M., Macías-Cruz U., Díaz-Echeverría V.F., Casanova-Lugo F., Piñeiro-Vázquez A. (2018). Desarrollo y evaluación de una ecuación para predecir el peso vivo en novillas cruzadas usando el ancho de cadera. *ITEA-Información Técnica Económica Agraria* 114(4): 368-377. <https://doi.org/10.12706/itea.2018.022>.
- Holm D.E., Nielsen M., Jorritsma R., Irons P.C., Thompson P.N. (2016). Ultrasonographic reproductive tract measures and pelvis measures as predictors of pregnancy failure and anestrus in restricted bred beef heifers. *Theriogenology* 85(3): 495-501. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2015.09.031>.
- INEGI (2023). Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/app/indicadores/?ag=07048> (consultado: 15/12/2023).
- Johnston D.J., Barwick S.A., Corbet N.J., Fordyce G., Holroyd R.G., Williams P.J., Burrow H.M. (2009). Genetics of heifer puberty in two tropical beef genotypes in northern Australia and associations with heifer and steer-production traits. *Animal Production Science* 49: 399-412. <https://doi.org/10.1071/EA08276>.
- Kinder J., Day M., Kittok R. (1987). Endocrine regulation of puberty in cows and ewes. *Journal of Reproduction and Fertility* 34: 167-186.
- Lardner H.A., Damiran D., Hendrick S., Larson K., Funston R. (2014). Effect of development system on growth and reproductive performance of beef heifers. *Journal of Animal Science* 92(7): 3116-3126. <https://doi.org/10.2527/jas.2013-7410>.
- Lima C.S., Gambarini M.L., Viu M.A.O., Filho B.D.O., Santos F.C., Caixeta L.S. (2008). Efeito da bioestimulação, monensina e somatotropina recombinante bovina sobre o ganho médio diário e início da puberdade em novilhas girlando criadas a pasto. *Archives of Veterinary Science* 13: 93-97.
- Mejía-Baustista G.T., Magaña J.G., Segura-Correa J.C., Delgado R., Estrada-León R.J. (2010). Comportamiento reproductivo y productivo de vacas *Bos indicus*, *Bos taurus* y sus cruces en un sistema de producción vaca: cría en Yucatán, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 12: 289-301.
- Morato F.M. (2011). Puberdade em novilhas nelore provenientes de duas linhas de seleção para peso. Tesis Doctoral. Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita Filho". Jaboticabal, Brasil. 70 pp.

- Nogalski Z., Mordas W. (2012). Pelvic parameters in Holstein-Friesian and Jersey heifers in relation to their calving. *Pakistan Veterinary Journal* 32: 507-510.
- Nogueira G.P. (2004). Puberty in South American *Bos indicus* (Zebu) cattle. *Animal Reproduction Science* 82-83: 361-372. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2004.04.007>.
- Perry G.A. (2016). Factors affecting puberty in replacement beef heifers. *Theriogenology* 86: 373-378. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2016.04.051>.
- Quadros S.A., Lobato J.F. (2004). Bioestimulação e comportamento reprodutivo de novilhas de corte. *Revista Brasileira de Zootecnia* 33: 679-683. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982004000300016>.
- Roberts A.J., da Silva A.G., Summers A.F., Geary T.W., Funston R.N. (2017). Developmental and reproductive characteristics of beef heifers classified by pubertal status at time of first breeding. *Journal of Animal Science* 95: 5629-5636. <https://doi.org/10.2527/jas2017.1873>.
- Rodrigues H.D., Kinder J.E., Fitzpatrick L.A. (2002). Estradiol regulation of luteinizing hormone secretion in heifers of two breed types that reach puberty at different ages. *Biology of Reproduction* 66: 603-609. <https://doi.org/10.1095/biolreprod66.3.603>.
- Romano M.A., Barnabe V.H., Kastelic J.P., De Oliveira C.A., Romano R.M. (2007). Follicular dynamics in heifers during pre-pubertal and pubertal period kept under two levels of dietary energy intake. *Reproduction in Domestic Animals* 42: 616-622. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0531.2006.00832.x>.
- Samadi F., Blache D., Martin G.B., D'Occhio M.J. (2014). Nutrition, metabolic profiles and puberty in Brahman (*Bos indicus*) beef heifers. *Animal Reproduction Science* 146: 134-142. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2014.03.004>.
- SAS (2015). SAS User's Guide: Statistics (version 9.4 ed.) SAS Inst. Inc. Cary NC, USA.
- Yavas Y., Walton J.S. (2000). Postpartum acyclicity in suckled beef cows: a review. *Theriogenology* 54: 25-55. [https://doi.org/10.1016/S0093-691X\(00\)00323-X](https://doi.org/10.1016/S0093-691X(00)00323-X).
- (Aceptado para publicación el 10 de febrero de 2025)

Impacto de la expansión de cultivos perennes en España (1990-2023)

Antonio R. Hurtado^{1,*}, Jaime Espinosa-Tasón^{1,2} y Julio Berbel¹

¹ Water, Environmental, and Agricultural Resources Economics (WEARE) Research Group, Universidad de Córdoba. Campus Rabanales Building C5, 14014 Córdoba, España.

² Sistema Nacional de Investigación (SNI), Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá. La Villa de Los Santos, Los Santos, PA 0739, Panamá.

Resumen

Este artículo analiza los impactos de un aumento de cultivos perennes sobre las necesidades de agua de riego y sobre la vulnerabilidad del sistema agrícola ante eventos climáticos en España, así como sus implicaciones para la política hídrica. El análisis muestra el crecimiento constante de los cultivos leñosos en el periodo 1990-2023 a costa de los herbáceos tanto en secano como en riego y cómo las cuencas del sur del país se han adaptado a la escasez estructural, mediante el empleo de riego de precisión y riego deficitario. Esto tiene consecuencias económicas que se concretan en una mayor productividad del agua y una mayor vulnerabilidad a sequías. En cuanto a las consecuencias hidrológicas, destaca la reducción de los retornos de riego que posiblemente se están sobreestimando en los balances de cuenca con el riesgo de sobreasignación de recursos. La probable frecuencia cada vez mayor de las sequías y el aumento de las necesidades de agua de riego, debido al aumento de las temperaturas, aumentan la vulnerabilidad del sistema a fenómenos climáticos extremos. Estos hallazgos pueden emplearse para apoyar la asignación eficiente de los recursos hídricos, mejorando la política hídrica para la adaptación a los crecientes riesgos relacionados con las sequías y la escasez de agua.

Palabras clave: Cambio climático, cultivos leñosos, cambio de uso del suelo, productividad, riego deficitario.

Impact of the expansion of perennial crops in Spain (1990-2023)

Abstract

This paper analyzes the impacts of an increase in perennial crops on irrigation water requirements and on the vulnerability of the agricultural system to climatic events in Spain as well as its implications for water policy. The analysis shows the steady growth of perennial crops in the period 1990-2023 at the expense of arable crops in both rainfed and irrigated systems and how the southern basins of the country have adapted to structural scarcity by using precision irrigation and deficit irrigation. This has economic consequences in the form of higher water productivity and greater vulnerability to droughts. In terms of hydrological consequences, the reduction of irrigation returns, which are possibly being overestimated

* Autor para correspondencia: es2rohuc@uco.es

Cita del artículo: Hurtado A.R., Espinosa-Tasón J., Berbel J. (2025). Impacto de la expansión de cultivos perennes en España (1990-2023). ITEA-Información Técnica Económica Agraria 121(2): 183-198. <https://doi.org/10.12706/itea.2025.004>



in the basin balances with the risk of over-allocation of resources, stands out. The likely increasing frequency of droughts and increasing irrigation water requirements, due to rising temperatures, increase the vulnerability of the system to extreme weather events. These findings can be used to support efficient allocation of water resources, improving water policy for adaptation to increasing risks related to droughts and water scarcity.

Keywords: Climate change, woody crops, land use change, productivity, deficit irrigation.

Introducción

La expansión de cultivos leñosos en regadío está generando un creciente debate sobre sus implicaciones económicas, ambientales e hidrológicas (Garrido Sánchez-Cano, 2023; Tocados-Franco *et al.*, 2024). Desde el punto de vista económico, el aumento de estos cultivos promete beneficios sustanciales debido a su elevada demanda en el mercado y a su rentabilidad, pero esta bonanza no está exenta de polémica, ya que los críticos sostienen que el riego intensivo que requieren puede no ser sostenible a largo plazo, sobre todo en regiones que sufren escasez de agua (Pérez-Blanco y Sapino, 2022).

