

itea

información técnica económica agraria

REVISTA DE LA ASOCIACIÓN INTERPROFESIONAL PARA EL DESARROLLO AGRARIO

Volumen 120

Número 2

Junio 2024



aida-itea.org



2024- AÑO LV
Vol. 120 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 Lleida. 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 M ^ª 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>



Texto y foto de Cristina Mallor

El nombre científico *Papaver somniferum* procede de los términos latinos *Papaver*, que significa amapola, y *somniferum*, que significa somnífero en referencia a su acción sedante. En castellano se conoce como adormidera o amapola real. Es una planta que produce alcaloides del opio como la morfina, codeína, tebaína, papaverina y noscapina. Para la obtención de estos alcaloides se realizan incisiones en las cápsulas inmaduras y se recoge el látex blanco que se produce al coagularse y transformarse en una pasta grisácea llamada pasta o panecillo de opio. Las variedades con bajo contenido en alcaloides suelen tener un uso alimentario mientras que las de alto contenido se usan en farmacia. Las semillas tienen un olor dulce y al cocerse desprenden un aroma almendrado. Se utilizan como espesante del curry y otras salsas, como cobertura de panes, en repostería, fritas en ensaladas y vinagretas, y en la producción de aceite comestible.

Sumario

Producción Vegetal

- ¿La nueva terapia para las plantas? – Los aceites esenciales para control de enfermedades en agricultura.
The new therapy for plants? – Essential oils for disease control in agriculture.
 Maricela Santiago-Santiago, Gabriela Sánchez-Viveros, Nicolaza Pariona, Luis Guillermo Hernández-Montiel y Roberto Gregorio Chiquito-Contreras 116

Producción Animal

- Situación genética de las principales líneas puras del merino español.
Genetic situation of the main pure lines of the Spanish merino.
 Gabriel Anaya, Antonio Granero y María Jesús Alcalde 133
- La introducción de las harinas de insectos como suplemento en la ración en rumiantes: una estrategia a adoptar a corto plazo ante la escasez de materias primas.
The introduction of insect meal as a supplement in ruminant rations: a strategy to be adopted in the short term in the face of raw material scarcity. A review.
 Cristina Castillo, Rodrigo Muiño, Jose Luis Benedito y Joaquín Hernández 144
- Influencia del estímulo sexual utilizado en la libido y la calidad seminal del macho cabrío de raza Murciano Granadina.
Influence of the sexual stimulus on libido and seminal quality of the Murciano Granadina caprine breed.
 Sonia Galián, Begoña Peinado, Salvador Ruiz, Ángel Poto y Laura Almela 156
- Variantes del gen *KIT* y su relación con el vellón gris y blanco, así como ojos azules (fenotipo BEW) en alpacas.
Gen KIT variants and its relation to grey, white, and blue eyes (BEW phenotype) in alpacas.
 Carola Melo-Rojas, P. Walter Bravo-Matheus, José Carlos Arias-Flores y Celso Zapata-Coacalla 168

Economía Agraria

- Rentabilidad del compostaje del alperujo como una alternativa bioeconómica.
Profitability of olive mill pomace composting as a bioeconomy alternative.
 David Polonio, Anastasio J. Villanueva y José A. Gómez-Limón 179

¿La nueva terapia para las plantas? – Los aceites esenciales para control de enfermedades en agricultura

Maricela Santiago-Santiago¹, Gabriela Sánchez-Viveros^{1,*}, Nicolaza Pariona², Luis Guillermo Hernández-Montiel³ y Roberto Gregorio Chiquito-Contreras^{1,*}

¹ Posgrado en Ciencias Agropecuarias. Facultad de Ciencias Agrícolas-Campus Xalapa, Universidad Veracruzana. Xalapa, Veracruz, México. CP. 91090.

² Red de Estudios Moleculares Avanzados, Instituto de Ecología A.C. Xalapa, Veracruz, México. CP. 91073.

³ Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, SC. La Paz, Baja California Sur, México. CP. 23096.

Resumen

Las enfermedades de las plantas generan considerables pérdidas económicas en el sector agrícola a nivel mundial y son una amenaza latente a la seguridad alimentaria. El uso de agroquímicos sintéticos representa la estrategia más común para el control de fitopatógenos. El uso excesivo actual de plaguicidas sintéticos causan efectos negativos en el medio ambiente, salud humana y otros organismos. Debido a estas limitaciones surge la necesidad de generar nuevas “terapias” ecológicas y sostenibles para el control de enfermedades en plantas. Algunos estudios proponen el uso de aceites esenciales por su bioactividad como agentes de biocontrol contra plagas en la agricultura. Pero a pesar de sus amplias aplicaciones en otras áreas, su baja solubilidad acuosa, alta volatilidad y sensibilidad a la luz, temperatura y oxígeno, limitan su uso en aplicaciones agrícolas. Por ello, el objetivo de esta revisión es presentar un marco actualizado del uso de aceites esenciales para el control de enfermedades y su impacto en la agricultura.

Palabras clave: Encapsulación, mecanismos de acción, metabolitos secundarios, nanotecnología agrícola, quimiotipos.

The new therapy for plants? – Essential oils for disease control in agriculture

Abstract

Plant diseases generate considerable economic losses in the world agricultural sector and are a latent threat to food security. The use of synthetic agrochemicals represents the most common strategy for the control of phytopathogens. Current excessive use of synthetic pesticides causes negative effects on the environment, human health and other organisms. Due to these limitations, the need arises to generate new ecological and sustainable therapies for the control of diseases in plants. Some studies propose the use of essential oils for their bioactivity as biocontrol agents against pests in agriculture. But despite its wide applications in other areas, its low aqueous solubility, high volatility, and sensitivity to light, temperature, and oxygen limit its use in agricultural applications. Therefore, the objective of this review is to present an updated framework for the use of essential oils for disease control and its impact on agriculture.

Keywords: Agricultural nanotechnology, chemotypes, encapsulation, mechanisms of action, secondary metabolites.

* Autor para correspondencia: gabsanchez@uv.mx; rchiquito@uv.mx

Cita del artículo: Santiago-Santiago M., Sánchez-Viveros G., Pariona N., Hernández-Montiel L.G., Chiquito-Contreras R.G. (2024). ¿La nueva terapia para las plantas? – Los aceites esenciales para control de enfermedades en agricultura. ITEA-Información Técnica Económica Agraria 120(2): 116-132. <https://doi.org/10.12706/itea.2024.005>



Introducción

El uso irracional de los recursos naturales renovables ha generado graves alteraciones a los ecosistemas. Por su parte la expansión de técnicas agrícolas convencionales, como el monocultivo y el uso de agroquímicos, están provocando una gran crisis ecológica a escala mundial, así como la pérdida de diversos recursos fitogenéticos (Devi et al., 2022). De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2002), cerca de la tercera parte del suelo agrícola está degradada; y el 75 por ciento de la diversidad genética de los cultivos se ha perdido. Por esto, estrategias como "Farm to Fork" de la Unión Europea, buscan acelerar nuestra transición hacia un sistema alimentario sostenible. De acuerdo con esta estrategia "De la granja a la mesa" existe una urgente necesidad de reducir la dependencia de pesticidas y fertilizantes químicos (Chrpačienė et al., 2021).

En la agricultura, el desarrollo sostenible busca minimizar la degradación del suelo agrícola, maximizando a su vez la producción. Por lo que es necesario desarrollar nuevas estrategias para el control de enfermedades de los cultivos, que afectan el rendimiento y la calidad de la cosecha, causando pérdidas significativas en la producción mundial de alimentos. Investigaciones proponen el uso de productos naturales, que pueden ser sustancias químicas y biológicas aisladas de organismos vivos, de origen microbiano, vegetal o animal, sintetizados a través de vías metabólicas. Los metabolitos de origen vegetal que tienen grandes aplicaciones en productos agrícolas, farmacéuticos y alimentos, se dividen en dos grupos principales: primarios y secundarios (Kumar et al., 2022; Elshafie et al., 2023).

A pesar de la intensa investigación sobre los productos naturales de plantas, solo dos tipos de insecticidas botánicos se han comerciali-

zados con éxito en los últimos 15 años, los basados en extractos de semillas de neem (*Azadiractina*) y los basados en aceites esenciales de plantas (Isman et al., 2011). Las catastróficas enfermedades de las plantas agravan el actual déficit de suministros de alimentos en el que cerca de 800 millones de personas no están alimentadas adecuadamente. Y las pérdidas a nivel mundial son casi un tercio de la producción de alimentos agrícolas, cerca de 1300 millones de toneladas anuales con un valor de un billón de dólares aproximadamente.

Las propiedades de los aceites esenciales como actividades antioxidantes, antimicrobianas y bactericidas, se han reportado desde hace mucho tiempo, por ello se utilizan ampliamente en medicina tradicional, cosmética y la industria de alimentos (Figura 1). Aunque se conocen los efectos contra diversos hongos fitopatógenos, oomicetes, bacterias, y malas hierbas (malezas), su uso en agricultura aún es muy escaso. Por la mayor demanda de los consumidores hacia el desarrollo de productos naturales, seguros y efectivos, los aceites esenciales han sido el foco central de la comunidad científica (Jugreet et al., 2020). Esta revisión tiene como objetivo describir la aplicación y actividad biológica de los aceites esenciales para el control de enfermedades en agricultura.

Enfermedades en la agricultura

Las enfermedades de las plantas ponen en peligro la agricultura y silvicultura de manera significativa en todo el mundo (Strange y Scott, 2005). Cada año se pierden entre el 20 y 40 % de los cultivos debido a esta situación (Worrall et al., 2018). Las enfermedades son el resultado de interacciones entre bacterias, hongos, virus, su huésped (planta) y el medio ambiente. El término enfermedad en fitopatología se puede aplicar a "una condición desordenada en las plantas". Patógenos

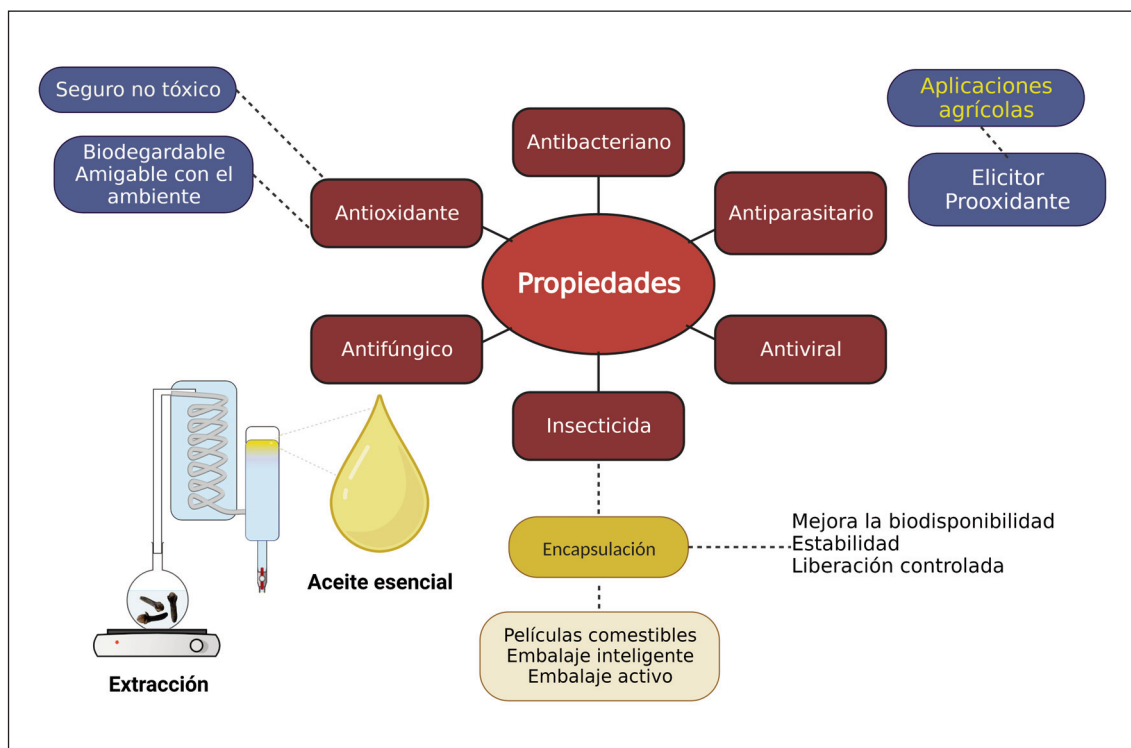


Figura 1. Propiedades de los aceites esenciales.
 Figure 1. Properties of essential oils.

fúngicos, bacteriano, virales y nemátodos son los principales causantes de enfermedades en las plantas. Algunos ejemplos de síntomas de las enfermedades (Tabla 1) incluyen el retraso en el crecimiento de las plantas, entrenudos más cortos, desarrollo inadecuado de raíces, malformación de hojas, producción inadecuada de clorofila y otros pigmentos, falta de desarrollo de frutos y flores (Riley *et al.*, 2002).

En los últimos años, los productos de síntesis química han sido utilizados ampliamente como fungicidas sintéticos para proteger los cultivos de forma efectiva. Pero, estos productos sintéticos con compuestos químicos muy poco biodegradables (benzimidazoles, hidrocarburos aromáticos e inhibidores de la biosíntesis de esteroides) son asociados con

un mayor impacto al medio ambiente y salud humana. Además de sus consecuencias ecológicas, son irritantes, tóxicos, mutagénicos, teratogénicos y en algunos casos cancerígenos (Chacón *et al.*, 2021).

El desequilibrio mundial entre la creciente demanda de alimentos de la población y la producción agrícola nos lleva a un estado alarmante de la seguridad alimentaria. Para satisfacer la creciente demanda de calidad y cantidad de alimentos es necesaria una protección eficiente y eficaz de los cultivos agrícolas contra enfermedades. Se han reportado más de 19.000 hongos fitopatógenos que causan enfermedades en cultivos agrícolas y hortícolas en todo el mundo (Jain *et al.*, 2019). Estos hongos juegan un papel fundamental en la rentabilidad, calidad y cantidad

Tabla 1. Síntomas y signos de algunas enfermedades.
 Table 1. Symptoms and signs of some diseases.

Planta	Enfermedad	Agente causal	Síntomas / Signos	Referencias
Zanahoria (<i>Daucus carota</i> L.)	Tizón foliar	<i>Alternaria</i> spp.	Pudrición negra / Conidios	Chrapačiené et al., 2021
Tomate (<i>Solanum lycopersicum</i> L.)	Marchitez del tomate	<i>Phytophthora capsici</i> , <i>Rhizoctonia solani</i> y <i>Fusarium oxysporum</i>	Marchitez y clorosis del follaje; pudrición del sistema de raíces / Macroconidios, esporas	Fernández-Herrera et al., 2013
Café (<i>Coffea arabica</i> L.)	Roya del café	<i>Hemileia vastatrix</i> Berk. & Br.	Manchas cloróticas, lesiones con el centro color café / Urediniosporas color naranja en el envés de las hojas	Talhinhas et al., 2017
Papaya (<i>Carica papaya</i> L.)	Antracnosis en fruto	<i>Colletotrichum</i> spp.	Lesiones hundidas y oscuras / Masas compactas de colonias de esporas color naranja, rosadas o salmon; hifas	Ruiz-Campos et al., 2022

de productos frescos. *Fusarium* se encuentra entre los géneros de hongos de mayor importancia económica mundial, y es de los agentes causales más estudiados. Otras enfermedades fúngicas de gran importancia son las causadas por *Aspergillus* y *Penicillium* spp., que causan descomposición, maduración acelerada y acumulación de micotoxinas (Chang et al., 2022). Otros patógenos de importancia económica durante la etapa de postcosecha y que afectan fácilmente frutas y hortalizas frescas son *Alternaria*, *Botrytis*, *Geotrichum* y *Sclerotinia* (Chen et al., 2014). *Magnaporthe oryzae* ha sido considerado por algunos fitopatólogos como el hongo patógeno de mayor importancia económica, con más de la mitad de la población mundial dependiendo del arroz como principal fuente de calorías. Este fitopatógeno puede tener efectos devastadores en ese cultivo. Otros organismos de importancia mundial son *Botrytis cinerea*, por su amplia gama de huéspedes, causando daños severos en todas las etapas de la cosecha. *Puccinia* spp., que afecta el cultivo de trigo causando las enfermedades de roya; *Colletotrichum* spp., su importancia radica en que prácticamente todos los cultivos son susceptibles a una o más especies de este hongo. Como patógeno postcosecha puede causar pérdidas de hasta el 100 % de la fruta almacenada (Dean et al., 2012). Los agentes causales descritos pueden generar enfermedades como: marchitez, tizón, podredumbre de frutos y tallos, antracnosis, moho gris en tallos y frutos.

Aceites esenciales: Fuentes y métodos de obtención

Los aceites esenciales (AE's) son metabolitos secundarios de las plantas y están compuestos de una mezcla lipofílica o compuestos volátiles producidos, principalmente, por plantas aromáticas y medicinales; presentando una alta actividad contra plagas, insectos y

hongos fitopatógenos (Assadpour et al., 2023). Químicamente, están constituidos por más de 200 compuestos de bajo peso molecular, terpenos o derivados fenilpropánicos. Clasificados en dos clases: fracción volátil y residuo no volátil. La fracción volátil constituye entre el 90 y 95 % del peso total del aceite: monoterpenos, sesquiterpenos y sus derivados oxigenados, en menor proporción alcoholes, ésteres y aldehídos alifáticos. El residuo no volátil está presente entre 1 y 10 % del peso total del aceite esencial, que generalmente son ácidos grasos, hidrocarburos, esteroides, ceras flavonoides y carotenoides (Hanif et al., 2019). Los AE's han demostrado actividad biológica, antimicrobiana, antioxidante, insecticida, bactericida, antiviral, antiinflamatorio, analgésico y anticancerígenos; y son muy utilizados en la conservación de alimentos. Estas mezclas de compuestos biosintetizados por las plantas, también son llamadas aceites volátiles naturales. Los fitoquímicos como alcaloides, flavonoides, ácidos fenólicos, monoterpenos, isoflavonas y aldehídos se reportan como los principales componentes de los aceites esenciales. Las plantas aromáticas más utilizadas son (Tabla 2): tomillo (*Thymus vulgaris*), canela (*Cinnamomum verum*), comino (*Cuminum cuminum*), clavo (*Syzygium aromaticum*), ajedrea (*Satureja hortensis*) y romero (*Salvia rosmarinus*) (Chang et al., 2022). Otras fuentes reportadas son eucalipto (*Eucalyptus globulus*), zacate limón (*Cymbopogon citratus*), ajeno (*Artemisia vulgaris*), alcanforero (*Cinnamomum camphora*), eucalipto (*Eucalyptus globulus*), menta (*Mentha*), orégano (*Origanum vulgare*) y pimienta negra (*Piper nigrum*).

Algunos reportes indican más de 3000 tipos diferentes de aceites esenciales, pero solo 300 son utilizados ampliamente en la industria alimentaria. En 2021, el mercado global de AE's fue de 8,74 mil millones de dólares (USD). Con una proyección de 2021 al 2028, que el mercado aumentará de 9,62 a 18,25 mil millones de dólares (Rout et al., 2022).

Los aceites esenciales se pueden obtener de diversas plantas, especialmente, de especies aromáticas (Ni et al., 2021). Se extraen de la materia prima (órgano de la planta) utilizando técnicas tradicionales, como el prensado en frío, hidrodestilación y la destilación por arrastre de vapor. También existen algunas innovadoras como la hidro y destilación asistida por microondas y extracción con fluido super crítico. Generalmente, se extraen por hidrodestilación, destilación con vapor y agua y extracción con solventes (da Costa Gonçalves et al., 2021; Ni et al., 2021). El rendimiento de la extracción varía de acuerdo a la fase fenológica de la planta de donde se extraerá (Kesraoui et al., 2022). Regularmente, un AE se constituye de 20 a 60 sustancias activas, pero se caracterizan por tres componentes principales con una concentración relativamente alta, que conforman cerca del 90 % del peso o volumen total del AE. La composición química cambia significativamente de una región de cultivo a otra de la planta; y dentro de un mismo territorio, depende de las diferentes condiciones ambientales, estos pueden redirigir la ruta de biosíntesis modificando la composición química y actividad biológica de estos fitoquímicos.

Quimiotipos de los aceites esenciales

La composición química es la propiedad más importante a considerar en la funcionalidad de un aceite esencial. Principalmente, varían según el órgano de la planta del que se extrae (Raveau et al., 2020). Otros factores que influyen en la composición cuantitativa y cualitativa son: genotipo, ubicación geográfica, estado vegetativo, condiciones del procesamiento de la materia prima (planta), condiciones edáficas y ambientales; y métodos de extracción. Estos factores generan composiciones químicas específicas de un AE, que determinan los "quimiotipos" y "ecotipos".

Tabla 2. Actividad biológica pre cosecha en agricultura de algunos aceites esenciales.
 Table 2. Preharvest biological activity in agriculture of some essential oils.

Fuente de aceite esencial	Compuestos químicos (bioactivos)	Aplicación	Referencias
Clavo (<i>Syzygium aromaticum</i> L. Myrtaceae)	Eugenol, β -cariofileno, α -humuleno	Repelencia y toxicidad contra áfidos	Haro-González et al., 2021
Tomillo común (<i>Thymus vulgaris</i>)	p-Cimeno, carvacrol, γ -terpineno	Control de tizón bacteriano (<i>Pseudomonas syringae</i>) en germinación de soja	Sotelo et al., 2021
Tomillo común (<i>Thymus vulgaris</i>)	Timol y citral	Inhibición del crecimiento del fitopatógeno <i>Fusarium oxysporum</i> en tomate de árbol	Alzate et al., 2009
Limoncillo (<i>Cymbopogon citratus</i>)	Timol y citral	Inhibición del crecimiento del fitopatógeno <i>Fusarium oxysporum</i> en tomate de árbol	Alzate et al., 2009
Pimienta gorda (<i>Pimenta dioica</i>)	Eugenol y metileugenol	Control de <i>Sitophilus zeamais</i> en maíz almacenado	dos Santos et al., 2022
Eucalipto (<i>eucalyptus citriodora</i> , <i>eucalyptus grandis</i> , <i>eucalyptus microcorys</i>)	1,8-Cineol, α -pineno, citronelal, terpineol, limoneno	Antagonismo contra el hongo causal de la roya del caféto (<i>H. vastatrix</i>)	Caetano et al., 2020
Citronela (<i>Cymbopogon</i>)	Citronelal, geraniol y citronelol	Efecto fungicida contra el fitopatógeno del cultivo de tomate <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. lycopersici	Peixoto et al., 2023
Árbol de té (<i>Melaleuca</i>)	Terpinen-4-ol y α -terpineno	Efecto fungicida contra el fitopatógeno del cultivo de tomate <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. lycopersici	Peixoto et al., 2023
Ajedrea (<i>Satureja hortensis</i>)	Carvacrol, γ -terpineno	Actividad herbicida contra malas hierbas <i>Amaranthus retroflexus</i> y <i>Chenopodium album</i>	Hazrati et al., 2017
Ajo (<i>Allium sativum</i>)	No reportado	Actividad antifúngica contra el moho gris (<i>Botrytis cinerea</i>) de la grosella negra (<i>Ribes nigrum</i> L.).	Sesan et al., 2015

Tabla 2. Actividad biológica pre cosecha en agricultura de algunos aceites esenciales (continuación).
 Table 2. Preharvest biological activity in agriculture of some essential oils (continuation).

Fuente de aceite esencial	Compuestos químicos (bioactivos)	Aplicación	Referencias
Clavo de olor (<i>Syzygium aromaticum</i>)	Eugenol, acetato de eugenol, isocariofileno	Pudrición negra de la vaina del cacao causada por especies de <i>Phytophthora</i>	Nana et al., 2015
Menta silvestre (<i>Mentha arvensis</i> L.)	Mentol, mentona, isomentona, metilacetato	Actividad antifúngica contra el agente causal de tizón (<i>Alternaria alternataes</i>) en tomate	Perveen y Bokahri, 2020
Acuyo o hierba santa (<i>Piper auritum</i>)	Timol, eugenol, cimeno	Actividad antifúngica <i>in vitro</i> contra <i>F. oxysporum</i> FCHJ-T6, <i>F. oxysporum</i> FCHA-T7 y <i>F. equiseti</i> FCHE-T8, aislados de raíz de chile habanero (<i>Capsicum chinense</i>)	Chacón et al., 2021
Orégano griego (<i>Origanum vulgare</i> subsp. <i>hirtum</i>)	Carvacrol	Inhibición del crecimiento de <i>Alternaria</i> spp. en zanahoria	Chrapaćienė et al., 2021
Orégano (<i>Origanum vulgare</i> subsp. <i>vulgare</i> L.)	Sabineno, β-cariofileno y germacreno	Inhibición del crecimiento de <i>Alternaria</i> spp. en zanahoria	Chrapaćienė et al., 2021
Ajo (<i>Allium sativum</i>)	Trisulfuro de alilo, disulfuro de dialilo, sulfuro de dialilo	Reducción de síntomas de antracnosis en plantas de fresa causado por <i>Colletotrichum nymphaeae</i> en invernadero	Hosseini et al., 2020
Cúrcuma (<i>Curcuma longa</i> L.)	Curcumina Fracción de hexano	Añublo del arroz (<i>Pyricularia grisea</i>), tizón tardío del tomate (<i>Phytophthora infestans</i>) y tizón de la vaina del arroz (<i>Rhizoctonia solani</i>)	Kim et al., 2003
Cúrcuma (<i>Curcuma longa</i> L.)	Curcumina Fracción de acetato de etilo	Moho gris del pepino (<i>Botrytis cineria</i>), tizón tardío del tomate (<i>Phytophthora infestans</i>), roya de la hoja del trigo (<i>Puccinia recondita</i>) y tizón de la vaina del arroz (<i>Rhizoctonia solani</i>)	Kim et al., 2003

Cuando las variaciones en la composición se deben a las condiciones ambientales se denomina "ecotipos". Pero cuando la composición está bajo el control de la genética de la planta, el perfil químico permanece constante en el tiempo en diferentes ambientes, en este caso se denominan "quimiotipos" (Marcial et al., 2016). Este término es para denominar la molécula aromática que tiene mayor presencia en los AE's. Una de las especies más estudiadas es el *Thymus vulgaris* L. (tomillo silvestre) y es conocida por sus seis quimiotipos que se denominan de acuerdo al monoterpeno dominante presente en el AE: carvacrol, geraniol, thuyanol-4, linalool, α -terpineol y timol (Najar et al., 2021). Los quimiotipos también son plantas morfológicamente similares que tienen diferente composición de metabolitos secundarios.

En especies vegetales ampliamente estudiadas se han identificado diferentes perfiles químicos, estos compuestos (Tabla 2 y 3) son los quimiotipos responsables de la capacidad biológica (antimicrobiana y pesticida) de los aceites esenciales reportados con actividad contra diversas enfermedades vegetales de gran importancia económica. Por ejemplo, en las especies *Eucalyptus globulus* se tiene eucalipto quimiotipo cineol y eucalipto quimiotipo peperitona. En *Mentha piperita* se han identificado menta quimiotipos mentol y mentona. Para *Origanum vulgare* se tiene aceite esencial de orégano quimiotipos cavacrol y timol.

Mecanismos de acción

Los aceites esenciales inhiben el crecimiento microbiano atacando la bicapa de fosfolípidos, alteración del mecanismo enzimático de producción y metabolismo de energía, y la disrupción de la fuerza motriz de protones. Los principales mecanismos de acción en aplicaciones agrícolas de los AE's se presentan en

la Figura 2. El mecanismo antibacteriano de los AE's se debe principalmente a los efectos sinérgicos de sus componentes principales (Ni et al., 2021). Debido a la lipofilia de los AE's, pueden pasar fácilmente a través de la bicapa de fosfolípidos de la membrana celular bacteriana, destruyendo la estructura de la pared celular aumentando la permeabilidad de las membranas celulares (Wang et al., 2019). Los terpenoides, principales componentes de muchos aceites esenciales vegetales, son neurotóxicos para insectos y ácaros (Isman et al., 2011). Algunos autores han reportado que los compuestos fenólicos de los aceites esenciales son capaces de inducir la lisis celular, como un mecanismo de acción fungicida de los aceites (Rhayour et al., 2003).

Debido a sus diversos perfiles químicos, los AE's poseen propiedades antioxidantes, así como efectos citotóxicos y elicitor; además de capacidades prooxidantes. Por su efecto antioxidante activan mecanismos inhibidores de las reacciones de oxidación e inhibición de la formación de lípidos oxidados, ambos por radicales libres o inhibidores de enzimas o moléculas prooxidantes. Sin embargo, estos también pueden tener un efecto prooxidante, lo que pudiera ser una limitante para algunas aplicaciones de protección a cultivos, debido a que un prooxidante puede inducir un estrés oxidativo mediante dos vías: la formación de especies reactivas de oxígeno o por la inhibición de los sistemas antioxidantes.

Aplicación de aceites esenciales en pre y postcosecha

Al igual que el ser humano, las plantas pueden presentar estrés debido a condiciones no favorables de tipo biótico y/o abiótico. Bajo condiciones de estrés, las plantas modifican sus funciones metabólicas y fisiológicas de manera normal, lo que influye negativamente en el crecimiento, desarrollo y pro-

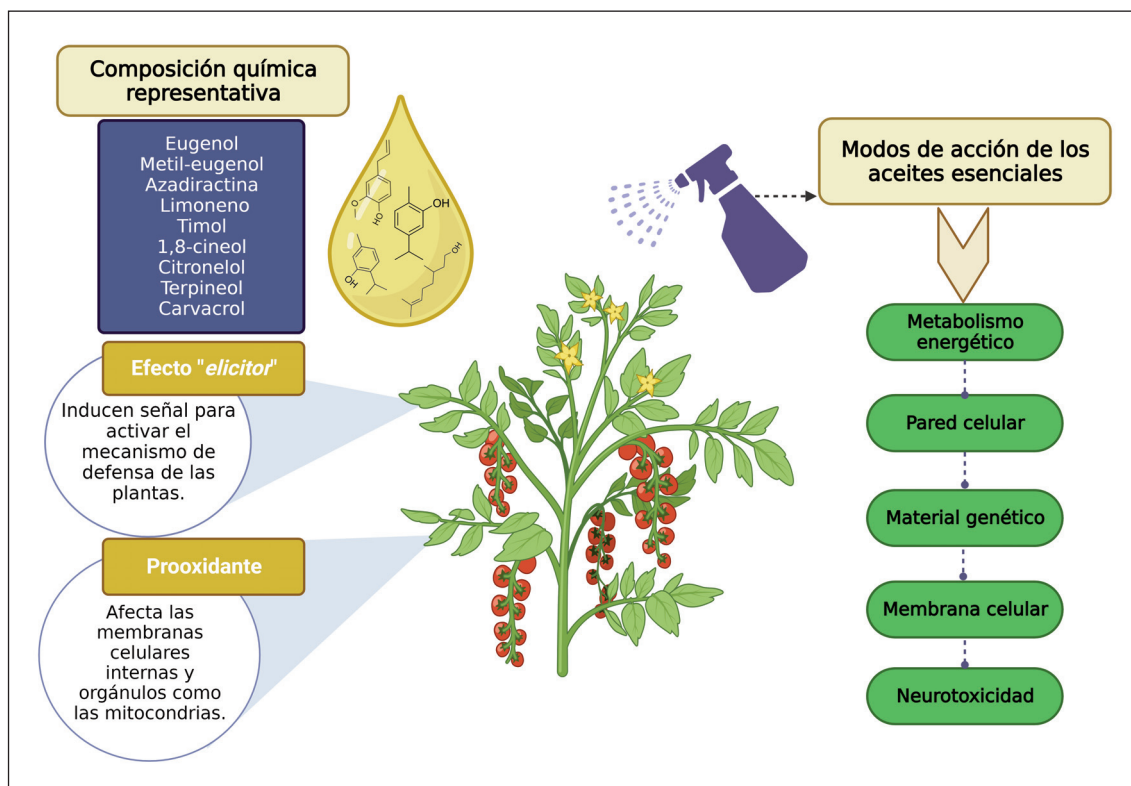


Figura 2. Principales mecanismos de acción de aceites esenciales en agricultura.
 Figure 2. Main mechanisms of action of essential oils in agriculture.

ductividad. Particularmente, el estrés causado por factores bióticos incluye, cierto tipo de microorganismos que infectan a las plantas y desencadenan una respuesta generalizada llamada estrés oxidativo. Aunque este tipo de estrés, con mucha frecuencia es causado por factores abióticos como el estrés hídrico, tanto por exceso de agua como por sequías, salinidad del suelo y toxicidad por metales pesados, entre otros. Las plantas que se someten a un estrés oxidativo podrían recibir una "terapia" a base de aceites esenciales, aprovechando dos propiedades importantes que son su capacidad "antioxidante" y de "elicitor". El estrés oxidativo es un fenómeno complejo, químico y fisiológico, en plantas superiores y se desarrolla por la pro-

ducción excesiva y acumulación de especies reactivas de oxígeno (ROS) (Demidchik, 2015). Esto puede contrarrestarse con la actividad antioxidante de los aceites esenciales, o aplicando una bioestimulación correcta para la prevención y contención de este estado de estrés. Sin embargo, su aplicación está limitada a su alta volatilidad, hidrofobicidad y facilidad de oxidación. Recientemente, se han utilizado nanoportadores biopoliméricos para la incorporación de aceites esenciales que se han utilizado como antioxidantes y antimicrobianos en envases de alimentos. El uso de la nanotecnología en la agricultura ha llevado al desarrollo de nuevos conceptos y productos agrícolas. Actualmente, se explora el suministro de hormonas vegetales, nanosen-

Tabla 3. Actividad biológica postcosecha en agricultura de algunos aceites esenciales.
 Table 3. Postharvest biological activity in agriculture of some essential oils.

Fuente de aceite esencial	Compuestos químicos (bioactivos)	Efecto	Referencias
Limoncillo o zacate limón (<i>Cymbopogon citratus</i> L.)	Geranial (citral), neral y limoneno	Actividad antifúngica <i>in vitro</i> contra patógenos poscosecha: <i>Colletotrichum coccodes</i> , <i>Botrytis cinerea</i> , <i>Cladosporium herbarum</i> , <i>Rhizopus stolonifer</i> y <i>Aspergillus niger</i>	Tzortzakis y Economakis, 2007
Bergamota silvestre (<i>Monarda didyma</i> L.)	No reportado Aceite nanoemulsificado	Actividad antifúngica <i>in vitro</i> contra <i>Colletotrichum</i> sp. y <i>Alternaria</i> sp. Conservación poscosecha del arándano utilizando nanoemulsiones del AE	Zhang et al., 2023
Orégano (<i>Origanum vulgare</i> L.)	No reportado Recubrimiento de quitosano con aceite	Efecto antifúngico <i>in vitro</i> sobre la germinación de esporas de <i>R. stolonifer</i> y <i>Aspergillus niger</i> Retardo de la descomposición de frutos de tomate cherry, moho negro y podredumbre	Barreto et al., 2016
Tomillo (<i>Thymus vulgaris</i> L.)	No reportado Nanopartículas de quitosano-aceite	Reducción de la incidencia de <i>Colletotrichum gloeosporioides</i> en frutos de aguacate cv. Hass	Correa-Pacheco et al., 2017
Aceites comerciales (X2 y X5, Xeda International SA, Francia)	X2: R-carvona, eugenol, cariofileno X5: Timol y adyuvante (propilenglicol)	Efecto fungitóxico <i>in vitro</i> contra <i>Colletotrichum gloeosporioides</i> Protección poscosecha del mango contra la antracnosis	Chillet et al., 2018
Limoncillo o zacate limón (<i>Cymbopogon citratus</i> L.)	Geranial y neral	Control <i>in vitro</i> e <i>in vivo</i> de antracnosis causada por <i>C. gloeosporioides</i> en papaya	Ali et al., 2015
Ajo (<i>Allium sativum</i>)	Trisulfuro de ajo, disulfuro de dialilo, sulfuro de dialilo	Reducción del desarrollo de pudrición del fruto de fresa causada por <i>Colletotrichum nymphaeae</i>	Hosseini et al., 2020

Tabla 3. Actividad biológica postcosecha en agricultura de algunos aceites esenciales (continuación).
 Table 3. Postharvest biological activity in agriculture of some essential oils (continuation).

Fuente de aceite esencial	Compuestos químicos (bioactivos)	Efecto	Referencias
Romero (<i>Rosmarinus officinalis</i>)	α -pineno, acetato de bornilo, 1,8-cineol, canfeno	Reducción del desarrollo de pudrición del fruto de fresa causada por <i>Colletotrichum nymphaeae</i>	Hosseini et al., 2020
Clavo de olor (<i>Syzygium aromaticum</i>)	No reportado	Inhibición del crecimiento del moho azul en <i>Citrus reticulata</i> causado por <i>Penicillium italicum</i>	Chen et al., 2019
Naranja lima y naranja navel bahía (<i>Citrus sinensis</i>)	Limoneno	Actividad antifúngica contra <i>Rhizopus stolonifer</i> en uva	Rezende et al., 2020
Tomillo	Timol, carvacrol	Efecto antifúngico contra <i>Alternaria alternata</i> y <i>Penicillium expansum</i>	Nikkhah y Hashemi, 2020
Canela	Cinamaldehído, citral propilenglicol acetal	Aumento de vida útil postcosecha de la fruta de azufaifo	
Romero	α -pineno, terpineno	Efecto antifúngico contra <i>Penicillium expansum</i>	Nikkhah y Hashemi, 2020
Mejorana	1,8-cineol	Aumento de vida útil postcosecha de la fruta de azufaifo	
<i>Torreya grandis</i>	δ -cadineno	Control postcosecha de <i>Botrytis cinerea</i> para conservación de tomates cherry	Jiang et al., 2023
Nispero japonés (<i>Eriobotrya japonica</i>) Cidra o limón francés (<i>Citrus medica</i>)	Transnerolidol Dimetoxicumarina		
Tomillo (<i>Thymus vulgaris</i> L.)	Timol, cimol, linalol	Control del patógeno de antracnosis (<i>Colletotrichum gloeosporioides</i>) postcosecha <i>in vitro</i> y en frutos de aguacate	Sellamuthu et al., 2013
Tomillo (<i>Thymus vulgaris</i> L.)	No reportado	Control <i>in vitro</i> de <i>Penicillium digitatum</i> y <i>P. italicum</i> en cítricos	Plaza et al., 2004
Canela (<i>Cinnamomum verum</i>)	No reportado	Control <i>in vitro</i> de <i>Penicillium digitatum</i> y <i>P. italicum</i> en cítricos	Plaza et al., 2004
Tomillo (<i>Thymus vulgaris</i> L.)	Timol	Actividad fungitóxica de los compuestos bioactivos contra el moho gris	López-Reyes et al., 2010
Lavanda (<i>Lavandula officinalis</i>)	Linalol	(<i>Botrytis cinerea</i>) de frutos de manzana	
Orégano (<i>Origanum vulgare</i>)	Carvacrol		
Tomillo (<i>Thymus vulgaris</i> L.)	Timol	Actividad fungitóxica de los compuestos bioactivos contra el moho azul	López-Reyes et al., 2010
Albahaca (<i>Ocimum basilium</i>)	Linalol	(<i>Penicillium expansum</i>) de frutos de manzana	

sores, transferencia de genes diana y la liberación controlada de agroquímicos (Worrall et al., 2018). Investigadores en materiales han diseñado y desarrollado nanopartículas con las características deseadas, para ser utilizadas como protectores o para entrega precisa y dirigida a través de la absorción o encapsulación de un compuesto activo (Khandelwal et al., 2016). La toxicidad de los aceites esenciales en fitopatógenos ha sido establecida en estudios de laboratorio. Pero es necesario generar información de la eficacia de estos aceites como protectores de cultivos en condiciones de campo. Los insecticidas a base de aceites esenciales están dirigidos a insectos y ácaros, principalmente. Se necesitan más experimentos de laboratorio, invernadero y de campo que puedan abordar específicamente esta cuestión (Isman et al., 2011). Productos como **EcoTrol®** (10 % aceite de romero, 5 % de geraniol, 2 % aceite de menta); **TetraCURB®** (50 % aceite de romero; 3 % aceite de clavo; 1,95 % de aceite de menta); **Prev-Am®** (6 % de aceite de naranja); **Ecoaceite®** (mezcla al 2 % de aceites de árbol de té (*Melaleuca*) y eucalipto) y **Akabrown®** (1,25 % de aceite de canela; 1 % de aceite de menta; 0,5 % aceite de clavo; 0,25 % aceite de orégano) son comercializados para el tratamiento de ácaros, pulgones, mosquitas blancas y minador de cítricos (Isman, 2020).

Diversas investigaciones han explorado las propiedades repelentes de insectos y antimicrobianas de los aceites esenciales obtenidas de fuentes vegetales. Sin embargo, para fines comerciales y fitosanitarios, los principales son los compuestos por eugenol (por ejemplo, aceites de clavo y laurel). Esos estudios evalúan la aplicación de estos fitoquímicos en dos tiempos diferentes, durante la precosecha (Tabla 2) y la postcosecha (Tabla 3). Sin embargo, los mecanismos exactos de acción de estos aceites contra infecciones por hongos y bacterias en las plantas aún no están completamente aclaradas.