Por otro lado, desde una perspectiva medioambiental, se argumenta que el cambio hacia los cultivos leñosos de regadío puede provocar cambios significativos, tanto positivos como negativos, en los ecosistemas locales (Tuninetti *et al.*, 2020). Un primer impacto es el uso de agua para regadío que si no es debidamente controlado y planificado puede potencialmente ejercer una presión considerable sobre los recursos hídricos locales, agravando la escasez de agua y provocando conflictos entre los distintos usuarios en regiones donde la disponibilidad de este recurso es limitada (Rathore *et al.*, 2024). Sin embargo, hay evidencia de que cultivos leñosos manejados de manera extensiva e integrada, como por ejemplo la existencia de cubierta vegetal, tiene un impacto positivo en la biodiversidad y captura de carbono (Horak *et al.*, 2013; Raz *et al.*, 2024).

En este contexto, este artículo tiene como objetivos principales: a) analizar los impactos de la expansión de cultivos leñosos tanto en secano como especialmente en regadío en España, b) evaluar las implicaciones de este fenómeno para la política hídrica (con especial atención a la gestión del agua en escenarios de sequía), y c) proponer recomendaciones para una asignación eficiente de los recursos hídricos y una adaptación efectiva a los crecientes riesgos relacionados con las sequías y la escasez de agua.

Este artículo se estructura en varias secciones en las que se describe los resultados de un análisis de la expansión de los cultivos perennes en España entre 1990 y 2023, así como sus implicaciones para la política hídrica. Se examina en primer lugar la evolución del secano y del regadío, seguida de un análisis específico del crecimiento de los cultivos leñosos durante ese periodo, diferenciando entre su desarrollo en sistemas de secano y de riego. Posteriormente, se abordan los efectos económicos de esta transformación, considerando tanto las necesidades de capital derivadas de la expansión de estos cultivos como su impacto económico general. A continuación, se analiza el impacto sobre el uso del agua, centrándose en el aumento del riego deficitario y en la reducción de los retornos de riego, factores que influyen en la sostenibilidad de los balances hídricos a nivel de cuenca. Finalmente, se discuten las tendencias actuales y futuras de los cultivos leñosos en el contexto agrícola español, poniendo en perspectiva su papel en la adaptación del

sector a las limitaciones hídricas. Los hallazgos de este estudio pueden ser de gran utilidad para una mejor planificación y gestión de los recursos hídricos, proporcionando información relevante para la formulación de políticas a nivel nacional y regional en un contexto de cambio climático y creciente escasez de agua.

Material y métodos

Fuentes de datos y cálculos de productividad agrícola en España

La investigación realizada en este estudio puede caracterizarse como un análisis descriptivo de naturaleza histórica. Las principales fuentes y técnicas empleadas para obtener la información incluyen revisiones documentales y fuentes de datos de estadísticas oficiales. Las variables observadas proceden de fuentes oficiales como el Instituto Nacional de Estadística (INE, 2022) y el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA, 2023), complementadas con estimaciones propias debidamente justificadas.

El estudio del impacto económico del cambio de orientación productiva en la agricultura española se lleva a cabo mediante el análisis de la productividad aparente de los factores: i) agua de riego, ii) mano de obra agrícola y iii) tierra, estimándose a partir de la metodología detallada por FAO y UN-Water (2021) que ya ha sido aplicada con anterioridad a la cuenca del Guadalquivir por Expósito y Berbel (2019). Como indicador de productividad se utilizó el valor de la producción final agraria (PFA) transformado a precios constantes mediante el deflactor del producto interno bruto (PIB). La productividad aparente bruta del agua de riego (PAR) se define como la productividad final agrícola (PFA) vegetal dividida por el volumen de agua de riego utilizada, expresada en EUR/m³.

$$PAR_j = \frac{PFA_j \times (1 - P_j)}{V_j} \quad (1)$$

donde:

PAR_j = productividad del agua de riego (EUR/m³) en el año j

PFA_j = producción final agrícola (EUR) en el año j

P_j = porcentaje de PFA producida por la agricultura de secano en el año j

V_j = volumen total de agua utilizada para el riego (hm³) en el año j

Además, P_j puede calcularse en función del porcentaje de tierras de regadío sobre el total de tierras de cultivo, de la siguiente manera:

$$P_j = \frac{1}{1 + \frac{PI_j}{(1 - PI_j) \times 0,45}} \quad (2)$$

donde: PI_j es el porcentaje de tierras de regadío sobre el total de tierras de cultivo en el año j y el valor 0,45 es un coeficiente genérico predeterminado entre los rendimientos de los cultivos de secano y regadío en España (MAPA, 2023).

La productividad de la tierra agrícola (expresada en EUR/ha) se estimó como PFA vegetal agrícola, generada por la superficie cultivada 'S',

$$PT_j = \frac{PFA_j}{S(ha)_j} \quad (3)$$

donde:

PT_j = productividad de las tierras agrícolas (EUR/ha) en el año j

PFA_j = producción final agrícola (EUR) en el año j

ha_j = tierras cultivadas de secano y regadío (ha) en el año j

La productividad de la mano de obra agrícola se estimó como el valor económico medido como la producción agrícola final generada por el número de personas empleadas en el sector agrícola, expresado en EUR/trabajador.

$$PMO_j = \frac{PFA_j}{MO_j} \quad (4)$$

donde:

PMO_j = productividad de la mano de obra agrícola (EUR/trabajador) en el año j

PFA_j = producción final agraria (vegetal + animal) (EUR) en el año j

MO_j = número de personas empleadas en el sector agrario en el año j

Una de las medidas más relevantes de la productividad agrícola es la de la productividad total de los factores (PTF), que mide la cantidad de producción agrícola obtenida a partir del conjunto de tierra, trabajo, capital y recursos materiales empleados en la producción agrícola. Si la producción total crece más deprisa que los insumos totales, entonces la productividad total de los factores está aumentando. Para la revisión de la evolución de las tasas de crecimiento de la PTF agrícola, utilizamos el producto de datos sobre productividad agrícola internacional del Servicio de Investigación Agrícola del Departamento de Agricultura de los EE.UU., que ha proporcionado índices anuales de PTF agrícola para países y regiones del mundo desde 1961. La serie, ampliamente revisada y actualizada (Fuglie, 2022), incluye datos sobre la agricultura en España.

Análisis estadístico

Se realizó un análisis de correlación parcial para examinar las relaciones entre los indicadores de productividad agrícola, utilizando el año como variable de control. Los resultados se presentaron en una matriz de

correlaciones parciales, donde cada celda representa la correlación entre dos indicadores, una vez que se ha controlado el efecto del tiempo. Es importante aclarar que, en este contexto, el tiempo (representado por el año) se utiliza como variable de control para eliminar cualquier tendencia temporal común que pudiera influir en las relaciones entre las variables de interés.

La correlación parcial mide la relación lineal entre dos variables, después de eliminar el efecto lineal de una tercera variable. Matemáticamente, se calcula como la correlación entre los residuos de dos regresiones simples. Si denotamos por e_{1i} los residuos de la regresión de Y_1 sobre X , y por e_{2i} los residuos de la regresión de Y_2 sobre X , entonces la correlación parcial entre Y_1 y Y_2 dado X se define como:

$$R(Y_1, Y_2|X) = \text{corr}(e_{1i}, e_{2i}) \quad (5)$$

Esta expresión indica que estamos calculando la correlación entre las partes de Y_1 y Y_2 que no pueden explicarse por la tendencia temporal (es decir, el efecto del tiempo). En otras palabras, el análisis permite examinar la relación entre las variables una vez que se ha ajustado por la influencia temporal.

Resultados y discusión

Evolución del secano y regadío

La Figura 1 muestra la evolución de la superficie cultivada en España, donde puede verse que en el periodo 1965-2023 la superficie total cultivada se reduce en su conjunto en un 18 %, si bien el secano se reduce en un 30 % mientras el riego aumenta en un 207 % (datos de 2023 provisionales). Esto implica que el secano pierde 5,7 M. ha durante este periodo, de las cuales 1,9 M. ha se transforman en nuevos riegos y 3,8 M. ha se abandonan.

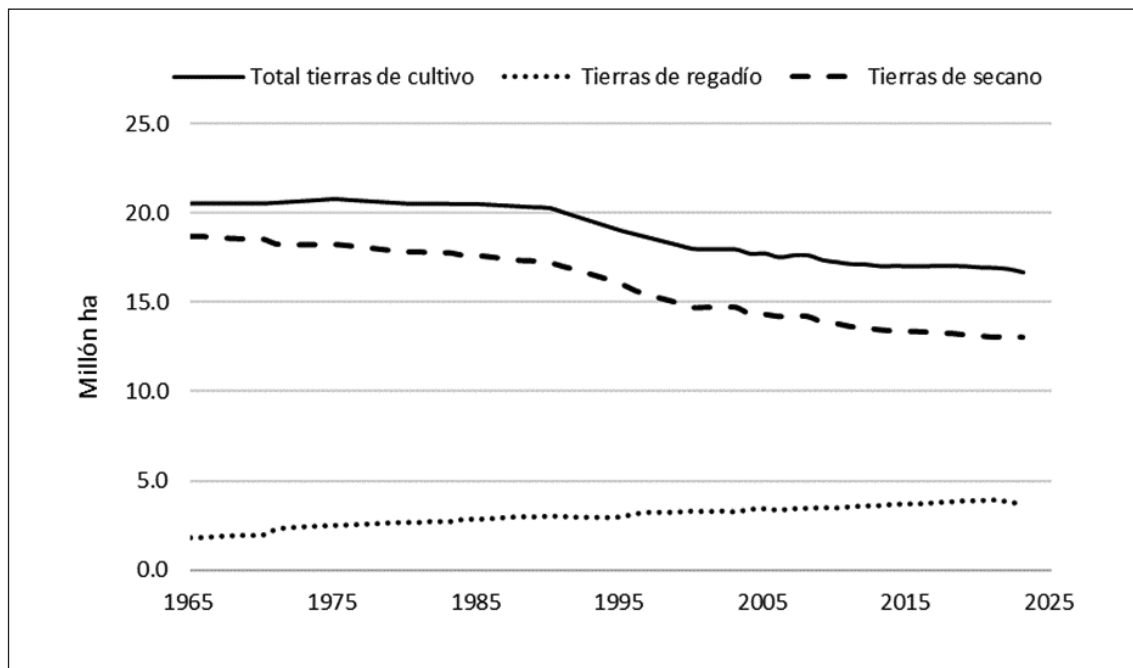


Figura 1. Evolución de cultivos de secano y riego en España, 1965-2023 (M. ha). Fuente: Espinosa-Tasón et al. (2020) (años 1965-2018); elaboración propia a partir de MAPA (2023) (años 2018-2023).

Figure 1. Evolution of rainfed and irrigated crops in Spain, 1965-2023 (Million ha). Source: Espinosa-Tasón et al. (2020) (years 1965-2018); own elaboration based on MAPA (2023) (years 2018-2023).

Evolución de los cultivos leñosos, 1990-2023

Al analizar el decrecimiento de la superficie total cultivada, vemos que este se explica por el abandono del secano, especialmente en el cultivo de herbáceos. En España, el total de estos cultivos se reduce en 2,5 M. ha (0,62 M. ha en riego y 1,96 M. ha en secano) mientras que los leñosos aumentan en su conjunto en 0,58 M. ha, si bien esta cifra oculta una realidad que comentamos en la próxima sección.

Como puede observarse en la Figura 2, el impacto de las sequías en los periodos 1990-1995, 2005-2008 y 2017-2023 produce una reducción más acusada en el cultivo de herbáceos que no afecta el cultivo de leñosos. Es decir, como parte de la adaptación a la sequía, los agricultores reducen el secano y de-

rivan agua a leñosos, ya sea internamente dentro de la propia explotación, a nivel de Comunidad de Regantes, o incluso mediante la compra de derechos.

Evolución de los cultivos leñosos de secano y riego, 1990-2023

La superficie dedicada al riego en cultivos leñosos ha aumentado considerablemente en los últimos años (Figura 3), en detrimento de los cultivos de secano. Este crecimiento se explica en gran medida por la expansión de los olivares bajo riego, que representan alrededor del 50 % de este incremento. Esta transformación, junto con la implementación de técnicas como el riego deficitario, según indican recientes investigaciones de Sánchez-

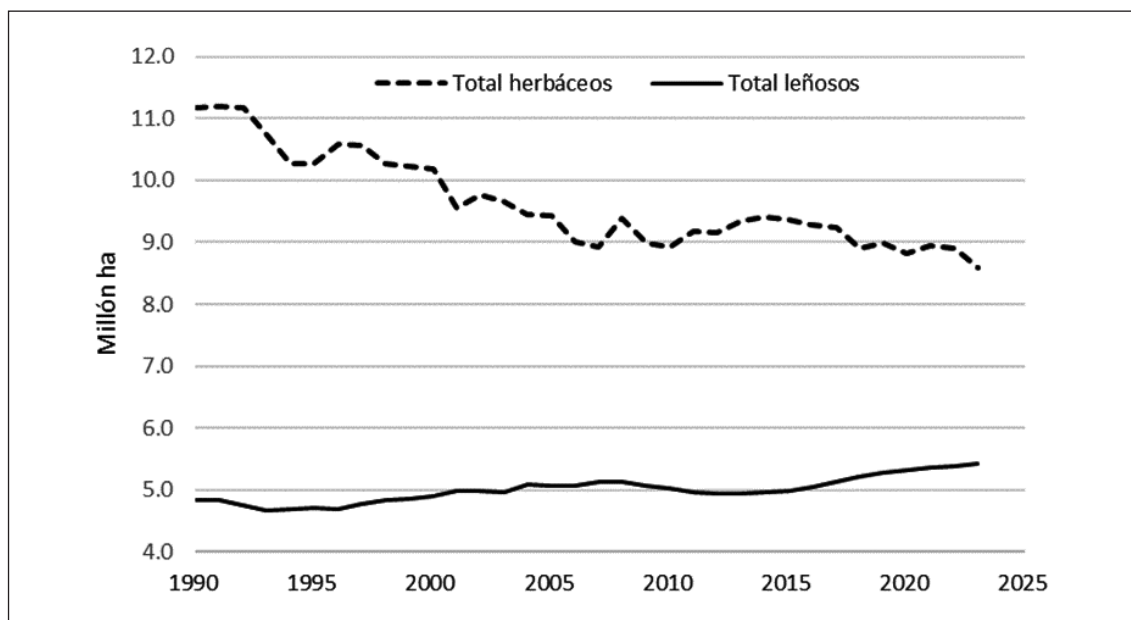


Figura 2. Evolución de cultivos herbáceos y leñosos en España, 1990-2023 (M. ha). Fuente: Espinosa-Tasón et al. (2020) (años 1990-2018); elaboración propia a partir de MAPA (2023) (años 2018-2023).
 Figure 2. Evolution of herbaceous and woody crops in Spain, 1990-2023 (Million ha). Source: Espinosa-Tasón et al. (2020) (years 1990-2018); own elaboration based on MAPA (2023) (years 2018-2023).