El uso de aceites esenciales en postcosecha ha sido estudiado y aplicado con diversos fines como la conservación de alimentos, la protección contra microorganismos patógenos y la mejora organoléptica de los productos (Raveau et al., 2020). Es importante considerar que el uso de AE's debe realizarse de manera segura y de acuerdo a las regulaciones sanitarias vigentes, con el fin de proteger la salud del consumidor y la calidad del producto. Por esto, la investigación en este campo está en constante evolución para explorar nuevas aplicaciones y estudiar los mecanismos de acción, que ayuden a comprender los beneficios y limitaciones de los AE's en postcosecha.

Algunas de las formas en las que los AE's pueden aplicarse en postcosecha son para la conservación de frutos. Por sus propiedades antifúngicas y antioxidantes, ayudan a prevenir el crecimiento de hongos patógenos y prologan la vida útil al inhibir la oxidación y deterioro del fruto (Rezende et al., 2020). Ayudan también al control de patógenos, insectos y plagas. Estos metabolitos secundarios tiene propiedades bactericidas y antivirales que actúan reduciendo la carga microbiana en productos frescos como frutas y verduras precortadas o los llamados alimentos de IV gama. Actúan como repelentes naturales de insectos y plagas y dan protección a productos almacenados. Los recubrimientos comestibles a base de aceites esenciales con ampliamente estudiados para la protección de la superficie y pérdida de humedad de frutos frescos (Cao et al., 2022).

Futuros retos y perspectivas

La gran diversidad de uso de los aceites esenciales como fuentes de compuestos bioactivos cubren extensos campos de estudios. Estos fitoquímicos, inicialmente, se utilizaban con fines medicinales y de conservación de ali-

mentos. Existen puntos desafiantes correspondientes a las aplicaciones de los aceites esenciales. Los principales desafíos tecnológicos para la aplicación de esos fitoquímicos se deben a su naturaleza hidrofóbica, volatilidad y reactividad de las moléculas bioactivas. La encapsulación de AE es una posible solución a los problemas que enfrentan estos sistemas biológicos, porque mejora la estabilidad y protección, controla la liberación de sustancias química y mejora la biodisponibilidad (Rout et al., 2022). Actualmente, la nanotecnología ofrece soluciones para los desafíos de este campo. Algunas investigaciones han sugerido la aplicación de técnicas nanotecnológicas. La formulación de nanoemulsiones de aceites vegetales, como una forma eficiente de aumentar la estabilidad física y bioactividad de las moléculas bioactivas (Ghazy et al., 2021). Los nanopesticidas representan un desarrollo tecnológico emergente que podrían ofrecer mayor eficacia, durabilidad y reducción en la cantidad actual de ingredientes activos sintéticos utilizados (de Oliveira et al., 2014; Zhang et al., 2023). Otras aportaciones a las principales perspectivas y desafíos futuros para estos sistemas como biocontrol podrían ser los estudios de la contribución de los AE para combatir fitopatógenos a nivel transcriptómico y metabólico (Kesraoui et al., 2022).

Conclusiones

Se debe incentivar el desarrollo y uso de productos "terapéuticos" alternativos a los plaguicidas sintéticos para el control de malezas y enfermedades de las plantas, con el objetivo de transitar hacia una agricultura más sostenible, que disminuya la incidencia de enfermedades por ser una importante amenaza para la seguridad alimentaria mundial. La aplicación de aceites esenciales tiene amplio potencial como nueva terapia para el control de

enfermedades vegetales, pueden ser utilizados como bioestimulantes o elicitores en plantas, y por su efecto fitotóxico se recomienda su uso en la formulación de bioherbicidas. En el área de la postcosecha y conservación de alimentos, la aplicación de aceites esenciales sigue siendo un campo de investigación muy activo que necesitan resolver desafíos como la variabilidad en la composición y concentración de los quimiotipos y la estabilidad durante el almacenamiento.

Agradecimientos

El primer autor agradece al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT-México) por la beca no. 791307 para la realización de estudios en el posgrado Doctorado en Ciencias Agropecuarias (PNPC 00 4173; Nivel CONSOLIDADO).

Referencias bibliográficas

- Alzate D.A., Mier G.I., Afanador L., Durango D.L., García C.M. (2009). Evaluación de la fitotoxicidad y la actividad antifúngica contra *Colletotrichum acutatum* de los aceites esenciales de tomillo (*Thymus vulgaris*), limoncillo (*Cymbopogon citratus*), y sus componentes mayoritarios. *Vitae* 16: 116-125.
- Ali A., Wee Pheng T., Mustafa M.A. (2015). Application of lemongrass oil in vapour phase for the effective control of anthracnose of 'Sekaki' papaya. *Journal of Applied Microbiology* 118: 1456-1464. <https://doi.org/10.1111/jam.12782>
- Assadpour E., Can Karaça A., Fasamanesh M., Mahdavi S.A., Shariat-Alavi M., Feng J., Kharazmi M.S., Rehman A., Jafari S.M. (2023). Application of essential oils as natural biopesticides; recent advances. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*: 1-21. <https://doi.org/10.1080/10408398.2023.2170317>

- Barreto T.A., Andrade S.C., Maciel J.F., Arcanjo N.M., Madruga M.S., Meireles B., Cordeiro A.M.T, Souza E.L., Magnani M. (2016). A chitosan coating containing essential oil from *Origanum vulgare* L. to control postharvest mold infections and keep the quality of cherry tomato fruit. *Frontiers in Microbiology* 7: 1724. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.01724>
- Caetano A.R.S., Chalfoun S.M., Resende M.L.V., Angelico C.L., Santiago W.D., Magalhaes M.L., Rezende D.A.C.S., Soares L.I., Nelson D.L., Cardoso M.G. (2020). Chemical characterization and determination of *in vivo* and *in vitro* antifungal activity of essential oils from four Eucalyptus species against the *Hemileia vastatrix* Berk and Br fungus, the agent of coffee leaf rust. *Australian Journal of Crop Science* 14: 1379-1384. <https://doi.org/10.21475/ajcs.20.14.09.p2249>
- Cao Z., Zhou D., Ge X., Luo Y., Su J. (2022). The role of essential oils in maintaining the postharvest quality and preservation of peach and other fruits. *Journal of Food Biochemistry* 46: e14513. <https://doi.org/10.1111/jfbc.14513>
- Chacón C., Bojórquez-Quintal E., Caamal-Chan G., Ruíz-Valdiviezo V.M., Montes-Molina J.A., Garrido-Ramírez E.R., Rojas-Abarca L.M., Ruiz-Lau N. (2021). *In vitro* antifungal activity and chemical composition of *Piper auritum* kunth essential oil against *Fusarium oxysporum* and *Fusarium equiseti*. *Agronomy* 11: 1098. <https://doi.org/10.3390/agronomy11061098>
- Chang Y., Harmon P.F., Treadwell D.D., Carrillo D., Sarkhosh A., Brecht J.K. (2022). Biocontrol potential of essential oils in organic horticulture systems: from farm to fork. *Frontiers in Nutrition* 8: 1275. <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.805138>
- Chen C., Cai N., Chen J., Wan C. (2019). Clove essential oil as an alternative approach to control postharvest blue mold caused by *Penicillium italicum* in citrus fruit. *Biomolecules* 9: 197. <https://doi.org/10.3390/biom9050197>
- Chen Q., Xu S., Wu T., Guo J., Sha S., Zheng X., Yu T. (2014). Effect of citronella essential oil on the inhibition of postharvest *Alternaria alternata* in cherry tomato. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 94: 2441-2447. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6576>
- Chillet M., Minier J., Ducroq M., Meile J.C. (2018). Postharvest treatment of mango: Potential use of essential oil with thymol to control anthracnose development. *Fruits* 73: 153-157. <https://doi.org/10.17660/th2018/73.3.2>
- Chrapačienė S., Rasiukevičiūtė N., Valiuškaitė A. (2021). Biocontrol of carrot disease-causing pathogens using essential oils. *Plants* 10: 2231. <https://doi.org/10.3390/plants10112231>
- Correa Pacheco Z.N., Bautista Baños S., Valle Marquina M.Á., Hernández López M. (2017). The effect of nanostructured chitosan and chitosan thyme essential oil coatings on *Colletotrichum gloeosporioides* growth *in vitro* and on cv Hass avocado and fruit quality. *Journal of Phytopathology* 165: 297-305. <https://doi.org/10.1111/jph.12562>
- da Costa Gonçalves D., Ribeiro W.R., Goncalves D.C., Menini L., Costa H. (2021). Recent advances and future perspective of essential oils in control *Colletotrichum* spp.: A sustainable alternative in postharvest treatment of fruits. *Food Research International* 150: 110758. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110758>
- Dean R., Van Kan J.A., Pretorius Z.A., Hammond Kosack K.E., Di Pietro A., Spanu P.D., Rudd J.J., Dickman M., Kahmann R., Ellis J., Foster G.D. (2012). The top 10 fungal pathogens in molecular plant pathology. *Molecular Plant Pathology* 13: 414-430. <https://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2011.00783.x>
- Demidchik V. (2015). Mechanisms of oxidative stress in plants: from classical chemistry to cell biology. *Environmental and Experimental Botany* 109: 212-228. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2014.06.021>
- Devi P.I., Manjula M., Bhavani R.V. (2022). Agrochemicals, environment, and human health. *Annual Review of Environment and Resources* 47: 399-421. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-120920-111015>
- de Oliveira J.L., Campos E.V.R., Bakshi M., Abhilash P.C., Fraceto L.F. (2014). Application of nanotechnology for the encapsulation of botanical insecticides for sustainable agriculture: prospects and promises. *Biotechnology Advances* 32: 1550-1561. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2014.10.010>

- dos Santos M.S., Oro C.E., Dolianitis B.M., Wancura J.H., Tres M.V., Zabot G.L. (2022). Control of phytopathogens in agriculture by essential oils. En: Essential oils. Applications and trends in food science and technology (Ed. Santana O.M.), pp. 221-245. Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-99476-1_10
- Elshafie H.S., Camele I., Mohamed A.A. (2023). A Comprehensive review on the biological, agricultural and pharmaceutical properties of secondary metabolites based-plant origin. International Journal of Molecular Sciences 24: 3266. <https://doi.org/10.3390/ijms24043266>
- FAO (2002). Sustainable Development Goals Helpdesk. Food and Agriculture Organization. Disponible en: <https://www.fao.org/sustainable-development-goals/overview/fao-and-the-2030-agenda-for-sustainable-development/sustainable-agriculture/en/> (Consultado: 20 mayo 2023).
- Fernández-Herrera E., Ruiz J.G., Puente E.R., Ramos M.A. (2013). Patógenos y síntomas asociados a la marchitez del tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en Texcoco México. Biotecnia 15(3): 46-50.
- Ghazy O.A., Fouad M.T., Saleh H.H., Kholif A.E., Morsy T.A. (2021). Ultrasound-assisted preparation of anise extract nanoemulsion and its bioactivity against different pathogenic bacteria. Food Chemistry 341: 128259. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128259>
- Hanif M.A., Nisar S., Khan G.S., Mushtaq Z., Zubair M. (2019). Essential oils. En: Essential Oil Research. Trends in biosynthesis, analytics, industrial applications and biotechnological production (Ed. Malik S.), pp. 3-17. Springer Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-16546-8_1
- Haro-González J.N., Castillo-Herrera G.A., Martínez-Velázquez M., Espinosa-Andrews H. (2021). Clove essential oil (*Syzygium aromaticum* L. Myrtaceae): Extraction, chemical composition, food applications, and essential bioactivity for human health. Molecules 26: 6387. <https://doi.org/10.3390/molecules26216387>
- Hazrati H., Saharkhiz M.J., Niakousari M., Moein M. (2017). Natural herbicide activity of *Satureja hortensis* L. essential oil nanoemulsion on the seed germination and morphophysiological features of two important weed species. Ecotoxicology and Environmental Safety 142: 423-430. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.04.041>
- Hosseini S., Amini J., Saba M.K., Karimi K., Pertot I. (2020). Preharvest and postharvest application of garlic and rosemary essential oils for controlling anthracnose and quality assessment of strawberry fruit during cold storage. Frontiers in Microbiology 11: 1855. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.01855>
- Isman M.B., Miresmailli S., Machial C. (2011). Commercial opportunities for pesticides based on plant essential oils in agriculture, industry and consumer products. Phytochemistry Reviews 10: 197-204. <https://doi.org/10.1007/s11101-010-9170-4>
- Isman M.B. (2020). Commercial development of plant essential oils and their constituents as active ingredients in bioinsecticides. Phytochemistry Reviews 19: 235-241. <https://doi.org/10.1007/s11101-019-09653-9>
- Jain A., Sarsaiya S., Wu Q., Lu Y., Shi J. (2019). A review of plant leaf fungal diseases and its environment speciation. Bioengineered 10: 409-424. <https://doi.org/10.1080/21655979.2019.1649520>
- Jiang L.L., Wang J.B., Wang W.H., Lei B., Feng J.T., Wu H., Ma Z.Q. (2023). Effects of three essential oil fumigation treatments on the postharvest control of *Botrytis cinerea* and their efficacy as preservatives of cherry tomatoes. Plant Disease 107: 1874-1882. <https://doi.org/10.1094/PDIS-09-22-2134-RE>
- Jugreet B.S., Suroowan S., Rengasamy R.K., Mahomoodally M.F. (2020). Chemistry, bioactivities, mode of action and industrial applications of essential oils. Trends in Food Science & Technology 101: 89-105. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.04.025>
- Kesraoui S., Andrés M.F., Berrocal-Lobo M., Soudani S., Gonzalez-Coloma A. (2022). Direct and indirect effects of essential oils for sustainable crop protection. Plants 11: 2144. <https://doi.org/10.3390/plants11162144>

- Kim M.K., Choi G.J., Lee H.S. (2003). Fungicidal property of *Curcuma longa* L. rhizome-derived curcumin against phytopathogenic fungi in a greenhouse. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 51: 1578-1581. <https://doi.org/10.1021/jf0210369>
- Khandelwal N., Barbole R.S., Banerjee S.S., Chate G.P., Biradar A.V., Khandare J.J., Giri A.P. (2016). Budding trends in integrated pest management using advanced micro-and nano-materials: Challenges and perspectives. *Journal of Environmental Management* 184: 157-169. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.09.071>
- Kumar S., Saini R., Suthar P., Kumar V., Sharma R. (2022). Plant Secondary Metabolites. En: *Plant secondary metabolites. Their food and therapeutic importance* (Ed. Sharma A.K., Sharma A.), pp. 371-413. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-16-4779-6_12
- López Reyes J.G., Spadaro D., Gullino M.L., Garibaldi A. (2010). Efficacy of plant essential oils on postharvest control of rot caused by fungi on four cultivars of apples *in vivo*. *Flavour and Fragrance Journal* 25: 171-177. <https://doi.org/10.1002/ffj.1989>
- Marcial G., De Lampasona M.P., Vega M.I., Lizarraga E., Viturro C.I., Slanis A., Juárez M.A., Elechosa M.A., Catalán C.A. (2016). Intraspecific variation in essential oil composition of the medicinal plant *Lippia integrifolia* (Verbenaceae). Evidence for five chemotypes. *Phytochemistry* 122: 203-212. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2015.11.004>
- Najar B., Pistelli L., Ferri B., Angelini L.G., Tavarini S. (2021). Crop yield and essential oil composition of two *Thymus vulgaris* chemotypes along three years of organic cultivation in a hilly area of central Italy. *Molecules* 26: 5109. <https://doi.org/10.3390/molecules26165109>
- Nana W.L., Eke P., Fokom R., Bakanrga Via I., Begoude D., Tchana T., Tchameni N.S., Kuate J., Menut C., Fekam B.F. (2015). Antimicrobial activity of *Syzygium aromaticum* and *Zanthoxylum xanthoxyloides* essential oils against *Phytophthora megakarya*. *Journal of Phytopathology* 163: 632-641. <https://doi.org/10.1111/jph.12363>
- Ni Z.J., Wang X., Shen Y., Thakur K., Han J., Zhang J.G., Hu F., Wei Z.J. (2021). Recent updates on the chemistry, bioactivities, mode of action, and industrial applications of plant essential oils. *Trends in Food Science & Technology* 110: 78-89. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.01.070>
- Nikkhah M., Hashemi M. (2020). Boosting anti-fungal effect of essential oils using combination approach as an efficient strategy to control postharvest spoilage and preserving the jujube fruit quality. *Postharvest Biology and Technology* 164: 111159. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2020.111159>
- Peixoto P.M.C., Júlio A.A., Jesus E.G.D., Venancio A.N., Parreira L.A., Santos M.F.C., Menini L. (2023). Fungicide potential of citronella and tea tree essential oils against tomato cultivation's phytopathogenic fungus *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* and analysis of their chemical composition by GC/MS. *Natural Product Research* 38: 667-672. <https://doi.org/10.1080/14786419.2023.2184358>
- Perveen K., Bokhari, N.A. (2020). Management of *Alternaria* leaf blight in tomato plants by mentha essential oil. *Plant Protection Science* 56: 191-196. <https://doi.org/10.17221/100/2019-PPS>
- Plaza P., Torres R., Usall J., Lamarca N., Vinas I. (2004). Evaluation of the potential of commercial post-harvest application of essential oils to control citrus decay. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 79: 935-940. <https://doi.org/10.1080/14620316.2004.11511869>
- Raveau R., Fontaine J., Lounès-Hadj Sahraoui A. (2020). Essential oils as potential alternative biocontrol products against plant pathogens and weeds: A review. *Foods* 9: 365. <https://doi.org/10.3390/foods9030365>
- Rezende J.L., Fernandes C.C., Costa A.O.M., Santos L.S., Vicente Neto F., Sperandio E.M., Souchie E.L., Colli A.C., Crotti A.E.M., Miranda M.L.D. (2020). Antifungal potential of essential oils from two varieties of *Citrus sinensis* (lima orange and bahia navel orange) in postharvest control of *Rhizopus stolonifer* (Ehrenb.: Fr.) Vuill. *Food Science and Technology* 40 : 405-409. <https://doi.org/10.1590/fst.30519>

- Rhayour K., Bouchikhi T., Tantaoui-Elaraki A., Sendide K., Remmal A. (2003). The mechanism of bactericidal action of oregano and clove essential oils and of their phenolic major components on *Escherichia coli* and *Bacillus subtilis*. *Journal of Essential Oil Research* 15: 356-362. <https://doi.org/10.1080/10412905.2003.9698611>
- Riley M.B., Williamson M.R., Maloy O. (2002). Plant disease diagnosis. *The Plant Health Instructor APS* 10. <https://doi.org/10.1094/PHI-I-2002-1021-01>
- Rout S., Tambe S., Deshmukh R.K., Mali S., Cruz J., Srivastav P.P., Amin P.D., Gaikwad K.K., de Aguiar Andrade E.H., de Oliveira M.S. (2022). Recent trends in the application of essential oils: The next generation of food preservation and food packaging. *Trends in Food Science & Technology* 129: 421-439. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.10.012>
- Ruiz-Campos C., Umaña-Rojas G., Gómez-Alpízar L. (2022). Identificación multilocus de especies de *Colletotrichum* asociadas a la antracnosis de papaya. *Agronomía Mesoamericana* 33(1): 45495. <https://doi.org/10.15517/am.v33i1.45495>
- Sellamuthu P.S., Sivakumar D., Soundy P. (2013). Antifungal activity and chemical composition of thyme, peppermint and citronella oils in vapor phase against avocado and peach postharvest pathogens. *Journal of Food Safety* 33: 86-93. <https://doi.org/10.1111/jfs.12026>
- Sesan T.E., Enache E., Iacomi B.M., Oancea F., Iacomi C. (2015). Antifungal activity of some plant extracts against *Botrytis cinerea* Pers. in the blackcurrant crop (*Ribes nigrum* L.). *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus* 14: 29-43.
- Sotelo J.P., Oddino C., Giordano D.F., Carezzano M.E., Oliva M.D.L.M. (2021). Effect of *Thymus vulgaris* essential oil on soybeans seeds infected with *Pseudomonas syringae*. *Physiological and Molecular Plant Pathology* 116: 101735. <https://doi.org/10.1016/j.pmpp.2021.101735>
- Strange R.N., Scott P.R. (2005). Plant disease: a threat to global food security. *Annual Review of Phytopathology* 43: 83-116. <https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.43.113004.133839>
- Talhinhas P., Batista D., Diniz I., Vieira A., Silva D.N., Loureiro A., Tavares S., Pereira A.P., Azinheira H.G., Guerra-Guimaraes L., Várzea V., do Céu Silva M. (2019). The coffee leaf rust pathogen *Hemileia vastatrix*: one and a half centuries around the tropics. *Molecular Plant Pathology* 18: 1039-1051. <https://doi.org/10.1111/mpp.12512>
- Tzortzakis N.G., Economakis C.D. (2007). Antifungal activity of lemongrass (*Cymbopogon citratus* L.) essential oil against key postharvest pathogens. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 8: 253-258. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2007.01.002>
- Wang L., Hu W., Deng J., Liu X., Zhou J., Li X. (2019). Antibacterial activity of *Litsea cubeba* essential oil and its mechanism against *Botrytis cinerea*. *RSC Advances* 9: 28987-28995. <https://doi.org/10.1039/C9RA05338G>
- Worrall E.A., Hamid A., Mody K.T., Mitter N., Pappu H.R. (2018). Nanotechnology for plant disease management. *Agronomy* 8: 285. <https://doi.org/10.3390/agronomy8120285>
- Zhang Y., Dai J., Ma X., Jia C., Han J., Song C., Liu Y., Wei D., Xu H., Qin J., Yang S. (2023). Nanoemulsification essential oil of *Monarda didyma* L. to improve its preservation effect on postharvest blueberry. *Food Chemistry* 417: 135880. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.135880>

(Aceptado para publicación el 5 de febrero de 2024)

Situación genética de las principales líneas puras del merino español

Gabriel Anaya¹, Antonio Granero² y María Jesús Alcalde^{3,*}

¹ Departamento de Genética, Universidad de Córdoba, CN IV, KM 396, 17071 Córdoba, España.