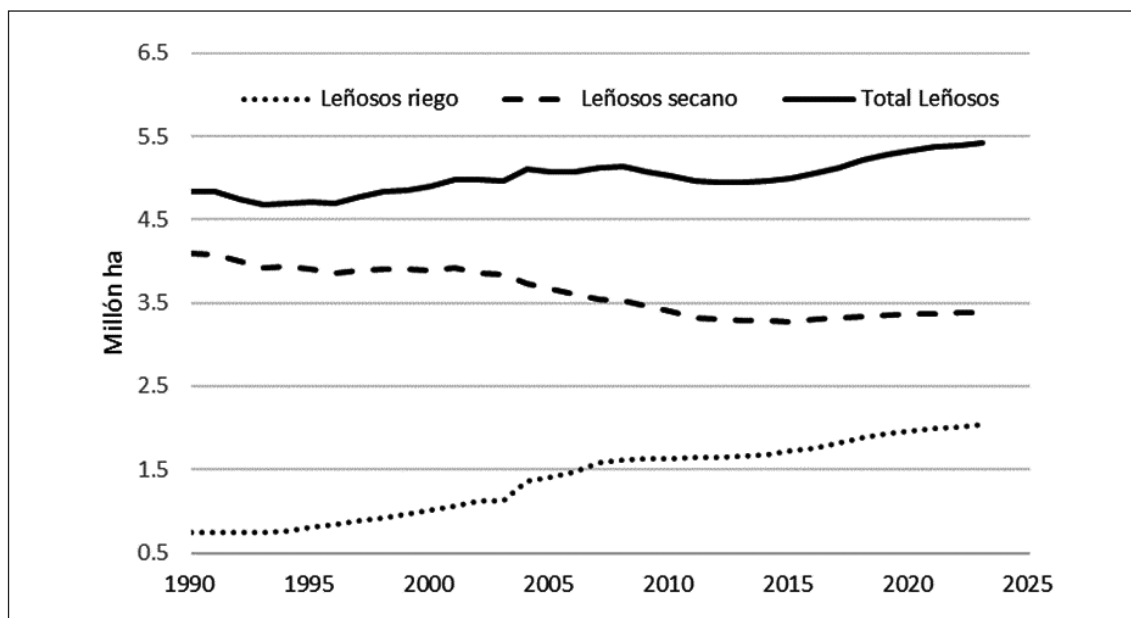


Figura 3. Evolución del cultivo de leñosos en secano y riego en España, 1990-2023 (M. ha). Fuente: Espinosa-Tasón et al. (2020) (años 1990-2018); elaboración propia a partir de MAPA (2023) (años 2018-2023).
 Figure 3. Evolution of rainfed and irrigated woody crops in Spain, 1990-2023 (Million ha). Source: Espinosa-Tasón et al. (2020) (years 1990-2018); own elaboration based on MAPA (2023) (years 2018-2023).

Piñero et al. (2024), permiten ahorrar hasta un 50 % de agua sin afectar la producción, indicando una adaptación del sector agrícola a las condiciones de escasez hídrica.

En la Figura 3 puede observarse también que ocurre un aumento de leñosos en riego más señalado en torno a los años 2003-2004, lo cual coincide con el periodo más intenso de modernización de regadíos. En cuanto al secano, por otro lado, puede verse una primera fase donde hay una reducción prolongada y constante hasta 2015 (que marca el mínimo de la serie), seguida de un aumento de aproximadamente 107.000 ha desde 2016 (mayormente olivares, almendros y pistachos).

Evolución global de los cultivos leñosos secano y riego, 1990-2023

A partir de los datos arriba indicados, se deduce que los leñosos en su conjunto pasan del 24 % del total cultivado en España en 1990 al 32 % en 2023, y que los leñosos en regadío pasan del 25 % al 45 % en el mismo periodo, siendo que en regiones como Andalucía llegan al 66 %. Es decir, vemos que casi la mitad del regadío español ya se ha arbolado, especialmente si descontamos de los herbáceos algunos cultivos muy especializados como los invernaderos o los arrozales de Andalucía y Valencia.

Mientras que el porcentaje de cultivos leñosos sobre la superficie total de cultivo ha aumentado en la mayoría de las comunidades autónomas, la misma tendencia no se observa en Aragón, Baleares, Canarias, Cataluña y la Comunidad de Madrid. En estas regiones, el porcentaje de cultivos perennes ha disminuido, lo cual se explica en gran parte por la significativa reducción de la superficie con cultivos leñosos de secano y la simultánea contracción de la superficie total cultivada (INE, 2022; MAPA, 2023), lo cual sugiere que una parte importante de estas tierras ya no

es utilizada para la agricultura. Esta evolución es objeto de otro estudio detallado actualmente en desarrollo.

Efectos económicos del aumento de cultivos leñosos

Necesidades de capital

El crecimiento de cultivos leñosos en sentido amplio implica un aumento del capital biológico. La inversión necesaria para la implantación de arbolado, por ejemplo, de un olivar tradicional (excluido riego), supone unos 1.500 EUR/ha y puede llegar hasta 4.000 EUR/ha en el caso de un olivar superintensivo (Tribaldos Campos y Tribaldos Campos, 2023). A los costes de implantación hay que añadir el lucro cesante y cuidados necesarios hasta que la cosecha alcance el umbral de rentabilidad. Los costes de estos cuidados son muy variables según la densidad de los cultivos, pero en general pueden ser estimados en 800 EUR/ha·año durante cinco años, lo que nos da un coste de plantación en su entrada en producción (quinto año como referencia) en el rango de unos 4.000 EUR/ha, llevándonos así a un valor del capital biológico de unos 5.500 EUR/ha a 8.000 EUR/ha (Comex Bodi6n, 2023).

Por otro lado, en el caso del almendro cultivado en secano los costes de implantación rondan los 2.500 EUR/ha, mientras que los gastos anuales de mantenimiento (abonado, limpieza, poda, y otros) durante los primeros cinco años en los que los rendimientos son deficitarios suponen un gasto de 900 EUR/ha, lo que supone que en el momento de entrar la plantación en producción rentable lleva acumulada una inversi6n de aproximadamente 7.000 EUR/ha (Junta de Andalucía, 2024).

Con estos ejemplos se pretende dar una idea del capital biol6gico que se puede traducir en una inmovilizaci6n muy importante de recursos financieros. Estos valores deben incremen-

tarse en el caso del riego con unos 2.000 EUR/ha a 3.000 EUR/ha si consideramos exclusivamente la instalación del sistema de riego en parcela. Este capital biológico determina una corriente futura de cobros mayor que una tierra dedicada a herbáceos, y el valor de la mayor rentabilidad esperada se capitaliza en el precio de la tierra. La Tabla 1 muestra ese valor para Andalucía y España, donde se re-

fleja el capital invertido en la transformación que está observándose en la agricultura española, aunque se debe resaltar que los precios medios de la tierra en España pueden ocultar diferencias importantes debido a la heterogeneidad de las comparaciones (por ejemplo, olivares tradicionales en terrenos marginales frente a plantaciones modernas en Extremadura para el caso del riego).

Tabla 1. Precios medios de la tierra en Andalucía y España (EUR/ha) en 2022.
Table 1. Average land prices in Andalusia and Spain (EUR/ha) en 2022.

	Andalucía	España
Secano		
Herbáceos y barbechos	11.733	7.293
Olivar de transformación	25.983	19.209
<i>Diferencial</i>	<i>14.250</i>	<i>11.916</i>
Riego		
Herbáceos y barbechos	31.870	18.215
Olivar de transformación	39.929	38.906
<i>Diferencial</i>	<i>8.059</i>	<i>20.691</i>

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Junta de Andalucía (2023).

Impacto económico

La inversión de capital en esta transformación trae consigo un aumento del valor de la producción agraria y del empleo. A este respecto, la Figura 4 muestra la evolución de la producción final agraria (PFA), donde se puede observar su tendencia creciente y el impacto de las sequías en 1990-1995, 2005-2008 y actual (2023).

Por otro lado, el aumento de la productividad total de los factores (PTF) en España muestra oscilaciones propias de choques económicos externos (precios, mercados) y ambientales internos (sequías, eventos extremos). Como se observa en la Figura 5, la productividad de

los principales factores ha aumentado significativamente entre 1980 y 2018, que es el valor más recientemente actualizado por el Instituto Nacional de Estadística (INE) (Fuglie, 2022). Los impulsores del aumento de la PTF en el país han sido el mejoramiento de semillas y genética vegetal, la optimización del uso de agua y fertilizantes, la mecanización y automatización, el manejo integrado de plagas y enfermedades, la capacitación y extensión agrícola, y la intensificación del capital (Boussemart y Parvulescu, 2021; OECD, 2023; Sapolaite y Balezentis, 2023). Además, en nuestra opinión, también el capital biológico que supone la inversión en cultivos leñosos.

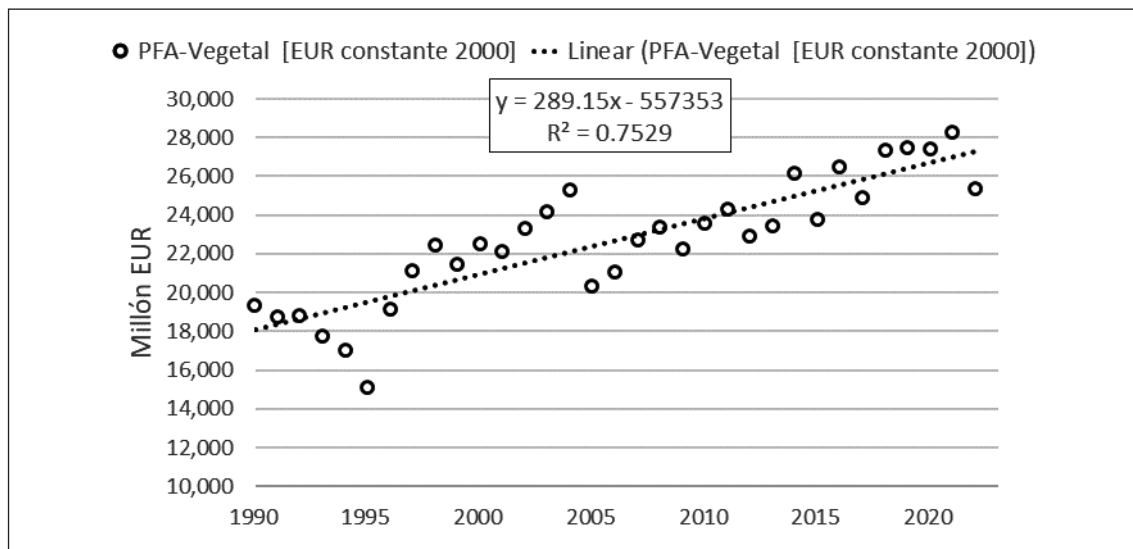


Figura 4. Evolución de la productividad física del agua en España, 1990-2023.

Elaboración propia a partir de MAPA (2023).

Figure 4. Evolution of physical water productivity in Spain, 1990-2023.

Own elaboration based on MAPA (2023).

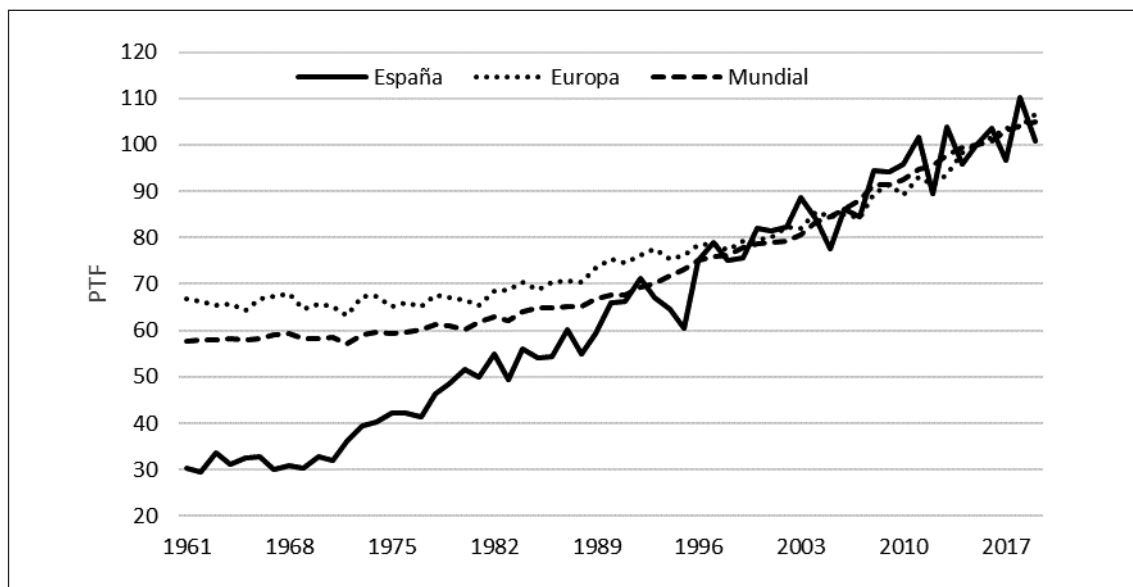


Figura 5. Evolución de la productividad total de los factores (PTF), 1961-2018.

Fuente: Elaboración propia a partir de Fuglie (2022).

Figure 5. Evolution of total factor productivity (TFP), 1961-2018.

Source: Own elaboration based on Fuglie (2022).

La Tabla 2 muestra el análisis de correlaciones parciales realizado, con los años como variable fijada, indicando una fuerte relación lineal entre las diferentes medidas de productividad (EUR/m³, EUR/trabajador y EUR/ha). Esto sugiere que, incluso al controlar el efecto del tiempo, estas variables se mueven en la misma dirección, es decir, al aumentar una, tienden a

aumentar las demás. La sustitución de mano de obra por capital es considerada una fuerza impulsora, especialmente en las explotaciones más grandes y con mayor intensidad tecnológica. Así, como se observa en la Figura 6, la productividad de la mano de obra, tierra y agua en el sector agrícola español han experimentado un aumento significativo a lo largo del tiempo.

Tabla 2. Matriz de correlaciones parciales (número de observaciones = 16) entre indicadores de productividad en España (año fijo).
Table 2. Matrix of partial correlations (number of observations = 16) between productivity indicators in Spain (fixed year).

	Productividad del agua (EUR/m ³)	Productividad de la mano de obra (EUR/trabajador)	Productividad de la tierra (EUR/ha)
Productividad del agua (EUR/m ³)	1,00	<0,0001 ^a	<0,0001 ^a
Productividad de la mano de obra (EUR/trabajador)	0,72	1,00	<0,0001 ^a
Productividad de la tierra (EUR/ha)	0,86	0,81	1,00

^a Nivel de significación estadística asociado con la correlación.
Fuente: Elaboración propia a partir de datos del INE (2022) y del MAPA (2023).

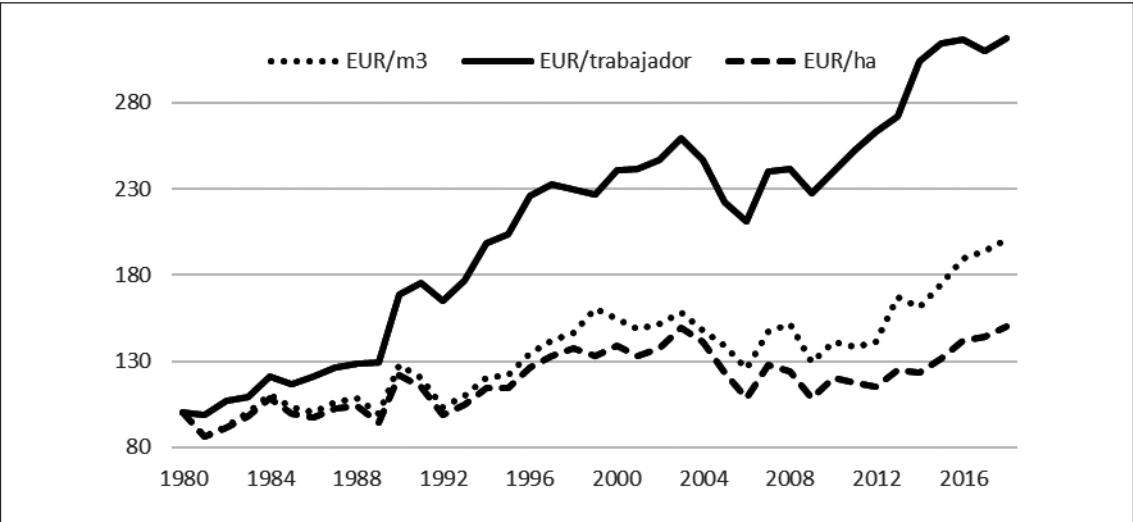


Figura 6. Evolución de la productividad del agua (EUR/m³), de la mano de obra (EUR/trabajador) y de la tierra (EUR/ha) en España, 1980-2018. Elaboración propia a partir de Fuglie (2022).
Figure 6. Evolution of water (EUR/m³), labor (EUR/worker) and land (EUR/ha) productivity in Spain, 1980-2018. Own elaboration based on Fuglie (2022).