² Asociación Nacional de Criadores de Ganado Merino (ACME), 28028 Madrid, España.

³ Departamento de Agronomía, Universidad de Sevilla, 41013 Sevilla, España.

Resumen

El Merino español es la raza más importante a nivel mundial por ser el origen de todas las razas de merino o derivadas del merino. Se seleccionó en la península ibérica desde la época romana con el objetivo de mejorar la finura de la lana. Sin embargo, desde hace más de 6 décadas se ha producido un claro cambio de criterio de selección hacia la producción cárnica, siendo además práctica habitual en España el cruce de esta raza con otras razas con mayor aptitud cárnica, determinando la existencia de una población ovina "tipo merino" que queda fuera del libro genealógico oficial. No obstante, aún quedan rebaños considerados como estirpes históricas que mantienen la genética ancestral y por tanto están registrados como puros. En el presente trabajo se genotiparon mediante 19 marcadores de tipo microsatélite 13.484 animales pertenecientes a las líneas genéticas históricas Donoso, Granda e Hidalgo, además de animales registrados en el libro como Merinos puros indiferenciados y animales de la línea Merino Negro para su caracterización genética. El Análisis Factorial de Correspondencias (AFC) junto con el análisis de inferencia de la estructura poblacional mostraron una clara diferenciación genética entre cada una de las estirpes de tal manera que salvo en la línea Granda, la mayor parte de animales se adscribieron correctamente a su grupo. Por otro lado, los valores de variabilidad mostraron que las poblaciones no corren riesgo de deriva genética pese a llevar muchos siglos en rebaños prácticamente estancos. Los resultados obtenidos mostraron como las estirpes históricas de merino, debido a su pureza y "salud" genética son una base óptima para la "remerinización" de la cabaña ovina nacional que durante décadas ha ido perdiendo la identidad que hizo del Merino Español la raza ganadera más valiosa del mundo.

Palabras clave: Raza Merino, estirpes históricas, diferenciación genética, microsatelites.

Genetic situation of the main pure lines of the Spanish merino

Abstract

The Spanish Merino is the most important worldwide breed due to be the origin of all the Merino and Merino-derived breeds. Its genetic improvement began with the Roman people in the Iberian Peninsula with a clear selection objective: the fineness of the wool. However, in the last six decades, it has been common practice in Spain to cross animals from this breed with other breeds with greater meat aptitude in a clear change of the selection criteria resulting in the existence of a large ovine popula-

* Autor para correspondencia: aldea@us.es

Cita del artículo: Anaya G., Granero A., Alcalde M.J. (2024). Situación genética de las principales líneas puras del merino español. ITEA-Información Técnica Económica Agraria 120(2): 133-143. <https://doi.org/10.12706/itea.2023.020>



tion (Merine-type) which remains out of the official flock-book. Nevertheless, there are still herds considered as historical strains that maintain the ancestral genetics and are therefore registered as pure. In the present work, 13,484 animals belonging to the Donoso, Granda and Hidalgo historical genetic lines, together with animals registered as pure in the flock-book and animals from the Merino Negro lineage were genotyped with 19 microsatellite markers for their genetic characterization. The Correspondence Factor Analysis (CFA) and the analysis of inferring the population structure showed a clear genetic differentiation between each of the strains that, except for the Granda line, most of the animals were correctly classified to their group. On the other hand, the variability values showed that the populations do not present risk of genetic drift despite many centuries of closed-mated flocks. The results obtained showed that the historical Merino strains, due to their purity and genetic "healthy", are the optimal basis for the "remerinization" of the national sheep population, which for decades has been losing the identity that made the Spanish Merino the most valuable livestock breed in the world.

Keywords: Merino breed, historical strains, genetic differentiation, microsatellites.

Introducción

El Merino español es la raza ovina con mayor influencia, no solo en nuestro país, sino a nivel global debido al gran impacto que ha tenido en la generación de nuevas razas a través de su cruce con razas locales siendo el origen del resto de merinos y razas derivadas del merino de todo el mundo (Ciani *et al.*, 2015).

Históricamente la raza fue seleccionada por los romanos en la península ibérica con un objetivo claro de mejorar la calidad de la lana a través de la reducción del diámetro de la fibra y del incremento del peso del vellón (Zorita, 1990). Estos animales estaban tan valorados que se prohibió su exportación desde España hasta inicios del siglo XVIII, siglo a partir de la cual se empezó a importar desde otros países (Garzón *et al.*, 1977).

Durante la década de 1960, la industria de la lana sufrió una grave crisis, provocando un cambio en el criterio de selección hacia una mayor aptitud cárnica de los animales (Esteban Muñoz, 1994). Para lograrlo, muchos ganaderos cruzaron sus rebaños con otras razas de aptitudes cárnicas como el Merino Precoz, el Merino de Landschaf, el Merino de Fleischschaf o el Ille de France. La pureza de la raza se fue perdiendo en la gran parte de la cabaña ibérica (Esteban Muñoz, 1994). Este

hecho ha provocado que en España exista una gran cabaña ovina de "tipo merino" que no está registrada en el Libro genealógico oficial debido al elevado nivel de cruce y por tanto a la pérdida de gran parte de la esencia de la raza original. Sin embargo, dentro de los ganaderos que siguieron realizando cría en pureza, algunos criadores tradicionales mantuvieron durante 200 años más o menos estancos sus rebaños, lo que determinó la creación de líneas genéticas (Granero *et al.*, 2022).

Las principales líneas genéticas (no reconocidas aún como estirpes) son Donoso, Hidalgo y Granda, debido a su censo y características fenotípicas. Anteriores trabajos han mostrado que existen claras diferencias genéticas y morfológicas entre las estirpes estudiadas, sentando las bases para su reconocimiento como subpoblaciones genéticas diferenciadas dentro del Merino Español (Granero *et al.*, 2021a, 2021b, 2022 y 2023).

Uno de los caracteres que han conservado estas líneas es la enorme calidad de su lana (en especial, diámetro de fibra y longitud del mechón). Actualmente el mercado mundial de lana está en alza, debido a una tendencia generalizada al uso de fibras naturales como un elemento más de sostenibilidad en contraposición a las fibras sintéticas, que siguen

dominando el mercado. Esto ha hecho que los beneficios asociados a la producción lanera de calidad se hayan incrementado de forma clara, estimulando a muchos ganaderos a replantearse su objetivo de selección principal. De hecho, la Asociación Nacional de Criadores de Merino Español (ACME) considera hoy día la producción lanera como el principal objetivo de selección de su Programa de Cría, habiendo presentado ya su primer catálogo de sementales basado en las valoraciones genéticas de calidad de la lana.

La protección de estas líneas y su uso como base genética para “remerinizar” a los rebaños que quedan fuera del libro genealógico puede permitir que una raza con una elevada base genética para producción lanera de calidad recupere los niveles excepcionales que la convirtió en la raza más preciada del mundo. El objetivo del presente estudio es analizar el nivel de variabilidad genético de las estirpes ancestrales Donoso, Hidalgo y Egea, para conocer la situación de unas poblaciones que nosotros recomendamos como fuente de “remerinización” del ganado tipo merino y que podrían llegar a ser reconocidas como estirpes dentro del Merino Español.

Material y métodos

Selección de animales

En el presente trabajo se analizaron 13.484 animales de 10 ganaderías pertenecientes a las estirpes ancestrales Donoso, Hidalgo y Granda, así como animales inscritos en el libro genealógico (Merino General de libro) y Merinos de la línea Negra (Tabla 1). Para ello, todos los animales se genotiparon mediante 19 marcadores moleculares de tipo microsatélite (Tabla 2).

Tabla 1. Animales empleados en el presente estudio.
Table 1. Animals used in the present study.

Estirpe	Ganadería	N
Donoso	1	612
	2	3052
Merino General del libro	3	2033
	4	379
Hidalgo	5	4751
	7	198
Granda	6	377
	8	1778
Merino Negro	9	182
	10	122

Tabla 2. Marcadores microsatélites empleados en el presente trabajo.

Table 2. STR molecular markers employed in the present work.

STR	Posición	N Alelos
AE129	OAR 5	8
CP49	OAR 1	22
CSR247	OAR 1	17
FCB20	OAR 2	16
HSC	OAR 6	18
ILSTS005	OAR 7	9
ILSTS008	OAR 2	2
ILSTS011	OAR 9	9
INRA006	OAR 2	13
INRA023	OAR 3	15
INRA049	OAR 1	9
INRA063	OAR 14	19
INRA132	OAR 2	14
INRA172	OAR 6	13
MAF214	OAR 1	18
MAF65	OAR 15	10
McM042	OAR 1	11
SPS113	OAR 6	13
SPS115	OAR 2	14

Caracterización de la población

Para la caracterización genética de la población, se realizó una aproximación a dos niveles (ganaderías y estirpes). Se realizó un Análisis Factorial de correspondencias con el objetivo de analizar la distribución de los individuos dentro de cada grupo (únicamente para este análisis el número de individuos se equilibró a 100 por cada ganadería). Posteriormente se calcularon la distancia genética de Nei (Nei, 1972), los niveles de heterocigosidad observada (H (o)), heterocigosidad esperada (H (e)) y el número medio de alelos (Nm) con el software Genetix 4.05 (Belkhir et al., 1996-2004).

Estructura de la población

Se hizo un análisis para determinar la estructura y subestructura de la población. Para ello, se empleó el modelo Bayesiano "admixture" que supone que cada individuo puede tener una ascendencia híbrida (Pritchard et al., 2000; Hubisz et al., 2009) con el software Structure 2.3 (Pritchard et al., 2000).

Análisis de la varianza molecular (AMOVA)

Se realizó un análisis de la varianza molecular (AMOVA) con el objetivo de ver qué porcentaje de la varianza quedaba explicado por los datos genéticos (Excoffier et al., 1992). Para ello se buscó diferencias entre las líneas, dentro de cada una de las líneas y entre los individuos usando el software Arlequín 3.5 (Excoffier y Lischer, 2010).

Resultados y discusión

Caracterización de la población a nivel ganadería

Los resultados de los niveles de variabilidad mostraron como, los valores de heterocigosidad esperada se mantuvieron entre 0,671 y

0,727 mientras que la heterocigosidad observada presentó unos valores entre 0,698 y 0,756 (Tabla 3). Por otro lado, el número medio de alelos se mantuvo en un rango de 6,79 a 10,42. La heterocigosidad en la raza se encuentra en niveles altos lo que es indicativo de que se está manteniendo la variabilidad. En las 10 ganaderías analizadas, el nivel de heterocigosidad observada fue mayor que el de la esperada, por lo que, según esta representación muestral, la raza no está en peligro de deriva genética. Los animales de cada una de las estirpes tienen unas características morfológicas muy definidas (Granero et al., 2023). El hecho de que se sigan seleccionando sin que haya indicios de peligro genético es indicativo de que se está llevando a cabo una buena gestión de manejo mediante prácticas como el control de niveles de endogamia o práctica de apareamientos al azar sin perder de vista el mantenimiento del fenotipo de interés dentro de cada rebaño.

Tabla 3. Niveles de variabilidad genética de las ganaderías estudiadas.

Table 3. Levels of genetic variability of the studied herds.

Ganadería	H (e)	H (o)	Nm
1	0,717	0,748	8,95
2	0,719	0,747	9,16
3	0,727	0,742	10,42
4	0,726	0,756	10,37
5	0,671	0,698	7,31
6	0,721	0,753	8,90
7	0,686	0,709	8,63
8	0,678	0,716	7,26
9	0,675	0,711	7,10
10	0,679	0,726	6,79

H (e): Heterocigosidad esperada. H (o): Heterocigosidad observada. Nm: Número medio de alelos.

Los resultados del Análisis Factorial de Correspondencias (AFC) se muestran en la Figura 1. Los Ejes 1 y 2 explicaron el 25,82 % y 22,8 %, respectivamente, de la variabilidad para estos marcadores genéticos en la población permitiendo observar tres grandes agrupaciones de datos. Por un lado, se observó como las ganaderías 1 y 2 son las que presentan mayor dispersión, aunque se encuen-

tran solapadas entre ellas. Por otro lado, se aprecia otro grupo formado por las ganaderías 9 y 10 (pertenecientes a la línea Merino Negro) que se encuentra separadas del resto de ganaderías. Por último, se aprecia como las ganaderías 3, 4, 5, 6, 7 y 8 presentan un agregado, quedando, levemente separadas las ganaderías 3 y 4 que se situaron en la zona central.

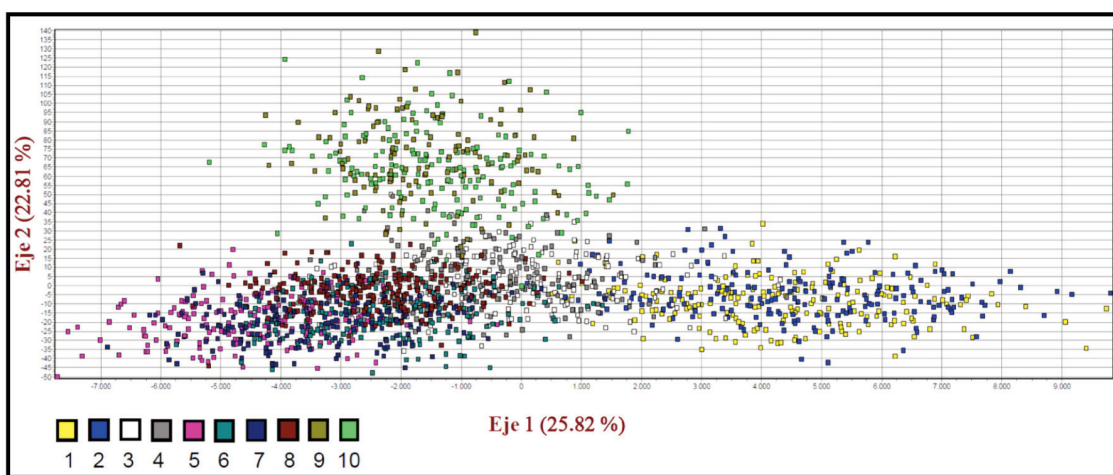


Figura 1. Análisis Factorial de Correspondencias (AFC) de las ganaderías empleadas en el presente estudio.
Figure 1. Correspondence Factor Analysis of the farms used in this study.

Los resultados muestran como los animales pertenecientes a las mismas estirpes se agrupan en las mismas regiones independientemente de su ganadería de origen. Esto viene a reforzar la idea de que dentro del merino español hay diferencias genéticas entre las líneas históricas (Granero *et al.*, 2022). Según las distancias calculadas de Nei, la menor distancia genética encontrada entre ganaderías fue de 0,019 y se dio entre 1 y 2. Por otro lado, la mayor diferencia genética se encontró entre las ganaderías 5 y 10 situándose en el 0,206. De esta manera se pudo comprobar como los valores más bajos, indicativos de elevado parecido genético, se observaron entre ganaderías de las mismas estirpes (Tabla 4).

Caracterización de la población a nivel estirpe

En cuanto a la caracterización por estirpes, la tabla 5 muestra los niveles de variabilidad presentes en cada estirpe. Los valores de $H(e)$ se mantuvieron entre 0,6858 en el caso de la estirpe Hidalgo y 0,7318 en el caso del Merino General de libro. En cuanto a la $H(o)$ más alta se dio en el Merino General de libro mientras que la más baja apareció en la línea Hidalgo. En todos los casos, la $H(o)$ fue levemente superior a la esperada mostrando una población libre de consanguinidad. Esta situación, ha revertido la existente hace 15 años donde en las líneas Granda, Hidalgo y Donoso, la $H(o)$ se mostró más baja que la $H(e)$ (Azor, 2008).

Tabla 4. Distancias genéticas de Nei (1972) entre las diferentes ganaderías empleadas en el estudio.
 Table 4. Genetic distances of Nei (1972) between the different herds used in the study.

	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0,019	0,100	0,104	0,217	0,147	0,177	0,178	0,177	0,204
2		0,104	0,110	0,239	0,164	0,190	0,189	0,173	0,191
3			0,041	0,125	0,099	0,098	0,123	0,122	0,151
4				0,074	0,066	0,066	0,091	0,107	0,127
5					0,081	0,045	0,158	0,193	0,206
6						0,035	0,099	0,184	0,180
7							0,139	0,183	0,200
8								0,178	0,178
9									0,077

Tabla 5. Niveles de variabilidad genética de las estirpes estudiadas.

Table 5. Levels of genetic variability of the strains studied.

Estirpe	H (e)	H (o)	Nm
Donoso	0,7209	0,7474	9,736
Merino General de libro	0,7318	0,7492	11,578
Hidalgo	0,6858	0,7034	9,157
Granda	0,7146	0,7342	9,368
Merino Negro	0,6882	0,7172	8,000

H (e): Heterocigosidad esperada. H (o): Heterocigosidad observada. Nm: Número medio de alelos.

En el AFC (Figura 2), se aprecian dos nubes de puntos claramente diferenciadas y separadas del resto correspondientes a la estirpe histórica Donoso y a la línea genética reconocida del Merino Negro. Por otro lado, aunque los animales pertenecientes a los restantes grupos genéticos se agregaron de manera homogénea, a su vez quedan parcialmente solapados. En este caso, entre la estirpe Hi-

dalgo y los animales del Merino General de libro apenas hay solapamiento, pero entre ellos se sitúa la nube de animales de Granda. Esto sugiere que entre los animales de Hidalgo y Granda hay cierto grado de influencia, y que el Merino General de libro se encontraría en la zona central sobre las que orbitan el resto de los grupos genéticos. Esto podría tener sentido porque este grupo de animales aun presenta algo de la genética original. Los ejes 1 y 2 explicaron el 35,21 % y 32,48 % de la variabilidad genética de los marcadores respectivamente. De igual manera que en análisis previo por ganaderías, se aprecia claramente cómo los individuos que pertenecen a los mismos grupos genéticos tienden a agregarse. La mayor dispersión de individuos observada en la línea de Merino Negro, está indicando que, dentro de ese patrón morfológico y genético, existe un alto grado de variabilidad individual. En este sentido parece que los animales más homogéneos los presenta la estirpe Granda.

Las distancias de Nei vinieron a reforzar el análisis del AFC puesto que la menor distancia genética se encontró entre la estirpe

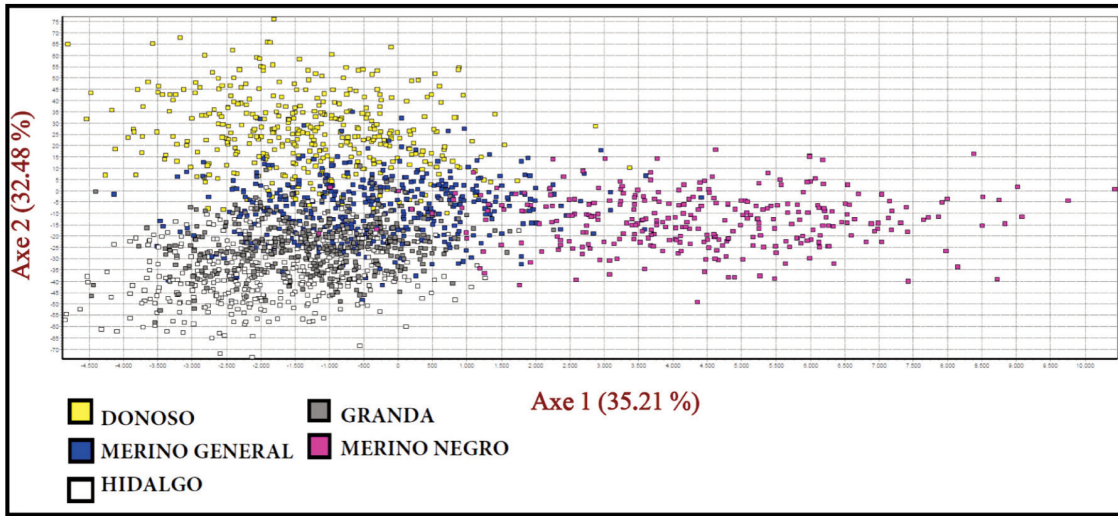


Figura 2. Análisis Factorial de Correspondencias (AFC) de las estirpes empleadas en el presente estudio.
 Figure 2. Correspondence Factor Analysis of the strains used in the present study.