Esta tendencia se explica en parte por la disminución de la mano de obra total en el sector agrícola de la Unión Europea (33 % entre 2005 y 2015, frente a 27 % en España en el mismo periodo), al mismo tiempo que el uso total de capital aumentó un 10 % en la región (European Commission, 2016). Sin embargo, es importante recordar que la correlación no implica causalidad. Aunque las variables estén fuertemente relacionadas, no podemos afirmar con certeza que una causa a las otras. Podría existir una tercera variable no observada que influya en todas ellas.

Efectos del aumento de leñosos en el uso del agua

Aumento del riego deficitario

En este apartado nos centramos en el impacto que este aumento de los cultivos leñosos tiene en la gestión de las cuencas. Como ilustración, vemos el caso del río Guadalquivir que es probablemente el más extremo de todas las cuencas españolas donde los cultivos herbáceos disminuyen del 67 % al 37 % de la superficie total regada entre 1989 y 2018, mientras que los perennes, por el contrario, crecen del 33 % hasta el 63 % en el mismo periodo, constituyendo el olivar un total del 50 % de la superficie irrigada en el año 2018 (INE, 2022; Tocados-Franco et al., 2023). Es importante considerar que el arrozal, que representa aproximadamente un 5 % de la superficie regada, se localiza en la zona del estuario y usa aguas de muy baja calidad debido a su salinidad. Dado que estas condiciones impiden su aprovechamiento para cultivos leñosos, dicho porcentaje forma parte del 37 % de superficie dedicada a herbáceos, pero constituye una fracción que, por razones estructurales, no puede ser convertida a otro tipo de cultivo.

De manera simultánea a esta transformación, la superficie total regada en la cuenca del río Guadalquivir aumenta y se reducen las do-

taciones brutas como consecuencia de la modernización. Esto se ve reflejado en la creciente disparidad entre las dotaciones de agua y las necesidades de riego de los cultivos de la cuenca, la cual ha llevado a una condición ‘estructural’ de riego deficitario (RD). Por otra parte, el aumento del suministro relativo de riego (RIS, por sus siglas en inglés), que es la relación entre las dotaciones aplicadas y las necesidades de riego, ha pasado de 0,70 en el año 2000 a 0,56 en el año 2021, lo cual debe considerarse un indicador peligroso de la vulnerabilidad del sistema (Tocados-Franco et al., 2023). Cultivos como el olivar (50 % de la superficie regada) se adaptan bien al RD (aunque se pierde un porcentaje de cosecha), mientras que otros cultivos como el almendro o el naranjo sufren estrés, pero son capaces de sobrevivir con un riego de apoyo en condiciones extremas (con la consiguiente pérdida de cosecha e ingresos). Sin embargo, algunos cultivos sufren significativamente con aplicaciones de agua reducidas que ponen en peligro la rentabilidad y hasta la supervivencia de cultivos y explotaciones agrícolas, como por ejemplo los subtropicales que en 2022-2024 han sufrido pérdidas de cosecha de más del 50 % e incluso arranque de algunas plantaciones como resultado de las restricciones de riego. El RD supone un aumento de la productividad aparente del agua que ha sido estudiado por Expósito y Berbel (2016), quienes analizan los impactos del RD a escala de explotación y lo elevan a escala de cuenca, llegando a la conclusión de que el aumento de la productividad se convierte en una nueva fuerza que retroalimenta la demanda de riego al aumentar el valor del recurso.

Reducción de los retornos de riego

El impacto hidrológico del riego deficitario generalizado es un tema muy relevante que no ha sido estudiado con la profundidad necesaria. Un trabajo pionero al respecto es el de Berbel et al. (2024) que analizan el balance de recursos de la cuenca del río Guadal-

quiver en el Plan Hidrológico vigente y llegan a la conclusión de que los recursos hídricos se sobreestiman sustancialmente cuando se utilizan eficiencias de riego constantes que no tienen en cuenta el impacto del RD. En el Guadalquivir, que es una cuenca típica mediterránea, las eficiencias corregidas por RD, entendidas como la eficiencia calculada para el suministro de riego óptimo económico, dan una eficiencia media de 0,99 (1 % de retornos de riego), excluyendo los cultivos de arroz. Esta cifra es significativamente superior a la eficiencia media de 0,835 (es decir el 16,5 % de retornos de riego asociado) que es estimada por la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir siguiendo el protocolo oficial del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (CHG, 2023).

Las pérdidas o “caudales de retorno de riego” se integran en el balance hídrico como un recurso que luego forma parte de la oferta para ser asignada a los diferentes usuarios. Por lo tanto, dado que los retornos reales debido al RD son menores a las “estimaciones estándar de eficiencia constante por sistema”, se acaba produciendo una sobreestimación que adquiere gravedad cuando una cuenca está ya sobreasignada, como es el caso de la cuenca del Guadalquivir (que presenta un déficit hídrico superior a 300 hm³ en el último Plan Hidrológico 2022-2027 (CHG, 2023). En este contexto, el aumento previsto de la frecuencia de las sequías, unido al incremento de las necesidades de agua de riego debido al aumento de las temperaturas, agrava la vulnerabilidad del sistema a los fenómenos climáticos extremos (Iglesias y Garróte, 2015; Eekhout et al., 2024).

Evolución y perspectivas del cultivo de leñosos en el contexto agrícola español

En este trabajo hemos analizado el impacto que el aumento del cultivo de leñosos tiene sobre la agricultura española, el cual es un ele-

mento clave que sirve para explicar los cambios recientes experimentados por el sector, junto a otros factores muy importantes como: (a) el aumento del tamaño de las explotaciones agrícolas, el cual se pone de manifiesto en la reducción de 7,6 % que el número de explotaciones ha experimentado entre los años 2009 y 2020 (INE, 2022); (b) la revolución tecnológica que va generando economías de escala; (c) la entrada de fondos de inversión (aunque este tema está remitiendo y tiene una importancia menor de la que se le suele atribuir) (García Azcárate, 2024); (d) la especialización productiva y la competitividad de subsectores agrarios; e) los cambios en política agraria; y (f) otros muchos factores que pueden ser causa o efecto del fenómeno de aumento de los leñosos que se ha descrito en este estudio.

En el fondo, la clave del aumento en el cultivo de leñosos en España es la búsqueda de rentabilidad del agricultor, ya sea este individual (pequeño-mediano o grande) o societario. La mayor parte del secano español tiene una rentabilidad baja o nula (García Azcárate, 2020) y la mayoría de los “commodities” cultivados en regadío (como el maíz y el algodón, entre muchos otros) tampoco pueden garantizar una rentabilidad adecuada. En este contexto, la respuesta del sistema agrario es el aumento de productividad de la tierra mediante la inversión en capital biológico (leñosos), capital fabricado (equipos de riego, maquinaria) y recursos naturales, en concreto agua. Un caso extremo de esta tendencia es el de los subtropicales en la Axarquía malagueña que ha llevado el sistema a la sobreexplotación (Hurtado et al., 2024) y que se está tratando de resolver recurriendo a fuentes no convencionales (reutilización y desalación).

Esta respuesta es similar a la que se observa en California. En el condado de Kern, por ejemplo, la producción agrícola ha experimentado un rápido crecimiento de los cultivos perennes desde principios de la década de 2000

junto a la disminución de cultivos anuales como la alfalfa y el algodón (Wartenberg et al., 2022), mientras que en el Valle Central la superficie de cultivos leñosos prácticamente se triplicó durante el periodo 1974-2016, llegando a representar aproximadamente el 60 % de la superficie plantada y el 80 % de los ingresos anuales (Mall y Herman, 2019) al mismo tiempo que el uso total de agua en tierras de cultivo se mantuvo constante (Gebremichael et al., 2021). La misma tendencia se observa en la Unión Europea, donde aproximadamente el 80 % de los cultivos leñosos se encuentra en los países mediterráneos (Italia, Chipre, Portugal, Grecia y España) (FAOSTAT, 2022), y un estudio publicado en 2018 por el Centro Común de Investigación (JRC, por sus siglas en inglés) estima que Chipre experimentará el mayor crecimiento relativo de árboles frutales, de más del 30 %, entre 2015 y 2030 (Perpiña Castillo et al., 2018). Por último, esta tendencia también se observa en la cuenca del Murray Darling (Australia), donde los cultivos leñosos han venido creciendo a costa de los herbáceos (Murray-Darling Basin Authority, 2023).

No obstante, recientes investigaciones han demostrado que el cambio climático antropogénico ha ralentizado el crecimiento de la productividad agrícola mundial, haciéndose más vulnerable la agricultura, principalmente la de secano (Arora, 2019; Acevedo et al., 2020; Ortiz-Bobea et al. 2021; Charoenratana y Kharel, 2024). Asimismo, simulaciones realizadas con diferentes escenarios indican que las transiciones en el uso de los suelos agrícolas son especialmente sensibles a las variaciones externas provocadas por el cambio climático y la dinámica del mercado, y que los paisajes agrícolas pasarán por importantes transformaciones en las próximas décadas para adaptarse a estas alteraciones (Wartenberg et al., 2022).

Conclusiones

Este artículo examina la expansión de los cultivos leñosos a expensas de los herbáceos en el periodo 1990-2023, tanto en secano como en regadío. Durante este tiempo, la superficie de cultivos leñosos ha aumentado del 24 % al 32 % en términos generales y, en el caso del regadío, se ha más que duplicado, pasando del 25 % al 55 %. Este cambio responde a la búsqueda de una mayor rentabilidad y resiliencia económica, ya que los cultivos leñosos representan una intensificación del capital biológico por unidad de superficie. Su mayor productividad se debe a un mejor aprovechamiento del agua del suelo, facilitado por su implantación permanente y su sistema radicular más desarrollado, así como al mayor valor de sus producciones (frutas mediterráneas frente a las “commodities” de los herbáceos). Como resultado, esta transición ha sido un factor determinante en el aumento de la PFA española, que entre 1990 y 2018 creció un 41 % (un 1,3 % anual de media). Otras razones que explican el aumento de la productividad de la agricultura junto al crecimiento de leñosos es el propio desarrollo tecnológico del sector con mejores semillas, aumento de la superficie regada y en general el aumento de la productividad total de los factores.

Este proceso ha sido particularmente significativo en las cuencas del sur de España, donde la escasez estructural de agua ha impulsado la adopción de técnicas de riego de precisión y riego deficitario. Si bien estos métodos han mejorado la productividad del agua, también han incrementado la vulnerabilidad del sector ante las sequías, especialmente en los cultivos perennes, cuya capacidad de ajuste frente a condiciones climáticas extremas es limitada. Además, el incremento del regadío asociado a los leñosos ha intensificado la presión sobre los recursos hídricos,

reduciendo los retornos de riego y afectando la sostenibilidad de los balances hídricos en las principales cuencas agrícolas.

Si bien una mayor productividad de todos los factores (tierra, trabajo, agua) genera efectos positivos, también conlleva una mayor vulnerabilidad a las sequías. Para mitigar este riesgo, será necesario adoptar un amplio abanico de medidas que permitan abordar los principales impactos de la expansión de los cultivos leñosos de regadío en España, especialmente en un contexto de creciente escasez de agua y mayor incidencia de sequías debido al cambio climático. Estas deberán incluir, por ejemplo, el apoyo a la aplicación de tecnologías de riego avanzadas como el riego por goteo y los sensores de humedad del suelo, el desarrollo de planes integrales de gestión del agua que integren datos científicos y prioricen la distribución equitativa, y la promoción de variedades de cultivos resistentes a la sequía. Asimismo, serán fundamentales la mejora de las infraestructuras de almacenamiento y transporte de agua, la gestión de la recarga de acuíferos, la aplicación de políticas de tarificación, el uso de mercados de cesión de derechos, el fomento de la colaboración entre las partes interesadas para el intercambio de conocimientos, y la integración de la gestión del agua con la planificación del uso del suelo y los esfuerzos de conservación del medio ambiente. En este contexto, esperamos que este artículo contribuya a arrojar luz y poner en el foco de los investigadores y administraciones públicas un fenómeno que merece una mayor atención de la que se le ha prestado hasta el momento.

Este estudio ofrece un análisis de la expansión de los cultivos perennes en España entre 1990 y 2023 y analiza sus implicaciones económicas e hídricas, aunque presenta ciertas limitaciones que deben ser consideradas. En primer lugar, el enfoque a nivel nacional y regional, con especial atención a Andalucía, puede enmascarar dinámicas locales heterogéneas, ya que la transición hacia cultivos le-

ñosos no se ha producido de manera uniforme en todo el territorio debido a que factores como la disponibilidad de agua, las condiciones del suelo y del clima, y las estrategias de gestión adoptadas por los agricultores varían entre cuencas hidrográficas y sistemas productivos específicos. Asimismo, el estudio se centra en los efectos sobre el uso del agua y la economía agraria, sin abordar en profundidad los factores explicativos de esta transición, como son la evolución de los mercados internacionales, el papel de las políticas agrarias o la influencia del cambio tecnológico en la rentabilidad de los cultivos perennes. Futuros estudios podrían incorporar evaluaciones a nivel local y regional más detalladas, con el fin de capturar de manera más precisa las múltiples dimensiones de la expansión de los cultivos perennes y sus implicaciones para la sostenibilidad del sistema agrícola.

Agradecimientos

Esta investigación forma parte de los proyectos PID2023-146274OB-I00 (Agencia Estatal de Investigación) y TED2021-131066B-I00 (MCIN/AEI/10.13039/501100011033).

Referencias bibliográficas

- Acevedo S., Mrkaic M., Novta N., Pugacheva E., Topalova P. (2020). The effects of weather shocks on economic activity: What are the channels of impact? *Journal of Macroeconomics* 65: 103207. <https://doi.org/10.1016/j.jmacro.2020.103207>
- Arora N.K. (2019). Impact of climate change on agriculture production and its sustainable solutions. *Environmental Sustainability* 2(2): 95-96. <https://doi.org/10.1007/s42398-019-00078-w>
- Berbel J., Cuadrado-Alarcón B., Martínez-Dalmau J., Delgado-Ramos F. (2024). Hydro-economic basin impacts of extensive adoption of deficit irrigation by farmers: Are we overestimating water resources? *Journal of Hydrology* 634: 131075. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2024.131075>

- Boussemart J., Parvulescu R. (2021). Agriculture productivity gains and their distribution for the main EU members. *Revue d'Économie Politique*. 131: 137-172. <https://doi.org/10.3917/redp.311.0143>
- CHG – Confederación Hidrográfica del Guadalquivir (2023). Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir (2022-2027). <https://www.chguadalquivir.es/tercer-ciclo-guadalquivir>
- Comex Bodi6n (2023). ¿Cuál es el Coste de plantación olivar intensivo? Disponible en: <https://comexbodon.com/olivar-intensivo-coste-produccion/> (Consultado: 30/10/2024)
- Eekhout J.P.C., Delsman I., Baartman J.E.M., van Eupen M., van Haren C., Contreras S., Martínez-L6pez J., de Vente J. (2024). How future changes in irrigation water supply and demand affect water security in a Mediterranean catchment. *Agricultural Water Management* 297: 108818. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2024.108818>
- Espinosa-Tas6n J., Berbel J., Guti6rrez-Mart6n C. (2020). Energized water: Evolution of water-energy nexus in the Spanish irrigated agriculture, 1950-2017. *Agricultural Water Management* 233: 106073. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106073>
- European Commission (2016). Productivity in EU agriculture – Slowly but steadily growing. EU Agricultural Markets Briefs No. 10, pp. 1-19.
- Exp6sito A., Berbel J. (2016). Microeconomics of deficit irrigation and subjective water response function for intensive olive groves. *Water* 8(6): 254. <https://doi.org/10.3390/w8060254>
- Exp6sito A., Berbel J. (2019). Drivers of irrigation water productivity and basin closure process: Analysis of the Guadalquivir River basin (Spain). *Water Resources Management* 33: 1439-1450. <https://doi.org/10.1007/s11269-018-2170-7>
- FAO, UN-Water (2021). Progress on change in water-use efficiency. Global status and acceleration needs for SDG indicator 6.4.1. Rome, FAO and UN Water. <https://doi.org/10.4060/cb6413en>
- FAOSTAT (2022). Food and agriculture data. Food and Agriculture Organization (FAO). <http://www.fao.org/faostat/en/#data> (Consultado: 21/06/2024)
- Fuglie K.O. (2022). Agricultural total factor productivity growth indices for individual countries, 1961-2015. Washington, D.C., World Bank Group.
- García Azcárate T., Langreo Navarro A. (2020). Reflexiones para un futuro Plan Estratégico de los secanos principalmente de las dos Castillas. *Revista Española de Estudios Agrosociales y Pesqueros* 256: 53-78.
- García Azcárate T. (2024). ¿Son los fondos de inversión el problema del campo? Plataforma Tierra. Disponible en: <https://www.plataforma-tierra.es/comunidad/las-pildoras-de-la-pac/fondos-de-inversion-el-problema-del-campo> (Consultado: 17/02/2025)
- Garrido Sánchez-Cano S. (2023). La gran proyección de los cultivos leñosos en España. *Agricultura: Revista Agropecuaria y Ganadera* 1073: 12-16.
- Gebremichael M., Krishnamurthy P.K., Ghebremichael L.T., Alam S. (2021). What drives crop land use change during multi-year droughts in California's Central Valley? Prices or concern for water? *Remote Sensing* 13(4): 650. <https://doi.org/10.3390/rs13040650>
- Horak J., Peltanova A., Podavkova A., Safarova L., Bogusch P., Romportl D., Zasadil P. (2013). Biodiversity responses to land use in traditional fruit orchards of a rural agricultural landscape. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 178: 71-77. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.06.020>
- Hurtado A.R., Díaz-Cano E., Berbel J. (2024). The paradox of success: water resources closure in Axarquía (Southern Spain). *Science of the Total Environment* 946: 174318. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.174318>
- Iglesias A., Garrote L. (2015). Adaptation strategies for agricultural water management under climate change in Europe. *Agricultural Water Management* 155: 113-124. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2015.03.014>
- INE – Instituto Nacional de Estadística (2022). Censo agrario 2020. https://www.ine.es/dyngs/INEbase/es/operacion.htm?c=Estadistica_C&cid=1254736176851&menu=resultados&secc=1254736195186&idp=1254735727106#!tabs-1254736195761 (Consultado: 02/06/2024)