Granda y el Merino General de libro mientras que la mayor distancia se encontró entre los animales de las líneas Donoso e Hidalgo. El merino negro presentó menos diferencias con respecto al Merino General de libro que con respecto al resto de líneas históricas (Tabla 6). Este hecho podría deberse a que, la selección ha sido más fuerte en las distintas líneas genéticas al haberse mantenido rebaños casi estancos con el objetivo de fijar unos caracteres fenotípicos muy reconocibles, a diferencia de lo que ha ocurrido con el merino

indiferenciado. El hecho de que el Merino Negro tenga menor distancia genética de la esperada con respecto al Merino blanco indiferenciado (debido al carácter patognomónico del color de la capa), podría deberse a que los marcadores empleados se encuentran en regiones no codificantes a diferencia de los genes responsables del color de la capa que se encuentran en regiones codificantes. Al comparar las distancias genéticas entre las distintas líneas históricas, con las que se han detectado en trabajos previos entre el

Tabla 6. Distancias genéticas de Nei (1972) entre los animales de las distintas estirpes presentes en el estudio.

Table 6. Genetic distances of Nei (1972) between the animals of the different strains present in the study.

	Merino General de libro	Hidalgo	Granda	Merino Negro
Donoso	0,090	0,190	0,140	0,161
Merino General de libro		0,069	0,060	0,096
Hidalgo			0,068	0,165
Granda				0,137

Merino español y otras razas, se aprecian niveles de diferenciación parecidos. De hecho, las distancias encontradas entre las líneas de Merino español se han mostrado superiores a las encontradas entre las diferentes líneas genéticas de la raza Merino Portuguesa (Merino portugués negro y Merino portugués blanco) (Diez-Tascón *et al.*, 2000). En este sentido destacan las distancias encontradas entre las líneas Donoso frente a Hidalgo y Granda, que se han mostrado mayores que las encontradas entre distintas razas (Diez-Tascón *et al.*, 2000; Ceccobelli *et al.*, 2023). Por otro lado, las diferencias observadas entre las líneas de Merino se han mantenido en niveles similares a los que se pueden observar en las líneas genéticas reconocidas en otras razas como el Merino Australiano (líneas Merino industrial y Merino de lana) (Ceccobelli *et al.*, 2023).

Estructura de la población

La figura 3 muestra la representación de la estructura de la población en base al porcentaje de adscripción de cada uno de los individuos a cada una de las 5 poblaciones (K óptima). Se aprecia como los animales de las estirpes Donoso, Hidalgo y la línea de Merino Negro se adscriben de una manera bastante homogénea a su población de origen. Por otro lado, la línea Granda muestra como hay un grupo de individuos que se adscriben a su población de origen mientras que otro grupo de individuos se adscriben bastante mejor a la población representada por la línea Hidalgo. Por último, se observa como los animales pertenecientes al Merino General de libro se adscriben a su propio grupo genético, aunque presenta individuos que podrían tener mayor pertenencia a alguna de las estirpes históricas.

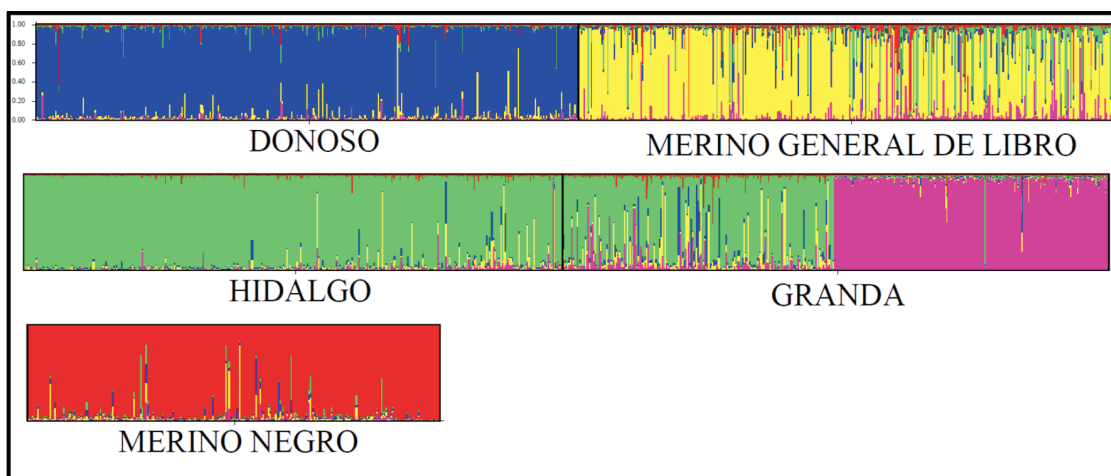


Figura 3. Representación gráfica de asignación a poblaciones de cada uno de los grupos analizados con una K óptima de 5.

Figure 3. Graphic representation of the allocation to populations of each of the groups analyzed with an optimal K of 5.

En cuanto al porcentaje de adscripción a los distintos grupos genéticos del global de la población analizada, se observó cómo casi el total de individuos podían clasificarse a uno

de los grupos mientras que únicamente un 3,94 % quedaban sin identificar debido a que en ningún caso presentaron un porcentaje de pertenencia de al menos un 50 % a

alguna de las estirpes y líneas analizadas (Tabla 7). De esta manera, la mayor parte de los individuos (30,93 %) se adscribieron a la estirpe Hidalgo seguidas de la Donoso (21,11 %) y Merino General de Libro (16,49 %). Esto podría estar indicando una clara tendencia hacia la búsqueda de un patrón Hidalgo dentro de las líneas puras, seguramente persiguiendo las características morfoestructurales únicas de esta línea, que destaca por el gran tamaño de los animales con respecto al resto de la raza (Granero et al., 2023). Por otro lado, la gran presencia de Donoso puede deberse a que esta línea, dentro del patrón de merino, presenta una buena aptitud cárnica-lanera por lo que ha podido adaptarse a las demandas del mercado cambiante. Por otro lado, cabe destacar que el más bajo porcentaje de adscripción se da en la estirpe Granda (11,29 %) lo que podría estar indicando que hay que hacer esfuerzos por controlar su censo en caso de que esté disminuyendo en el tiempo y/o el posible flujo genético con otras líneas.

Tabla 7. Porcentaje de animales adscritos a cada una de las líneas dentro del global de la población analizada.

Table 7. Percentage of animals of population analyzed assigned to each of the lines studied.

	Porcentaje Adscritos
Donoso	21,11
Merino General de libro	16,49
Hidalgo	30,93
Granda	11,29
Merino Negro	16,23
Total adscritos	96,06
Total sin adscribir	3,94

Por último, se calculó el porcentaje de adscripción a estirpe de cada una de las muestras tomando en cuenta su población de origen

(Tabla 8). Tanto los animales pertenecientes al Merino Negro como los de la estirpe Donoso fueron los que mejor y con mayor porcentaje se adscribieron a sus grupos genéticos (97,70 % y 97,25 %, respectivamente) lo que indica que tienen una elevada consistencia genética. En contraposición se encuentra el Merino General de libro (73,50 %) en el que, como es de esperar, se pueden observar porcentajes del resto de subpoblaciones, destacando animales de la línea hidalgo (10,50 %). En contraposición, en la línea Granda solo un 50 % de los animales se adscriben a la misma, mientras que un 46,50 % se adscribe a la línea Hidalgo. Esto podría deberse a que ha existido un flujo genético entre ambas líneas a través de cruzamientos dentro de ganaderías en las que han coexistido animales de ambas subpoblaciones.

Análisis de la varianza molecular

Los resultados obtenidos en el análisis AMOVA, mostraron un porcentaje de variación entre líneas de 5,18 %. Estudios previos hechos sobre líneas históricas del merino español han mostrado valores levemente menores cercanos al 4 % (Granero et al., 2022). Por otro lado, la variación explicada por los individuos dentro de cada una de las líneas se mostró muy baja situándose en un 0,65 % aunque se ha mostrado superior a la obtenida por otros autores (Granero et al., 2022). Por último, las diferencias explicadas por los individuos en el conjunto de la población analizada fueron de un 94,17 %, levemente inferior al 95,89 % descrito por Granero et al. (2022). Los resultados muestran como las diferencias entre las líneas históricas de merino se han mantenido al mismo nivel e incluso levemente superiores a las diferencias encontradas entre distintas razas de Merino o derivadas del Merino situadas en torno al 5,01 % (Granero et al., 2022).

Tabla 8. Porcentaje de adscripción a cada uno de los grupos genéticos en función de la estirpe de la que proceden.

Table 8. Percentage of affiliation to each of the genetic groups based on the lineage from which they come.

	Donoso	Merino General	Hidalgo	Granda	Merino Negro	Sin Adscripción
Donoso	97,25	0,50	0,25	0,00	0,25	1,75
Merino General de libro	1,50	73,50	10,50	2,75	2,50	9,25
Hidalgo	1,75	3,00	89,75	1,00	0,25	4,25
Granda	0,00	1,25	46,50	50,00	0,00	2,25
Merino Negro	0,00	0,33	0,33	0,00	97,70	1,64

Conclusiones

Los resultados muestran cómo, las líneas históricas tienen una clara diferenciación genética entre ellas y con el resto del merino español. En el presente trabajo se ha mostrado como el nivel de variabilidad permite afianzar la idea de mantener estas líneas como reservorio genético seguro para la "remerinización" del ovino español tipo merino, así como base genética para la búsqueda de distintos patrones morfológicos dentro de la raza pura. No obstante, hay que hacer hincapié en la necesidad de controlar el flujo genético dentro de ganaderías de la línea Granda puesto que los análisis muestran una cierta introgresión de la línea Hidalgo. El mantenimiento de estas líneas históricas no solo es una base que permite recuperar las grandes aptitudes laneras del merino ibérico ancestral, sino que, debido al tipo de cría en extensivo, provocaría de manera directa la protección de los distintos hábitats de dehesa y monte sobre el que pastorean estos animales, con el consiguiente efecto beneficioso sobre el medio ambiente.

Referencias bibliográficas

- Azor P.J., Cervantes I., Valera M., Arranz J.J., Medina C., Gutiérrez J.P., Goyache F., Muñoz A., Molina A. (2008). Análisis preliminar de la estructura genética del Merino: situación de las estirpes tradicionales mediante análisis genealógico y molecular. ITEA-Información Técnica Económica Agraria 104: 295-302.
- Belkhir K., Borsa P., Chikhi L., Raufaste N., Bonhomme F. (1996-2004). GENETIX 4.05, logiciel sous Windows TM pour la génétique des populations. Laboratoire Génome, Populations, Interactions, CNRS UMR 5171. Université de Montpellier II, Montpellier, France.
- Ceccobelli S., Landi V., Senczuk G., Mastrangelo S., Sardina M.T., Ben-Jemaa S., Persichilli C., Karsli T., Bâlteanu V.A., Raschia M.A., Poli M.A., Ciapesoni G., Muchadeyi F.C., Dzomba E.F., Kunene N.W., Lühken G., Deniskova T.E., Dotsev A.V., Zinovieva N.A., Zsolnai A., Anton I., Kusza S., Carolino N., Santos-Silva F., Kawęcka A., Wittek M., Ni nikowski R., Špehar M., Anaya G., Granero A., Perloiro T., Cardoso P., Grande S., de los Santos B.L., Danchin-Burge C., Pasquini M., Martínez Martínez A., Delgado Bermejo J.V., Lasagna E., Ciani E., Sarti F.M., Pilla F. (2023)

- A comprehensive analysis of the genetic diversity and environmental adaptability in worldwide Merino and Merino-derived sheep breeds. *Genetics Selection Evolution* 55: 24. <https://doi.org/10.1186/s12711-023-00797-z>.
- Ciani E., Lasagna E., D'Andrea M., Alloggio I., Marroni F., Ceccobelli S., Delgado Bermejo J.V., Sarti F.M., Kijas J., Lenstra J.A., Pilla F. (2015). Merino and Merino-derived sheep breeds: a genome-wide intercontinental study. *Genetics Selection Evolution* 47: 64. <https://doi.org/10.1186/s12711-015-0139-z>.
- Diez-Tascón C., Littlejohn R.P., Almeida P.A.R., Crawford A.M. (2000). Genetic variation within the Merino sheep breed: analysis of closely related populations using microsatellites. *Animal Genetics* 31: 243-51. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2052.2000.00636.x>.
- Esteban Muñoz C. (1994). La raza Merina y sus cruces en la producción de carne. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación del Gobierno de España, Madrid, España. 175 pp.
- Excoffier L., Smouse P.E., Quattro J.M. (1992). Analysis of molecular variance inferred from metric distances among DNA haplotypes: application to human mitochondrial DNA restriction data. *Genetics* 131: 479-491. <https://doi.org/10.1093/genetics/131.2.479>.
- Excoffier L., Lischer H.E. (2010) Arlequin suite ver 3.5: a new series of programs to perform population genetics analyses under Linux and Windows. *Molecular Ecology Resources* 10: 564-567. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0998.2010.02847.x>.
- Garzón R., Luque J., Llanes D., Povedano C., Rodero A., Rodero J., Vallejo M., Zarazaga I. (1977). Fundamentos históricos y genéticos del Merino español. Publicaciones del Monte de Piedad y Caja de Ahorros de Córdoba, Córdoba, España. 200 pp.
- Granero A., Anaya-Calvo G., Demyda Peyrás S., Laseca N., Alcalde M.J., Molina Alcalá A. (2021a). Genomic characterization of the Spanish Merino Sheep and situation of the main historical genetics lines. En: ASPA 24th Congress Book of Abstract, Italian Journal of Animal Science 20(Sup 1): 107.
- Granero A., Molina A., Anaya G., Ziadib C., Alcalde M.J. (2021b). Morphometric differences based on quantitative traits between different genetic lines in the Merino Español sheep breed. En: ASPA 24th Congress Book of Abstract, Italian Journal of Animal Science 20(Sup 1): 115.
- Granero A., Anaya G., Demyda-Peyrás S., Alcalde M.J., Arrebola F., Molina A. (2022). Genomic population structure of the main historical genetic lines of Spanish Merino sheep. *Animals* 12, 1327. <https://doi.org/10.3390/ani12101327>.
- Granero A., Anaya G., Alcalde M.J. (2023). Morphostructural differences between the historical genetic lines of the Spanish Merino sheep. *Animals* 13: 313. <https://doi.org/10.3390/ani13020313>.
- Hubisz M.J., Falush D., Stephens M., Pritchard J.K. (2009). Inferring weak population structure with the assistance of sample group information. *Molecular Ecology Resources* 9: 1322-1332. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0998.2009.02591.x>.
- Nei M. (1972). Genetic Distance between Populations. *The American Naturalist* 106: 283-292.
- Pritchard J.K., Stephens M., Donnelly P. (2000). Inference of population structure using multilocus genotype data. *Genetics* 155: 945-959. <https://doi.org/10.1093/genetics/155.2.945>.
- Zorita E. (1990). Hacia una nueva estructura de la ganadería ovina en España, armonizando recursos alimenticios y objetivos medioambientales. *Ovis* 11: 9-42.
- (Aceptado para publicación el 23 de octubre de 2023)

La introducción de las harinas de insectos como suplemento en la ración en rumiantes: una estrategia a adoptar a corto plazo ante la escasez de materias primas

Cristina Castillo, Rodrigo Muíño*, Jose Luis Benedito y Joaquín Hernández

Departamento de Patología Animal/IBADER, Facultad de Veterinaria, Campus Terra (Lugo), Universidad de Santiago de Compostela, España

Resumen

El crecimiento demográfico mundial está provocando un aumento en la demanda de alimentos de origen animal, entre la que se encuentra la carne y leche de rumiantes. Pero esta necesidad se enfrenta a una ideología que denuesta este sector por considerar su alimentación en clara competencia con los recursos destinados al consumo humano, al tiempo que contribuye a la degradación de los suelos y espacios naturales. Ante esta situación, es urgente buscar nuevas fuentes que puedan suplir en parte determinados componentes de la ración, al tiempo que aporten un valor añadido al producto final (carne/leche). El consumo de harina de insectos, debidamente procesados y bajo una estricta reglamentación que asegure su seguridad, emerge como una posibilidad que podría extenderse al ganado bovino, ovino y caprino.

En esta revisión pretendemos ofrecer los últimos estudios en lo que respecta a la legislación europea, los insectos que están permitidos, así como todos aquellos estudios realizados *in vivo* e *in vitro* en estas especies. La bibliografía citada demuestra que, si bien la calidad de la harina de insectos depende de la especie y forma de cría, su introducción como suplemento en la ración, no causa ningún perjuicio en dinámica ruminal ni la producción, pudiendo constituir una solución rentable y respetuosa con el medio ambiente.

Palabras clave: Nutrición, economía circular, ganadería de rumiantes, proteínas animales procesadas, harina de insectos.

The introduction of insect meal as a supplement in ruminant rations: a strategy to be adopted in the short term in the face of raw material scarcity. A review

Abstract

World population growth is causing an increase in the demand for food of animal origin, including ruminant meat and milk. But this need is confronted by an ideology rejecting this sector because it considers its food to be in direct competition with the resources destined for human consumption while contributing to the degradation of soils and natural spaces. Faced with this situation, it is urgent to look for

* Autor para correspondencia: rodrigo.muino.otero@usc.es

Cita del artículo: Castillo C., Muíño R., Benedito J.L., Hernández J. (2024). La introducción de las harinas de insectos como suplemento en la ración en rumiantes: una estrategia a adoptar a corto plazo ante la escasez de materias primas. ITEA-Información Técnica Económica Agraria 120(2): 144-155. <https://doi.org/10.12706/itea.2023.021>



new sources that can partly supply some components of the ration, while providing an added value to the final product (meat/milk). The consumption of insect meal, duly processed and under strict regulations that ensure its safety, emerges as a possibility that could be extended to cattle, sheep and goats. In this revision, we intend to offer the latest studies regarding European legislation, the allowed insects, and all those studies carried out *in vivo* and *in vitro* in these species. All of them show that, although the quality of insect meal depends on the species and rearing method, its introduction as a supplement in the ration, does not cause any damage in ruminal dynamics or production and can be a profitable and environmentally friendly solution.

Keywords: Nutrition, circular economy, ruminant livestock, edible insects meal.

Introducción

El crecimiento de la población mundial está provocando un aumento de la demanda de alimentos de origen animal, como la carne y leche de rumiantes. Sin embargo, esta necesidad parece ser controvertida por dos razones: 1) contribuye al agotamiento de los recursos medioambientales; 2) las actuales fuentes de proteínas empleadas en su ración (como soja o trigo) están compitiendo ya con la alimentación humana, aumentando los precios para los ganaderos y, minimizando la rentabilidad de las explotaciones (Castillo et al., 2017; Van Huis, 2020; Toral et al., 2022; Díaz y Marcos, 2023).

En este debate, el punto de inflexión lo constituye el año 2022, por varias razones: 1) el inicio de la guerra Rusia-Ucrania que está dificultando y encareciendo el acceso a los cereales para consumo animal; 2) la persistente sequía que provoca una reducción de las cosechas; 3) los incendios en diversas zonas de Europa que causan el despoblamiento rural y la falta de oferta forrajera; y 4) la creciente presión medioambiental sobre este sector como una de las fuentes de emisión de metano que, junto con los gases derivados de la fermentación de su estiércol, contribuyen al aumento de los Gases de Efecto Invernadero (GEI) (Drewery, 2022; Toral et al., 2022). Como ejemplo de la crítica a este sistema de producción, es interesante el artículo publicado por Bianchi et al. (2022), que

promueve la sustitución del consumo de carne por determinados tipos de pescado de piscifactoría sostenible, debido a la reducción de la huella de carbono sin afectar a la calidad nutricional del pescado. El estudio llega a señalar que este tipo de alimento es más nutritivo incluso que la carne de vacuno.

El empleo de harinas de insectos en la alimentación de animales de abasto ha adquirido gran relevancia desde que la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) estableció en 2013 que la entomofagia era una solución viable para combatir el hambre en el mundo. Este concepto se ha extendido a la industria agropecuaria, y actualmente los insectos han pasado de ser considerados un residuo a ser un recurso (Proyecto Bioproinsect-FEUGA 2023: www.feuga.es/bioproinsect-innovacion-feuga), matiz que reviste gran interés ya que introduce el empleo de harina de insectos en el concepto de economía circular o *green economy*.

Actualmente las harinas de insectos se utilizan como suplemento en producciones animales concretas: acuicultura, gallinas, conejos, cerdos y animales de compañía (Ahmed et al., 2021; Díaz y Marcos, 2023). Pero su consumo para rumiantes no está tipificado (Domingues et al., 2020) y podría ser una solución viable en estos momentos críticos de sequía y encarecimiento de los costes en las materias primas, al ser ricos en proteínas y lípidos (Makkar et al., 2014; Sánchez-Muros et al., 2014; Recamán,

2023) y necesitar poca tierra y agua para su producción en comparación con los cultivos tradicionales. En la actualidad cuando el contenido proteico de los pastos es bajo, los ganaderos alimentan a sus animales con una fuente proteínica adicional como la harina de soja. Pero el cultivo de cereales también tiene repercusiones medioambientales: con frecuencia recurre al empleo de pesticidas y/o fertilizantes favoreciendo la producción de GEI (Drewery, 2022).

Como ejemplo del bajo consumo de agua que implica la cría de insectos, Koutsos et al., (2019) aluden al concepto de "contenido de agua virtual" (cantidad de agua necesaria pa-

ra producir un producto) exponiendo que para 1 kg de pollo, cerdo o ternera en todo el mundo ésta es de 1.498 L, 2.819 L y 9.678 L, respectivamente. En cambio, 1 kg de gusanos de la harina (*Tenebrio molitor*) tan sólo precisa de 25 L. Además, existen estudios que demuestran que los residuos locales de tipo agroindustrial pueden convertirse en sustrato para su cría (Terova et al., 2019; Gasco et al., 2020, Salgado, 2023; figura 1). El estudio publicado por Astuti y Wirawan (2022) señala incluso que las larvas de mosca soldado negra criadas en estiércol de gallina contienen bacterias lácticas con potencial probiótico para bovinos, ovinos y caprinos.

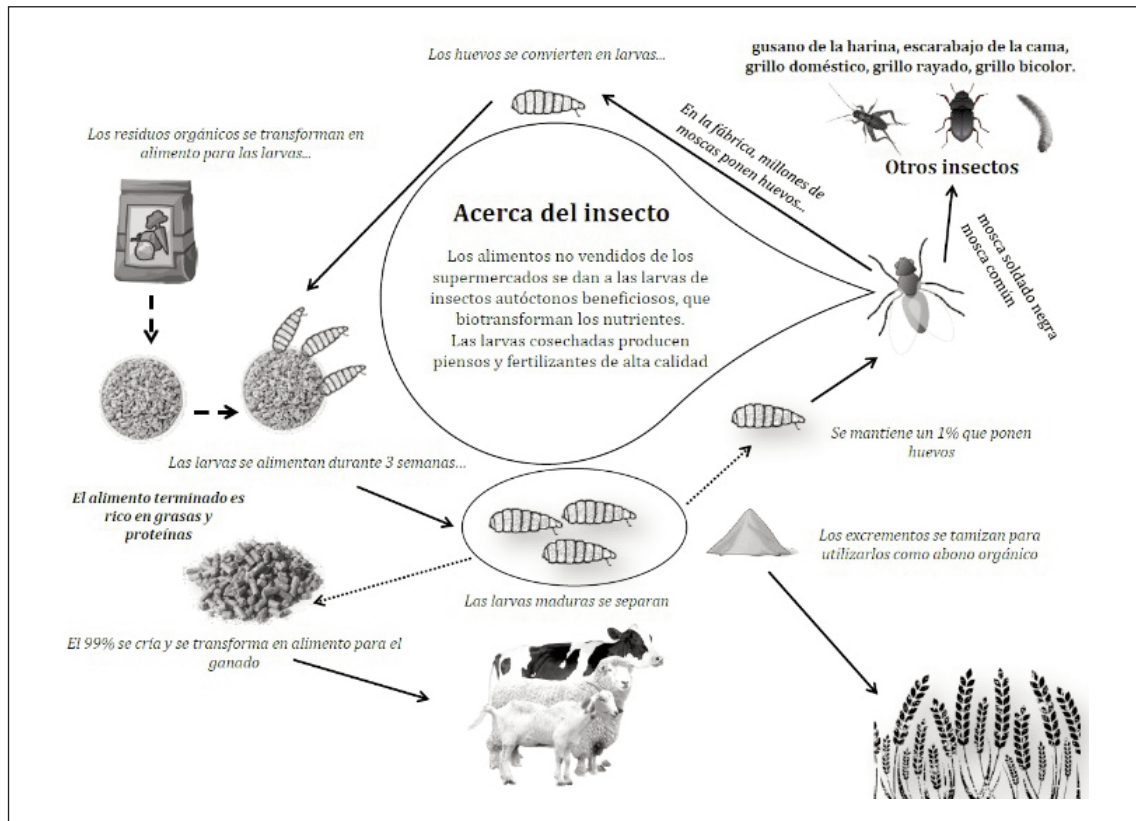


Figura 1. Ciclo de cría y producción de insectos para su posterior utilización en la alimentación de rumiantes. Figure 1. Insect breeding and production cycle for subsequent use in ruminant feed.

La no-inclusión de los rumiantes, por parte de la Unión Europea (UE), en el listado de animales a los que se pueden administrar harina de insectos como suplemento nutricional, puede modificarse a la luz de los acontecimientos geopolíticos y medioambientales existentes en Europa. El rumiante es un reciclador natural: su sistema digestivo especializado le permite convertir fuentes de nutrientes que el ser humano no puede digerir en alimentos proteicos de alta calidad como carne y leche, que satisfacen las necesidades nutricionales humanas.

En este artículo pretendemos ofrecer un análisis de la posibilidad de introducir suplementos a base de harina de insectos en la ración base en la producción de rumiantes (ovino caprino y bovino), valorando los beneficios que pueden obtenerse, en base a los estudios efectuados, así como las lagunas que a nivel de investigación quedan aún por resolver.

Marco legal en Europa y otras zonas del mundo

El 13 de febrero de 2018, la empresa EAP Group SAS (www.agronutris.com, ubicada en Francia) presentó una solicitud a la Comisión Europea, de conformidad con el artículo 10 del Reglamento (UE) 2015/2283, para comercializar el popularmente conocido como gusano de la harina desecado (larva de *Tenebrio molitor*) como alimento para los seres humanos, entrando así en la cadena alimentaria. El 03 de julio de 2018 y de conformidad con el artículo 10(3) del Reglamento (UE) 2015/2283, la Comisión solicitó a la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA) que emitiera un dictamen científico sobre este producto. Las conclusiones emitidas por EFSA indicaban que este insecto podría constituir un nuevo alimento, bien como entero, desecado o en polvo añadido a diversos productos como barritas energéti-

cas, pasta y galletas y, por tanto, consumido por la población general (EFSA Panel on Nutrition, 2021). Sin embargo, la introducción de insectos en la dieta es especialmente difícil en nuestra cultura, ya que los consumidores no los consideran alimentos por razones culturales (Domingues et al., 2020).

Una encuesta previa realizada en el marco del proyecto europeo PROteINSECT (2016) mostró que este rechazo disminuía significativamente cuando se consideraba su uso en la alimentación del ganado: el 73 % de los encuestados afirmó que estaría dispuesto a comer animales de granja que hubieran sido suplementados con harinas de insectos; casi dos tercios afirmaron que consideraban esta estrategia nutricional de poco o ningún riesgo para los consumidores (González Rosales, 2019), a lo que se unía el beneficio medioambiental y de bienestar animal, tal y como pudo constatar Sogari et al. (2021) en Italia, sugiriendo a los responsables políticos y al sector privado que aumentase la concienciación de los consumidores al respecto. Este concepto se hace extensible a España, en base a los resultados obtenidos por Ros-Baró et al. (2022).

Hay multitud de insectos presentes en la naturaleza, acuáticos y terrestres, pero no todos pueden ser usados para la alimentación, sea humana o animal. En el momento de seleccionar qué insecto es el apropiado en la cadena alimentaria hay muchos aspectos a considerar como la mayor o menor disponibilidad de este en función de la zona, la posibilidad de acumular residuos no deseables, como metales pesados, microplásticos, micotoxinas, xenobióticos, etc. (Koutsos et al., 2019). Es por ello que la UE define claramente los tipos de insectos que deben utilizarse (mediante producción en granjas especializadas y tras un procesamiento reglado), así como los requisitos imprescindibles: 1) no deben ser patógenos ni tener otros efectos adversos para la salud de las plantas, los animales o los seres humanos; 2) no deben ser vectores de

patógenos humanos o animales ni de patógenos vegetales, 3) no estar protegidos o definidos como especies alóctonas invasoras.

Sobre esta base, las siguientes especies cumplen las condiciones de seguridad mencionadas para la producción de insectos destinados a la alimentación animal en la UE: mosca soldado negra (*Hermetia illucens*), mosca doméstica (*Musca domestica*), gusano de la harina (*Tenebrio molitor*), escarabajo de la cama (*Alphitobius diaperinus*), grillo doméstico (*Acheta domestica*) o el gusano de seda (*Bombyx mori*). Estas especies son de rápido crecimiento y eficientes en la conversión de una variedad de residuos orgánicos en proteínas y lípidos (Reglamento 2017/893 de la Comisión Europea; Schiel et al., 2020).

Desde entonces, se habla de Proteínas Animales Procesadas (PAP), y el Reglamento (UE) 2017/893 de la Comisión autoriza el uso de este tipo de proteína transformada procedente de insectos y de piensos compuestos que la contengan (Díaz y Marcos, 2023) excluyendo a los rumiantes, probablemente porque aún persiste la sombra de la enfermedad de las vacas locas, cuando estaríamos ante una situación completamente distinta, dado el avance científico y sanitario que ha habido en este aspecto.

En enero de 2023, la Comisión Europea autorizó la comercialización de otro insecto, el *Alphitobius diaperionus* (o gusano de la harina menor; Reglamento (UE) 2023/5). El término "gusano de la harina menor" se refiere a la forma larvaria del *Alphitobius diaperinus*, una especie que pertenece a la familia de los Tenebrionidae (escarabajos oscuros). Además, la Comisión autorizó por primera vez la comercialización de polvo parcialmente desgrasado obtenido a partir de *Acheta domestica* (grillo doméstico) como nuevo alimento. Actualmente hay 8 solicitudes de insectos destinados a ser comercializados en diferentes formas, que están sujetas a una evaluación de seguridad por parte de EFSA (2022).

Sin embargo, la normativa legal sobre el uso de harina de insectos como suplemento varía en todo el mundo. Mientras que en los países en vías de desarrollo la normativa es laxa, en otros, como es el caso de Europa está muy controlada.

Como ejemplo de las distintas reglamentaciones, en Estados Unidos los insectos comestibles se consideran aditivos para piensos y, en la actualidad, sólo la mosca soldado negra (*Hermetia illucens*) se incluye como ingrediente en piensos restringidos a la acuicultura. En Canadá, las larvas de *Hermetia illucens* están autorizadas en los piensos para acuicultura y aves de corral. Brasil no ha desarrollado una legislación específica sobre el uso de harina de insectos en la alimentación animal, pero los PAP están permitidos en dietas para alimentar animales no rumiantes (Domingues et al., 2020). En países como China o Corea del Sur no se aplica ninguna limitación al respecto (Gasco et al., 2020).

¿Qué pueden aportar las harinas de insectos en la nutrición de los rumiantes?

Cuando se formulan raciones para cualquier producción ganadera, la digestibilidad y el valor nutritivo de los ingredientes son de vital importancia para satisfacer las necesidades de los animales y optimizar producciones y costes.

La composición nutricional de cada tipo de insecto varía en función de la especie, condiciones de cría, fisiología y el bioprocesado del mismo. En este sentido hay numerosas revisiones realizadas al respecto (Makkar et al., 2014; Sánchez-Muros et al., 2014; Kotsos et al., 2019) que describen con detalle las características nutricionales y físico-químicas de los más utilizados en diversas partes del mundo.

Lo que es común a todos ellos es: 1) El contenido en proteína bruta (PB) de las harinas

de insectos es elevado, oscilando entre el 42 y el 63 %, que es del mismo orden que el que presenta la harina de soja, generalmente utilizada en la elaboración de raciones ganaderas; 2) Los niveles globales de aminoácidos esenciales en las harinas de insectos son adecuados, variando entre especies; 3) En las harinas de insectos la concentración de ácido oleico y linoleico es superior a la ofrecida por el aceite de soja o el aceite de girasol; 4) Los estudios nutricionales confirman que la palatabilidad de la harina de insectos es buena y que puede sustituir a la soja en las dietas del ganado; 5) La harina de insectos también puede ser una fuente de compuestos bioactivos de alto valor, como péptidos con efectos inmunoestimulantes y antimicrobianos. De hecho, las propiedades antimicrobianas de la quitina de origen marino fueron el origen de su potencial aplicación como aditivo para piensos (Goiri et al., 2009; Belanche et al., 2016).

El componente lipídico de los insectos también es beneficioso al ser un sustrato rápido para obtener energía. El alto contenido de grasa, sobre todo en forma de ácidos grasos poliinsaturados (PUFAs), favorece la reducción de la producción de CH₄ gracias a la reducción de la fermentación de la materia orgánica (MO), disminuyendo así el H₂ disponible para los metanógenos unido al efecto tóxico directo sobre bacterias celulolíticas y protozoos causando la interrupción de la integridad de la membrana celular (Ahmed et al., 2021; Honan et al., 2022). No obstante, la variación en los lípidos que reducen el CH₄ depende principalmente del tipo de ácidos grasos específicos de cada especie. Por ejemplo, la introducción de *Gryllus bimaculatus* (grillo mediterráneo) y *Bombyx mori* (gusano de seda) es capaz de reducir la producción de metano hasta un 18 % y un 16 %, respectivamente (Ahmed et al., 2021). La quitina o su derivado el quitosano es otro componente que puede contribuir a disminuir la metanogénesis. A través

de diferentes estudios, bien realizados en quitosano de origen marino (Goiri et al., 2009; Belanche et al., 2016) o procedente de insectos (Haryati et al., 2019) se pudo comprobar que la quitina y el quitosano mostraron la capacidad de modular la fermentación ruminal hacia una menor producción de acetato y mayor de propionato, reduciendo la producción de CH₄ y la población de metanógenos. El estudio de Hervás et al. (2022) compara el quitosano de origen marino (comparación de crustáceos) con el procedente de la mosca soldado negra. Los resultados de su trabajo señalan que la fuente de quitosano afecta a la biohidrogenación ruminal, inhibiendo el último paso de la cadena bioquímica y por tanto al perfil de AG formados en el rumen; de ahí que los diferentes estudios experimentales realizados *in vitro* ofrezcan resultados tan dispares, determinados por la dieta basal (relación forraje: concentrado), el tipo de quitina y su degradabilidad.

Por ello, el proceso de desacetilación de la quitina, generando no ya quitosano sino otros derivados como quitoligosacáridos o N-acetilglucosamina, con mayor capacidad de degradación constituye uno de los mayores retos de las empresas biotecnológicas en la actualidad (Salgado, 2023).

Si bien el contenido de PB es alto, se desconoce en gran medida el grado de degradación de sus proteínas ruminales. Aunque la evaluación de la degradación ruminal del N representa un primer paso clave para examinar el potencial de los nuevos piensos, es una tarea difícil debido a la falta de un método de referencia estandarizado (Toral et al., 2022).

Sin embargo, poco se sabe acerca de la presencia de algunos factores antinutricionales (por ejemplo, oxalatos, taninos, alcaloides, fitatos y saponinas), que pueden afectar a la digestibilidad de las proteínas y a la absorción de los minerales y, por consiguiente, reducir su biodisponibilidad. En la actualidad es una laguna en la investigación desarrollada

en este campo ya que no se dispone de información relativa a la interacción entre los nutrientes y antinutrientes proporcionados por las harinas de insectos (Ojha et al., 2021). Disponemos del estudio realizado por González Rosales (2019) quien evaluó la composición de fenoles y taninos en cuatro tipos de harinas: gusano de la harina (*Tenebrio molitor*); gusano rey (*Zophobas morio*); escarabajo de la cama (*Alphitobius diaperinus*), y grillo doméstico (*Acheta domesticus*) en comparación con la torta de soja. Los resultados mostraron que la torta de soja tenía un contenido en fenoles totales similares a los aportados por el escarabajo de la cama y el grillo doméstico y superiores a los registrados para el gusano de la harina o el gusano rey. En lo que respecta a los taninos totales, ninguno de los insectos muestreados superó las cantidades mostradas para la torta de soja. Es importante señalar que los componentes citados, tanto nutrientes como antinutrientes, son de origen vegetal y no son sintetizados por los insectos, sino que provienen de su dieta y básicamente se encuentran en insectos silvestres.

Estudios *in vitro* e *in vivo* realizados con rumiantes

Los primeros estudios publicados que hacen alusión al empleo de insectos en la alimentación de rumiantes datan del año 2017 y fueron realizados Jayanegara et al. (2017a) cuyo objetivo era evaluar la composición química, la fermentación ruminal *in vitro*, la digestibilidad y las emisiones de metano de algunos insectos: larva de grillo de campo jamaicano (*Gryllus assimilis*), larvas del gusano de la harina y larvas de mosca soldado negra de 1 y 2 semanas de edad (F1 y F2, respectivamente). Los resultados revelaron que todas las harinas de insectos contenían una elevada cantidad de PB (superior al 40 % MS). Las proporciones de proteína insoluble

en detergente neutro (esto es, la proteína no degradable e indisponible para el animal) eran más elevadas en las harinas de insectos que en la harina de soja y especialmente en las larvas de mosca soldado negra F2. Todas las harinas de insectos presentaron emisiones de metano inferiores a las proporcionadas por la harina de soja y de acuerdo con este orden: larvas de grillos < larvas de moscas < larvas de gusano de la harina. El único punto débil que encontraron fue su baja digestibilidad, sugiriendo la necesidad de ciertos tratamientos o métodos de procesamiento para eliminar la fracción del exoesqueleto o la quitina y elevar así sus valores nutricionales.

Años más tarde, Toral et al. (2022) realizaron un estudio para investigar el potencial de 4 insectos (*Tenebrio molitor*, *Zophobas morio*, *Alphitobius diaperinus* y *Acheta domesticus*) como fuentes alternativas de proteínas (en comparación con la harina de soja) para rumiantes, utilizando 3 metodologías: 1) técnica de regresión; 2) técnica convencional *in vitro* de cultivos; y 3) técnica *in situ* de la bolsa de nailon. Los resultados mostraron que, independientemente de la metodología, *Tenebrio molitor* mostró los valores más bajos y más altos de degradación ruminal del N y de digestibilidad intestinal, respectivamente, lo que la situaría como la mejor opción para sustituir la harina de soja de la dieta y aumentar la sostenibilidad de la alimentación de los rumiantes.

Jayanegara et al. (2017b) evaluaron qué cantidad podría ser la adecuada en el momento de introducir harina de larvas de mosca soldado negra, como sustituto de la harina de soja, en una dieta rica en forraje. El estudio *in vitro* de muestras de líquido ruminal, en los que se incubó diferentes mezclas de raciones: forraje, harina de soja y larvas de la mosca soldado negra de 1 semana (F1) y 2 semanas (F2) durante 48 h a 30 °C mostró que la suplementación con un 20 % de harina de mosca (en F1 o F2) era mejor que la suple-

mentación al 40 %, al favorecer la digestibilidad de la MS y MO. Se constató también que las dietas suplementadas con harinas de larvas de mosca producían menores emisiones de metano en comparación con las que contenían soja, siendo más acusado en aquellas harinas de larva de mosca en fase F2. Para los autores si bien las harinas de larvas de mosca soldado negra tenían menos valor nutricional que la soja, las menores emisiones de metano compensaban su uso.