- Junta de Andalucía (2023). Encuesta anual de precios de la tierra. <https://www.juntadeandalucia.es/organismos/agriculturapescaaguaydesarrollorural/servicios/estadistica-cartografia/estadisticas-agricolas/paginas/encuesta-anual-precios-tierra.html> (Consultado: 11/06/2024)
- Junta de Andalucía (2024). Costes de producción de almendro. Campaña 2022/2023. <https://www.asajajaen.com/wp-content/uploads/2024/02/Costes-almendro-2022-23.pdf> (Consultado: 31/10/2024)
- Mall N.K., Herman J.D. (2019). Water shortage risks from perennial crop expansion in California's Central Valley. *Environmental Research Letters* 14(10): 104014. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab4035>
- MAPA - Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (2023). Encuesta sobre superficies y rendimientos de cultivos (ESYRCE). Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. <https://www.mapa.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticas-agrarias/agricultura/esyrce/> (Consultado: 10/06/2024)
- Murray-Darling Basin Authority (2023). Trends in water use across the basin. www.mdba.gov.au/water-use/trends-water-use-across-basin (Consultado: 21/02/2025)
- OECD – Organisation for Economic Co-operation and Development (2023). Policies for the Future of Farming and Food in Spain. OECD Agriculture and Food Policy Reviews, OECD Publishing, Paris, 180 pp. <https://doi.org/10.1787/a93d26be-en>
- Ortiz-Bobea A., Ault T.R., Carrillo C.M., Chambers R.G., Lobell D.B. (2021). Anthropogenic climate change has slowed global agricultural productivity growth. *Nature Climate Change* 11(4): 306-312. <https://doi.org/10.1038/s41558-021-01000-1>
- Pérez-Blanco C.D., Sapino F. (2022). Economic sustainability of irrigation-dependent ecosystem services under growing water scarcity. *Insights from the Reno River in Italy. Water Resources Research* 58: e2021WR030478. <https://doi.org/10.1029/2021WR030478>
- Perpiña Castillo C.P., Kavalov B., Diogo V., Jacobs-Crispion C., Silva F.B.E., Baranzelli C., Lavallo C. (2018). Trends in the EU agricultural land within 2015–2030. JRC Working Papers (Joint Research Centre) No. JRC113717, European Commission, pp. 1-6.
- Rathore L.S., Kumar M., Hanasaki N., Mekonnen M.M., Raghav P. (2024). Water scarcity challenges across urban regions with expanding irrigation. *Environmental Research Letters* 19(11): 014065. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ad178a>
- Raz S., Hila S., Assaf S. (2024). Ecological, social and economic benefits of organic olive farming outweigh those of intensive and traditional practices. *Science of the Total Environment* 921: 171035. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.171035>
- Sánchez-Piñero M., Corell M., Moriana A., Pérez-López D., de Sosa L.L., Medina-Zurita N., Castro-Valdecantos P., Martín-Palomo M.J. (2024). Response of young super-high density table olive orchard (Manzanilla de Sevilla) to different water stress levels considering an accurate determination of endocarp development. *Agricultural Water Management* 303: 109044. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2024.109044>
- Sapolaite V., Balezentis T. (2023). Growth in agricultural productivity: data, models, and results. *Journal of Global Information Management* 31(4): 1-16. <http://doi.org/10.4018/JGIM.320815>
- Tocados-Franco E., Berbel J., Expósito A. (2023). Water policy implications of perennial expansion in the Guadalquivir River Basin (southern Spain). *Agricultural Water Management* 282: 108286. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108286>
- Tocados-Franco E., Martínez-Dalmau J., Espinosa-Tasón J., Montilla-López N.M. (2024). Trends in water-energy nexus and carbon emissions balance in Axarquía region, Spain, in the period 1990–2030. *Environmental Processes* 11(1): 1-25. <https://doi.org/10.1007/s40710-024-00689-4>
- Tribaldos Campos J., Tribaldos Campos H. (2023). El olivar en España: Tradicional, intensivo y superintensivo. Disponible en: <https://www.agro.basf.es/es/Camposcopio/Secciones/Proteccion/C3%B3n-y-sanidad/olivar-en-espana/>. (Consultado: 23 febrero 2024)
- Tuninetti M., Ridolfi L., Laio F. (2020). Ever-increasing agricultural land and water productivity: a global multi-crop analysis. *Environmental Research Letters* 15: 0940a2. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abacf8>
- Wartenberg A.C., Moanga D., Butsic V. (2022). Identifying drivers of change and predicting future land-use impacts in established farmlands. *Journal of Land Use Science* 17(1): 161-180. <https://doi.org/10.1080/1747423X.2021.2018061>

(Aceptado para publicación el 4 de marzo de 2025)

PREMIOS DE PRENSA AGRARIA 2025 DE LA ASOCIACIÓN INTERPROFESIONAL PARA EL DESARROLLO AGRARIO

La Asociación Interprofesional para el Desarrollo Agrario (AIDA) otorga un premio anual de Prensa Agraria para destacar aquel artículo de los publicados en ITEA en el año 2025 que reúna las mejores características técnicas, científicas y de valor divulgativo y de transferencia al sector, así como un impacto relevante de sus resultados. El artículo deberá reflejar 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. Podrán 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 2025. 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.

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 cuota anual. En ese caso, adjunte un comprobante de la transferencia.

Apellidos:		Nombre:	
NIF:			
Dirección Postal:			
Teléfono:		Fax:	e-mail:
Empresa:			
Área en que desarrolla su actividad profesional:			
		En _____, a ____ de _____ de 20__	
		Firma:	

FORMA DE PAGO (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__		Sello de la Entidad:	
Firmado:			

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 estas 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 a 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 facilite 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

Puede encontrar toda la información sobre como hacer los envíos,
las directrices de como hacer los manuscritos y las licencias
bajo las que se publican los artículos en nuestra web, en la URL
<https://www.aida-itea.org/index.php/revista-itea/envio-de-articulos>

Volumen 121

Número 2

Junio 2025

itea

información técnica económica agraria

www.aida-itea.org

REVISTA DE LA ASOCIACIÓN INTERPROFESIONAL PARA EL DESARROLLO AGRARIO