En Japón, Ahmed *et al.* (2021) evaluaron la composición química y el impacto de la harina de cuatro insectos comestibles: grillo doméstico (*Acheta domesticus*), grillo gigante (*Brachytrupes portentosus*), grillo mediterráneo (*Gryllus bimaculatus*) y gusano de seda (*Bombyx mori*) sobre la digestibilidad, la fermentación ruminal y la producción de CH₄ cuando se utilizaban como sustitutos del 25 % de la harina de soja en una dieta para rumiantes mediante incubación *in vitro* de líquido ruminal de vacas Holstein. El análisis químico de las harinas era acorde con los registrados en estudios anteriores: un alto contenido en grasa y proteínas (con perfiles de aminoácidos casi idénticos a los aportados por la soja), un perfil de aminoácidos esenciales similar al de la harina de soja, así como una alta proporción de ácidos grasos insaturados (60-70 % MS). Los resultados mostraron que la sustitución del 25 % de harina de soja por la harina de los cuatro insectos evaluados en la dieta de rumiantes no afectó negativamente al perfil de fermentación ni a la digestibilidad de los nutrientes. Además, la inclusión de grillo mediterráneo y el gusano de seda en la dieta era capaz de reducir la producción de CH₄ hasta un 18,4 % y un 16,3 %, respectivamente. Por lo tanto, los insectos investigados podrían sustituir el 25 % de la costosa fuente de proteína de alta calidad que es la harina de soja sin ningún efecto negativo.

A mayores detectaron un aumento en la concentración de nitrógeno amoniacal (NH₃-N).

Este hecho puede estar relacionado con su alto contenido en proteína, favoreciendo la activación de las bacterias proteolíticas y la formación de NH₃-N, precursor de aminoácidos y de la síntesis de proteína microbiana en el rumen. No obstante, este resultado dependió del tipo de insecto empleado y la calidad de su proteína, en la siguiente secuencia: harina de soja (11,68 mg/dL) < *Gryllus bimaculatus* (13,03 mg/dL) < *Brachytrupes portentosus* (18,69 mg/dL) < *Bombyx mori* (19,45 mg/dL) < *Acheta domesticus* (23,89 mg/dL).

En Estados Unidos, Fukuda *et al.* (2022) evaluaron los efectos de las larvas de mosca soldado negra como suplemento proteico en novillos de carne, comparando su eficiencia productiva con las fuentes proteicas convencionales (semilla de algodón y harina de soja). Los datos revelaron que la harina de insecto no tenía efectos negativos sobre la producción ruminal de NH₃-N, de ácidos grasos volátiles o el pH ruminal, concluyendo que la suplementación de la ración con ella podría ser un suplemento eficaz, especialmente para aquel ganado que consume forraje de baja calidad.

Centrándonos en el contenido lipídico, Hervás *et al.* (2022) compararon los aceites procedentes de la soja, mosca soldado negra, grillo o gusano de seda. Sus resultados confirmaron que los tres aceites de insecto pueden sustituir convenientemente al aceite de soja, ya que no ejercen efectos negativos sobre la fermentación ruminal. Al comparar especies, el aceite de grillo representaría la alternativa más interesante sobre las otras dos, ya que aumenta la concentración del AG *trans*-10 18:1, beneficiosa para la salud, sin alterar la concentración de *trans*-10 18:1.

En la búsqueda de más propiedades beneficiosas de este suplemento, destaca el estudio realizado por Astuti y Wiryawan (2022) en larvas de mosca soldado negra cultivadas en estiércol de pollo, y en las que se detectaron bacterias productoras de ácido láctico, que además de poder actuar como probióticos en

sustitución de los antibióticos como promotores del crecimiento, también producían peróxido de hidrógeno, y bacteriocinas (sustancias extracelulares producidas por diferentes tipos de bacterias, incluyendo tanto especies Gram positivas como Gram negativas). Se demostró que la formación de estos productos inhibía la proliferación de *Escherichia coli* en terneros jóvenes, reduciendo la incidencia de diarrea y mejorando el aumento de peso y la eficiencia productiva.

En Europa, existen también estudios relacionados con este suplemento. El artículo publicado por Renna et al (2022) evalúa ocho harinas completas de insectos (*Acheta domestica*; *Alphitobius diaperinus*; *Blatta lateralis*; *Gryllus bimaculatus*; *Grylloides sygillatus*; *Hermetia illucens*; *Musca domestica*; y *Tenebrio molitor*) como fuentes potenciales de proteínas y lípidos en la ración de rumiantes. Se midieron los parámetros de fermentación y los ácidos grasos (AG) de la digesta ruminal tras 24 h de incubación *in vitro* y se compararon con los de tres harinas vegetales (harina de soja, harina de colza y harina de girasol) y harina de pescado. Al igual que con la harina de pescado, las harinas de insectos dieron lugar a una producción total de CH₄ significativamente menor (en promedio: 0,33 frente a 0,91 mmol/g MS) y producción de AG volátiles (en promedio: 4,12 frente a 7,53 mmol/g MS) en comparación con las harinas vegetales. También generaron un menor contenido de amoníaco en el líquido ruminal, expresado como proporción del N total (en promedio: 0,74 en el caso de las harinas vegetales frente a 0,52 para las harinas de insectos) Las diferencias en los parámetros de fermentación ruminal entre las harinas de insectos podrían explicarse en parte por su contenido en quitina, proteína bruta y extracto etéreo, así como por su perfil de AG, especialmente en el caso de *Musca domestica* rica en AG poliinsaturados. En general, el alto contenido de AG encontrados (que varía en función del insecto empleado, pero en cualquier caso superior al

de harinas vegetales) podría ser interesante para mejorar la calidad de los productos alimenticios derivados de rumiantes (carne/leche), dentro de lo que conocemos como "fortificación alimentaria" (Castillo et al., 2017).

Si se trata de saber cuál es la cantidad adecuada a suplementar, Ahmed y Nishida (2023) publicaron los resultados de un estudio *in vitro* para determinar los niveles óptimos de inclusión de dos especies de insectos (*Gryllus bimaculatus* y *Bombyx mori*) en una dieta para rumiantes, así como para evaluar sus efectos sobre las características de fermentación ruminal y la producción de metano. La dieta base consistía en 60 %:40 % hierba: concentrado, al que se iban incorporando harina de insectos en la dieta al 10, 20, 30 y 40 % mediante su sustitución en la mezcla de concentrado. Los parámetros de fermentación ruminal ratificaban lo señalado por Jayanegara et al. (2017b) y Ahmed et al. (2021): se puede incluir entre un 20-25 % de harina de insectos sin efectos adversos sobre la digestibilidad de los nutrientes, al tiempo que se incrementa la producción de nitrógeno amoniacal. Valores superiores si bien disminuyen significativamente la producción total de gas, puede tener efectos adversos en la digestibilidad y la síntesis de AGV debido al alto contenido de grasa.

Conclusiones

Para concluir esta revisión, el empleo de un residuo como son las harinas de insectos ofrece amplias posibilidades en un entorno agropecuario cada vez más complicado. Aunque existen numerosos estudios *in vitro*, es necesario comenzar a realizar estudios *in vivo*, valorando el momento productivo del rumiante, el tipo de insecto empleado, su composición y la cantidad suplementada o mismo el cambio, en cuanto a los análisis físico-químicos de la ración que tendría la adición o no de este

suplemento con el fin de que la ración suplementada sea capaz de cubrir las necesidades fisiológicas y productivas de los rumiantes en base a su aptitud (carne/leche) y nivel de producción.

Por ello, la introducción de cualquiera de las especies de insectos, su forma de cría, procesamiento y composición química final deberían quedar claramente especificados en el momento de la comercialización del suplemento.

Referencias bibliográficas

- Ahmed E., Fukuma N., Hanada M., Nishida T. (2021). Insects as novel ruminant feed and a potential mitigation strategy for methane emissions. *Animals* 11: 2648. <https://doi.org/10.3390/ani11092648>.
- Ahmed E., Nishida T. (2023). Optimal inclusion levels of cricket and silkworm as alternative ruminant feed: A study on their impacts on rumen fermentation and gas production. *Sustainability* 15(2): 1415. <https://doi.org/10.3390/su15021415>.
- Astuti D.A., Wiryawan K.G. (2022). Black soldier fly as feed ingredient for ruminants. *Animal Bioscience* 35 (2): 356-363. <https://doi.org/10.5713/ab.21.0460>.
- Belanche A., Pinloche E., Preskett D., Newbold C.J. (2016). Effects and mode of action of chitosan and ivy fruit saponins on the microbiome, fermentation and methanogenesis in the rumen simulation technique. *FEMS Microbiology Ecology* 92 (1): fiv160. <https://doi.org/10.1093/femsec/fiv160>.
- Bianchi M., Hallström E., Parker R.W.R., Mifflin K., Tyedmers P., Ziegler F. (2022). Assessing sea-food nutritional diversity together with climate impacts informs more comprehensive dietary advice. *Communications Earth & Environment* 3: 188. <https://doi.org/10.1038/s43247-022-00516-4>.
- Castillo C., Abuelo A., Hernández J. (2017). Biotechnological approaches to improve sustainable milk and meat yield in bovines. En: *Reference Module in Food Sciences* (Ed. Smithers G.), pp. 1-27. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.21288-2>
- Díaz L.E., Marcos A. (2023). Insectos en alimentación animal y humana: pasado, presente y futuro. *Mundo CESFAC* 59: 30-39.
- DiGiacomo K., Leury B. (2019). Review: Insect meal: a future source of protein feed for pigs?. *Animal* 13(12): 3022-3030. <https://doi.org/10.1017/S1751731119001873>
- Domingues C.H.dF., Borges J.A.R., Ruviano C.F., Gomes D., Carrijo J.R.M. (2020). Understanding the factors influencing consumer willingness to accept the use of insects to feed poultry, cattle, pigs and fish in Brazil. *PLoS ONE* 15(4): e0224059. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0224059>
- Drewery M. (2022). Feeding insects to cattle could make meat and milk production more sustainable. Disponible en: <https://theconversation.com/feeding-insects-to-cattle-could-make-meat-and-milk-production-more-sustainable-176223>. (Consultado: 9 septiembre 2022)
- EFSA Panel on Nutrition, Novel Foods and Food Allergens (2021). Safety of dried yellow mealworm (*Tenebrio molitor larva*) as a novel food pursuant to Regulation (EU) 2015/2283. *EFSA Journal* 19(1): 6343. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2021.6343>.
- EFSA (2022). Approval of fourth insect as a Novel Food. Disponible en: <https://food.ec.europa.eu/safety/novel-food/authorisations/approval-insect-novel-food> (Consultado: 8 septiembre 2022)
- European PROteINSECT Project (2016). Insect protein: Feed for the future. Addressing the need for feeds of the future today. Disponible en: <https://www.proteinsect.eu>. (Consultado: 8 septiembre 2022)
- Fukuda E.P., Cox J.R., Wickersham T.A., Drewery M.L. (2022). Evaluation of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) as a protein supplement for beef steers consuming low-quality forage. *Translational Animal Science* 6: txac018. <https://doi.org/10.1093/tas/txac018>
- Gasco L., Biancarosa I., Liland N.S. (2020). From waste to feed: A review of recent knowledge on insects as producers of protein and fat for

- animal feeds. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry* 23: 67-79. <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2020.03.003>
- Goiri I., Garcia-Rodriguez A., Oregui L. (2009). Effect of chitosans on *in vitro* rumen digestion and fermentation of maize silage. *Animal Feed Science and Technology* 148: 276-287. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2008.04.007>.
- González Rosales M.G. (2019). Uso de harinas de insectos en la alimentación de rumiantes: Valoración proteica y tratamiento con taninos Trabajo Fin de Máster Centro Internacional de Altos Estudios Agronómicos Mediterráneos (CIHEAM).
- Haryati R.P., Jayanegara A., Laconi E.B., Ridla M., Suptijah P. (2019). Evaluation of chitin and chitosan from insect as feed additives to mitigate ruminal methane emission. *Proceedings of the International Conference on Biology and Applied Science (ICOBAS)*, 13-14 Marzo, Malang, Indonesia, pp. 40008. <https://doi.org/10.1063/1.5115646>
- Hervás G., Boussalia Y., Labbouz Y., Della Badia A., Toral P.G., Frutos P. (2022). Insect oils and chitosan in sheep feeding: Effects on *in vitro* ruminal biohydrogenation and fermentation. *Animal Feed Science and Technology* 285: 115222. <https://doi.org/10.1016/J.ANIFEEDSCI.2022.115222>.
- Honan M., Feng X., Tricarico J.M., Kebreab E. (2022). Feed additives as a strategic approach to reduce enteric methane production in cattle: Modes of action, effectiveness and safety. *Animal Production Science* 62: 1303-1317. <https://doi.org/10.1071/AN20295>.
- Jayanegara A., Novandri B., Yantina N., Ridla M. (2017a). Use of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) to substitute soybean meal in ruminant diet: An *in vitro* rumen fermentation study. *Veterinary World* 10(12): 1439-1446. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2017.1439-1446>
- Jayanegara A., Yantina N., Novandri B., Laconi E.B., Nahrowi N., Ridla M. (2017b). Evaluation of some insects as potential feed ingredients for ruminants: chemical composition, *in vitro* rumen fermentation and methane emissions. *Journal of Indonesian Tropical Animal Agriculture* 42(4): 247-254. <https://doi.org/10.14710/jitaa.42.4.247-254>.
- Koutsos L., McComb A., Finke M. (2019). Insect composition and uses in animal feeding applications: A brief review. *Annals of the Entomological Society of America* 112(6): 544-551. <http://dx.doi.org/10.1093/aesa/saz033>
- Makkar H.P.S., Tran G., Heuzé V., Ankers P. (2014). State-of-the-art on use of insects as animal feed. *Animal Feed Science and Technology* 197: 1-33. <http://dx.doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2014.07.008>
- Navarro del Hierro J., Gutiérrez-Docio A., Otero P., Reglero G., Martín D. (2020). Characterization, antioxidant activity, and inhibitory effect on pancreatic lipase of extracts from the edible insects *Acheta domesticus* and *Tenebrio molitor*. *Food Chemistry* 309: 125742. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125742>
- Ojha S., Bekhit A.E., Grune T., Schlüter O.K. (2021). Bioavailability of nutrients from edible insects. *Current Opinion in Food Science* 41: 240-248. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2021.08.003>.
- Recamán R. (2023). Revalorización de subproductos mediante el uso de insectos. En: Bioprocesado de insectos para la obtención de productos de valor añadido. Proyecto Bioproinsect-FEUGA 2023. Disponible en: <https://www.feuga.es/bioproinsect-innovacion-feuga>. (Consultado: 6 de julio de 2023)
- Reglamento (UE) 2017/893, del 24 de mayo de 2017, que modifica los anexos I y IV del Reglamento (CE) n.o 999/2001 del Parlamento Europeo y del Consejo y los anexos X, XIV y XV del Reglamento (UE) n.o 142/2011 de la Comisión por lo que se refiere a las disposiciones sobre proteína animal transformada. *Diario Oficial de la Unión Europea*, serie L 138, de 25 de mayo de 2017, pp. 92-116. (Consultado: 5 de noviembre de 2023)
- Reglamento (UE) 2023/5, del 3 de enero de 2023, por el que se autoriza la comercialización de polvo parcialmente desgrasado de *Acheta domesticus* (grillo doméstico) como nuevo alimento y se modifica el Reglamento de Ejecución (UE) 2017/2470. *Diario Oficial de la Unión Europea*, serie L 2, de 4 de enero de 2023, pp. 9-15. (Consultado: 5 de noviembre de 2023)

- Renna M., Coppa M., Lussiana C., Le Morvan C., Gasco L., Maxin G. (2022). Full-fat insect meals in ruminant nutrition: in vitro rumen fermentation characteristics and lipid biohydrogenation. *Journal of Animal Science and Biotechnology* 13: 138 <https://doi.org/10.1186/s40104-022-00792-2>
- Ros-Baró M., Sánchez-Socarrás V., Santos-Pagès M., Bach-Faig A., Aguilar-Martínez A. (2022). Consumers' acceptability and perception of edible insects as an emerging protein source. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 19: 15756. <https://doi.org/10.3390/ijerph192315756>
- Salgado J.M. (2023). Tecnologías de bajo impacto ambiental para la valorización de subproductos de granjas de insectos. En: Bioprocesado de insectos para la obtención de productos de valor añadido. Proyecto Bioproinsect-FEUGA 2023. Disponible en: <https://www.feuga.es/bioproinsect-innovacion-feuga>. (Consultado: 6 de julio de 2023)
- Sánchez-Muros M.J., Barroso F.G., Manzano-Aguilario F. (2014). Insect meal as renewable source of food for animal feeding: a review. *Journal of Cleaner Production* 65: 16-27. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.11.068>
- Schiel L., Wind C., Braun P.G., Koethe M. (2020). Legal framework for the marketing of food insects in the European Union. *Ernahrungs Umschau International* 67(4): 76-85. <https://doi.org/10.4455/eu.2020.015>
- Sogari G., Menozzi D., Mora C., Gariglio M., Gasco L., Schiavone A. (2021). How information affects consumers' purchase intention and willingness to pay for poultry farmed with insect-based meal and live insects. *Journal of Insects as Food and Feed*: 8(2): 197-206. <https://doi.org/10.3920/JIFF2021.0034>
- Terova G., Rimoldi S., Ascione C., Gini E., Ceccotti C., Gasco L. (2019). Rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) gut microbiota is modulated by insect meal from *Hermetia illucens prepupae* in the diet. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 29: 465-486. <https://doi.org/10.1007/s11160-019-09558-y>
- Toral P.G., Hervás G., González-Rosales M.G., Mendoza A.G., Robles-Jiménez L.E., Frutos P. (2022). Insects as alternative feed for ruminants: comparison of protein evaluation methods. *Journal of Animal Science and Biotechnology* 13:21. <https://doi.org/10.1186/s40104-021-00671-2>
- Van Huis A. (2020). Insects as food and feed, a new emerging agricultural sector: a review. *Journal of Insects as Food and Feed* 6(1): 27-44. <https://doi.org/10.3920/JIFF2019.0017>
- (Aceptado para publicación el 6 de noviembre de 2023)

Influencia del estímulo sexual utilizado en la libido y la calidad seminal del macho cabrío de raza Murciano Granadina

Sonia Galián^{1,*}, Begoña Peinado¹, Salvador Ruiz², Ángel Poto¹ y Laura Almela¹

¹ Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Medioambiental. Calle Mayor s/n. 30150 La Alberca, Murcia, España

² Departamento de Fisiología, Facultad de Veterinaria. Universidad de Murcia. 30071 Murcia, España

Resumen

La recogida de semen en caprino se realiza habitualmente utilizando como estímulo sexual una hembra, que ha de sobrellevar las acciones derivadas del comportamiento previo a la monta de los machos de esta especie, además de ser sometida a repetidas inyecciones hormonales para su continua salida en celo. En otras especies, ésta recogida puede realizarse utilizando un macho o un objeto inanimado como señuelo. El objetivo de este trabajo ha sido comprobar si la utilización de otro macho de la misma raza y un maniquí eran eficaces en la extracción de semen en la especie caprina, evaluándose si los machos eran capaces de eyacular, su tiempo de reacción y su calidad seminal cuando se les presentaba un maniquí con forma de hembra caprina u otro macho como estímulo sexual. Se compararon los promedios así obtenidos, con los obtenidos al utilizar una hembra como señuelo. No se observaron diferencias significativas con el uso de otro macho, ni en comportamiento ni en calidad seminal pero sí una menor excitación sexual al utilizar el maniquí, que se tradujo en un menor número de machos que saltaron y eyacularon sobre él (3 machos de 10), mayor tiempo de reacción (17,6 s vs. 51,6 s), promedios significativamente inferiores en el volumen de eyaculado (1,15 ml vs. 0,86 ml) y la concentración espermática (2552×10^6 vs. 1967×10^6). Este trabajo puede servir como ensayo preliminar, debiendo probarse si esta técnica puede ser mejorada añadiendo al maniquí algún fluido biológico que aumente la excitación de los machos cabríos.

Palabras clave: Recolección de semen, bienestar animal, caprino, maniquí.

Influence of the sexual stimulus on libido and seminal quality of the Murciano Granadina caprine breed

Abstract

Semen collection in bucks is usually performed using a female as a sexual stimulus, which has to cope with the actions derived from the pre-breeding behavior of the males of this species, in addition to being subjected to repeated hormone injections for her continuous coming out in heat. In other species, this collection can be done using a male or an inanimate object as a lure. The objective of this work was to test if the use of another male of the same breed and a dummy were effective in semen extraction in caprine,

* Autor para correspondencia: sgalianarnaldos@gmail.com

Cita del artículo: Galián S., Peinado B., Ruiz S., Poto A., Almela L. (2024). Influencia del estímulo sexual utilizado en la libido y la calidad seminal del macho cabrío de raza Murciano Granadina. ITEA-Información Técnica Económica Agraria 120(2): 156-167. <https://doi.org/10.12706/itea.2023.024>



Copyright: © 2024 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)

evaluating if the males were able to ejaculate, their reaction time and seminal quality when presented with a dummy in the shape of a female or another male as a sexual stimulus. The averages thus obtained were compared with those obtained when a female was used as a decoy. No significant differences were observed with the use of another male, neither in behavior nor in seminal quality, but there was a lower sexual arousal when using the dummy, which resulted in a lower number of males mounting and ejaculating on it (3 out 10), higher reaction time (17,6 s vs. 51,6 s) and significantly lower averages in the parameters of ejaculate volume (1,15 ml vs. 0,86 ml) and sperm concentration (2552×10^6 vs. 1967×10^6). This work can serve as a preliminary trial, and it should be tested whether this technique can be improved by adding to the dummy some biological fluid that increases the arousal of the bucks.

Keywords: Semen collection, animal welfare, buck, dummy.

Introducción

Durante el siglo XX la recolección de semen caprino ha sido realizada mediante la presentación a un macho de una hembra caprina sujeta por un potro metálico o de madera. El método de extracción de semen que más se usa en caprino es la vagina artificial (VA) (Poto *et al.*, 2021), la cual consiste en un cuerpo de caucho y una camisa interna de látex entre las cuales se infunde aire y agua caliente, a unos 45 °C, para intentar igualar las condiciones de una vagina real en cuanto a temperatura y presión (Poto *et al.*, 1995; Cortés, 2003). Mediante esta técnica podemos obtener un eyaculado con las mismas características que la monta natural, a la vez que se respeta el cortejo del macho. Este cortejo previo a la penetración, tanto por parte del macho como de la hembra en celo, es más importante de lo que pueda parecer en un principio, pues su realización ayuda a la emisión de gametos y fluidos protectores y nutritivos, mejorando la cantidad y la calidad de los mismos (Poto *et al.*, 2021). Una de las principales desventajas del método de la VA es que requiere un periodo de entrenamiento (Maxwell y Evans, 1990; Wulster-Radcliffe *et al.*, 2001) para que el macho cabrío se habitúe a saltar y eyacular en presencia humana, existiendo machos que se cohiben ante la presencia del técnico hasta el punto de hacer imposible su recogida.

Otra de las desventajas es que la hembra destinada a señuelo es usualmente estimulada para la aceptación de la monta del macho mediante un estrógeno inyectable, normalmente benzoato o valerato de estradiol (Acosta *et al.*, 2007; Gómez, 2020), lo que provoca los mismos efectos que el 17β -estradiol, compuesto natural producido en la fase folicular del ciclo reproductivo. Los inyectables que presentan componentes derivados del estradiol han sido prohibidos en la Unión Europea por la posibilidad de causar efectos adversos en el consumidor en caso de que las carnes derivadas de la cabra estrogenizada alcancen la cadena alimentaria (González de Bulnes, 2013; MAPA, 2021).

La hembra caprina utilizada como estímulo sexual, y, por tanto, sometida a estrogenización, ha de recibir varias inyecciones a lo largo de todo el periodo de recogida, con lo que suele ser el mismo animal el utilizado en todas las recogidas del centro o granja donde se prepara semen caprino, comprometiéndose su bienestar. La aparición de anomalías en la fisiología puede ser frecuente por la sobredosificación, tanto de los inyectables continuados, como por la acumulación de derivados metabólicos en el proceso de detoxificación (Silva-Molano y Loaiza-Echeverri, 2007; García, 2018). Además, debido a que este método permite el natural cortejo del macho sobre la hembra que ejerce de señuelo, ésta debe sobrellevar las acciones previas y propias del cortejo tí-

pico de esta especie antes de producirse la monta de cuantos machos vayan a ser utilizados ese día (Poto *et al.*, 2021), comprometiéndose también de esta manera su bienestar.

En otras especies, el problema se ha resuelto con la utilización de maniqués, como es el caso del ganado porcino (Poto *et al.*, 2000), o con la utilización de machos de esa misma especie, como es el caso del ganado bovino, que utiliza otros toros para que salten sobre ellos los machos donantes (Arieta-Román *et al.*, 2014), o incluso en la misma raza caprina Murciano Granadina (MG) el uso de otro macho ha sido probado con éxito en un trabajo preliminar (Poto *et al.*, 2021). Los machos, debido a su mayor corpulencia y fortaleza física resistirían mejor los actos típicos del cortejo, de ahí la mejora en el bienestar del animal utilizado como estímulo sexual. Si se quiere evitar totalmente el sufrimiento del animal utilizado como estímulo sexual, existe la posibilidad de utilizar un maniquí. El uso de maniquí ya ha sido empleado en la extracción de semen en otras especies como porcino (Poto *et al.*, 2000) y ovino (Aguirre Flores *et al.*, 2005) quienes publicaron que es posible que alrededor del 90 % de los machos jóvenes pueden ser entrenados para la recogida de semen mediante VA utilizando como señuelo un objeto inanimado.

En el caso de la especie caprina, este maniquí será menos rechazado si tiene la forma y el tamaño de una cabra adulta, y se recomienda que esté realizado de un material impermeable, de fácil limpieza y resistente a los desinfectantes. Si este método de recogida resultara efectivo, y proporcionara calidades seminales similares a las obtenidas al utilizar una hembra, se eliminaría el sufrimiento animal del ejemplar usado repetidamente como estímulo. Cuenta además con otra ventaja, y es la posibilidad de acoplar la VA al maniquí, lo que facilitaría que los machos donantes de interés genético, pero temerosos ante la presencia humana, saltaran y eyacularan en la VA acoplada, sin la presencia cercana del técnico.

El objetivo de este trabajo ha sido determinar si la libido de los machos cabríos de raza MG, determinada por el tiempo de reacción (TR) y la capacidad de servicio, se ven afectados si el estímulo sexual utilizado, en lugar de ser una hembra estrogenizada es sustituido por otro macho cabrío o incluso un maniquí, y analizar la calidad seminal de los eyaculados obtenidos al utilizar los diferentes señuelos para comprobar si se veía afectada por el estímulo sexual.

Material y métodos

Ética

Todos los procedimientos de este estudio fueron aprobados por el Comité Ético de la Universidad de Murcia el 1 de junio de 2020 (PID2019-106380RB-I00), ya que la granja donde se alojan los animales es compartida entre el IMIDA y esta Universidad. A lo largo de los experimentos, los animales fueron manipulados cuidadosamente evitando cualquier estrés innecesario. Todos los experimentos se realizaron siguiendo las directrices y normativas pertinentes.

Este trabajo cumple con la normativa española y europea sobre bienestar animal, ya que están excluidas del ámbito de aplicación del Real Decreto 53/2013, debido a que la actividad y uso de los animales utilizados entra dentro del ámbito de aplicación del artículo 2, apartado 5 letra d (f) del mismo apartado, que establece que “quedan excluidas las prácticas realizadas con fines zootécnicos”; y (f) del mismo apartado, que establece que: “quedan excluidas las prácticas que probablemente no causen dolor, sufrimiento, angustia o daño duradero igual o superior al causado por la inserción de una aguja de acuerdo con las buenas prácticas veterinarias”. Esta legislación transpone la Directiva 2010/63/UE, relativa a la protección de los animales utilizados para experimentación y otros fines científicos.

Todos los ensayos se realizaron en la nave de ganado caprino de la Granja Docente Veterinaria de la Universidad de Murcia, ubicada en Guadalupe (Murcia), con machos y hembras caprinas de raza MG pertenecientes al Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Medioambiental (IMIDA).

Los machos se alojaron en corrales individuales de 10 m², con un área cubierta y un patio de ejercicios al aire libre. Fueron alimentados teniendo en cuenta sus necesidades nutricionales. El programa de alimentación se ajustó al peso corporal: se inició con 50 g de concentrado comercial y finalizó con 850 g. El concentrado comercial contenía 15,2 % de proteína cruda; 3,7 % de grasa cruda; 16,5 % de fibra cruda y elementos minerales Ca, P, Na y Mg. Se les administró piedras minerales *ad libitum* con Zn (2850 mg/piedra), Mn (1800 mg/piedra), I (400 mg/piedra), Fe (200 mg/piedra), Co (50 mg/piedra) y Se (55 mg/piedra) como oligoelementos y Na (36 %), Ca (2,5 %) y Mg (0,50 %) como macroelementos. Cada macho siempre tuvo agua *ad libitum*.

Se emplearon 10 machos cabríos de raza MG que habían alcanzado la pubertad, menores de un año (entre 9 y 10 meses de edad). Todos fueron entrenados previamente para la recolección de semen mediante el salto sobre una hembra caprina sujeta a un potro metálico. Esta hembra no fue la misma durante las distintas semanas de entrenamiento ni durante los días del estudio, debido a que se procuró elegir una hembra del rebaño que presentara celo el día de la recogida. Si ningún animal presentaba evidencias de celo, se utilizaba una hembra estrogenizada. Se mantuvo la misma hembra durante una misma jornada de recogida. El periodo de entrenamiento duró 3 meses con recogidas cada semana, iniciándose cuando los machos contaban con 5-6 meses de edad. Durante este periodo se obtuvieron un total de 69 eyaculados. Una vez los machos conocieron el sis-

tema de monta, se estudió su comportamiento sexual y capacidad de servicio en una mañana utilizando una hembra inmovilizada (al igual que se había hecho durante su entrenamiento) y un macho cabrío adulto, sujeto al potro metálico (Figura 1). Esta parte del estudio se realizó durante 6 semanas, con recogidas una vez por semana, alternando semanalmente la utilización de la hembra o el macho como estímulo. El número de eyaculados analizado fue de 35 al utilizar una hembra y de 43 cuando se utilizó otro macho.



Figura 1. Macho cabrío saltando sobre otro macho.
Figure 1. Buck mounting another buck.

El estudio con el maniquí se realizó aproximadamente 1 año después de los anteriores utilizándose los mismos machos (contaban entonces con 21 y 22 meses de edad) y lugar de extracción. Se realizó semanalmente durante 13 semanas, analizándose 58 eyaculados obtenidos con este estímulo sexual. El maniquí empleado se fabricó en el propio centro de investigación, y consistía en un armazón de hierro recubierto de varias capas de Etileno Vinil Acetato (conocido como *goma EVA*) microporoso, que le proporcionaban una consistencia firme. Este maniquí imitaba la forma de una hembra caprina y se fabricó según las medidas reales de hembras de la raza (Figuras 2 y 3).



Figura 2. Maniquí con forma y tamaño de hembra caprina.

Figure 2. Dummy with shape and size of a goat.



Figura 3. Macho cabrío saltando sobre el maniquí.

Figure 3. Buck mounting a dummy.

Para valorar el comportamiento sexual y la calidad seminal con cada estímulo se evaluó la libido de los machos ante la presencia de cada señuelo, midiéndose el tiempo de reacción (TR) y la capacidad de servicio. El TR fue medido con un cronómetro de precisión desde la entrada del macho en el recinto donde se encontraba el estímulo sexual hasta el de-

pósito del semen en un tubo de ensayo de volumen graduado y atemperado a 37 °C. Si tras 5 min en contacto con el señuelo no se había producido la monta, se sacaba al macho en estudio y se anotaba el fallo. Para conocer la capacidad de servicio que presentaba un macho en una mañana, este proceso se repetía cada 20 min con cada macho en estudio, tantas veces como saltos diera el animal. Tras 2 intentos sin salto, no se volvía a probar con ese macho. Todas las extracciones seminales se realizaron en horario de mañana, comenzándose sobre las 9 h y alargándose según el número de montas que realizasen los machos.

También se comparó la calidad seminal de los eyaculados obtenidos con cada estímulo sexual, para determinar si el estímulo utilizado podía influir en la calidad del eyaculado de forma significativa. Se midió el volumen de eyaculado, utilizándose un tubo de vidrio graduado, tras lo cual se diluyó la muestra de semen 1:10, utilizándose el diluyente Krebs-Ringer-Fosfato (KRP) (Corteel, 1974) atemperado a 37 °C. A esta dilución se le evaluó la concentración espermática mediante un espectrofotómetro (SpermaCue®, Minitüb, Tiefenbach, Alemania), la motilidad individual (MI), valorándose subjetivamente el movimiento espermático, en una escala de 0 a 5, donde 0 indica no movimiento y 5 movimiento progresivo muy rápido (Cabodevila y Catena, 2012) y el porcentaje de espermatozoides móviles (% MOT), determinado como el porcentaje subjetivo de espermatozoides con movimiento visualizados en varios campos al microscopio óptico (DM 2000, Leica Microsystems®, Barcelona, España) a 100X, considerándose el total del campo como el 100 %. Estas valoraciones se compararon con los resultados obtenidos el mismo día al utilizar una hembra.

El análisis estadístico se realizó con el programa informático *Statgraphics Centurion*®, mediante la distribución *F* de *Snedecor* en la

tabla ANOVA que determina si hay diferencias significativas entre las medias, y con la prueba de Rangos Múltiples, evaluando qué medias son significativamente diferentes de otras. El método empleado para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher, con un nivel del 95 % de confianza ($p < 0,05$).

Resultados

Se comprobó que los machos menores de un año de edad, previamente entrenados en la monta sobre una hembra inmovilizada, respondían de igual manera si en lugar de una hembra caprina se les suministraba un macho inmovilizado. Las variaciones observadas co-

rrespondieron a una variabilidad entre ejemplares y no a un cambio de comportamiento por la presencia de otro macho. Machos jóvenes que presentaban mayor tiempo de cortejo con las hembras siguieron siendo los que más TR mostraron al presentarles otro macho, mientras que aquellos más rápidos en la monta a la hembra también lo fueron al montar otro macho.

Sí que se aprecian diferencias, sobre todo en los TR, cuando los machos no estaban entrenados con respecto a los obtenidos una vez transcurrido un periodo de entrenamiento (Tabla 1), siendo significativamente inferiores cuando los machos ya habían sido entrenados durante varias semanas. En cambio, no se encontraron diferencias significativas al utilizar un macho o una hembra como señuelo.

Tabla 1. Valores promedio \pm error estándar del tiempo de reacción (TR), volumen de eyaculado (VE), concentración total de espermatozoides ([Esp]), motilidad individual (MI) y porcentaje de espermatozoides móviles (% MOT) durante el periodo de entrenamiento y al usar una hembra y un macho.

Table 1. Mean values of reaction time (TR), ejaculate volume (VE), total sperm concentration ([Esp]), individual motility (MI) and percentage of motile sperm (% MOT) during the training time and by using a female and a male.

	TR (s)	VE (ml)	[Esp]($\times 10^6$)	MI	MOT(%)
Entreno (N = 69)	81,4 ^a \pm 6,7	0,55 ^a \pm 0,04	2404 ^a \pm 165	4,08 ^a \pm 0,04	69,1 ^a \pm 1,4
Hembra (N = 35)	19,2 ^b \pm 10,2	0,77 ^b \pm 0,07	3604 ^b \pm 273	4,18 ^a \pm 0,07	76,2 ^b \pm 2,3
Macho (N = 43)	22,1 ^b \pm 7,6	0,66 ^{a,b} \pm 0,06	2966 ^b \pm 193	4,20 ^a \pm 0,06	73,4 ^{a,b} \pm 1,9

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas. N = número de eyaculados analizados.

En general, la presencia de otro macho no fue un impedimento para la monta y la extracción de semen. Solo un macho joven no saltó en ningún momento, siendo el mismo que no mostraba interés sexual cuando se intentaba con una hembra. Tampoco afectó a la capacidad de servicio por día de los machos cabríos, pues realizaron el mismo número de servicios que en presencia de una hembra.

Esta capacidad de servicio dependió del macho en estudio, existiendo machos capaces de montar y eyacular 6-7 veces en una mañana, mientras otros lo hacían solo 2 veces.

El volumen de eyaculado obtenido fue mayor al usar una hembra, una vez estuvieron entrenados los machos, pero no fue significativamente diferente que el obtenido al utilizar otro macho. La concentración esper-

mática total no varió significativamente con el uso de macho o hembra, pero sí se incrementó con el paso de los meses. La calidad seminal (medida como motilidad individual espermática y porcentaje de espermatozoides móviles) no se afectó por ser estimulados con un macho en lugar de por una hembra.

Se cree que esta mejora fue debida al aumento de la edad de los machos en estudio (eran varios meses menores cuando se les entrenó con la hembra que cuando se les estudió con ambos estímulos). Los promedios de calidad de movimiento individual fueron superiores a 4, % MOT superiores al 60 % en todos los casos y la concentración del eyaculado mayor de 2000×10^6 esp/ml.

El ensayo con el maniquí se realizó un año después de los otros tres, de manera que los machos contaban con un año más de edad. Los resultados se muestran en una nueva tabla (Tabla 2) junto con los promedios que se obtuvieron durante este mismo período de tiempo al utilizar una hembra como estímulo sexual. En esta tabla se incluyen los promedios de todos los machos cuando se utilizó una hembra y también los promedios de los

machos que saltaban con ambos estímulos, para intentar que el efecto macho no desviara los resultados.

Se observa que se incrementó el promedio del TR también al utilizar una hembra, con respecto al obtenido el año anterior (35,1 s frente a 19,2 s), por lo que podemos atribuir este aumento medio del tiempo que los machos tardan en saltar sobre el señuelo a un aumento de la edad, y no a la utilización del maniquí.

Al utilizar el maniquí como estímulo sexual la respuesta de los machos varió. De los 10 machos que fueron estudiados solo 3 de ellos saltaron regularmente sobre el maniquí. Otros 6 machos saltaron y eyacularon esporádicamente al utilizar el maniquí, pero no con regularidad y 1 macho no saltó nunca sobre el maniquí. Debido a que la mayoría de eyaculados obtenidos con este estímulo sexual pertenecían a solo 3 machos, se obtuvieron los promedios que proporcionaron esos mismos machos al utilizar una hembra, para poder comparar la calidad seminal y que ésta no estuviera influenciada por el factor macho y sí por el estímulo utilizado (Tabla 2).

Tabla 2. Valores promedio \pm error estándar de los parámetros de calidad seminal evaluados al comparar la utilización de una hembra y un maniquí como estímulo sexual.

Table 2. Average values of the semen quality parameters evaluated when comparing the use of a female and a dummy as sexual stimulus.

	TR (s)	VE (ml)	[Esp]($\times 10^6$)	MI	MOT(%)
Hembra (todos los machos); (N = 128)*	35,1 ^a \pm 3,18	1,05 ^a \pm 0,04	2318 ^a \pm 124,7	4,08 ^a \pm 0,04	65,1 ^a \pm 1,76
Hembra (3 machos) (N = 58)	17,6 ^a \pm 2,23	1,15 ^a \pm 0,06	2552 ^a \pm 168,4	4,11 ^a \pm 0,05	69,5 ^a \pm 2,11
Maniquí (3 machos) (N = 58)	51,6 ^b \pm 9,12	0,86 ^b \pm 0,06	1967 ^b \pm 128,4	4,11 ^a \pm 0,06	67,1 ^a \pm 2,23

* = los 10 machos del estudio. TR = tiempo de reacción. VE = Volumen eyaculado. [Esp] = concentración total de espermatozoides. MI = motilidad individual. % MOT = porcentaje de espermatozoides móviles. Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas. N = número de eyaculados analizado.

En cuanto al TR, existen diferencias significativas muy notables al utilizar una hembra (17,6 s) y un maniquí (51,6 s), siendo mayor cuando el estímulo sexual es este último. El tiempo promedio de todos los machos del estudio (35,1 s) se debe a una variabilidad entre machos y no al estímulo.

El volumen de eyaculado fue significativamente menor al utilizar el maniquí que al utilizar la hembra, al igual que la concentración de espermatozoides del eyaculado. Sin embargo, los parámetros de MI y % MOT no fueron significativamente diferentes con distintos estímulos sexuales.

Discusión

Este estudio ha puesto de manifiesto que la recogida seminal de calidad óptima es posible sin la utilización de una hembra estrogenizada, ya que puede lograrse utilizando como estímulo sexual un macho. La capacidad de servicio no se afectó cuando el señuelo fue un macho y sorprendió la falta de confusión ante el cambio de sexo del estímulo presentado. Tampoco este cambio ocasionó la agresión de machos jóvenes hacia el macho señuelo. No presentaron signos de comportamiento sexual previo a la monta, con excepción de los que lo hacían cuando el estímulo era la hembra.

Es posible que la mejora en la calidad seminal con respecto al periodo de entrenamiento fuera debida al aumento de la edad de los machos en estudio (eran varios meses menores cuando se les entrenó con la hembra que cuando se les estudió con ambos estímulos) ya que, como también encontraron otros autores, la calidad y la concentración mejoran con el aumento de edad de machos jóvenes (Zubieta, 1990; Roca et al., 1991a; Galián, 2022). Ocurre lo mismo en otras razas como son Jamunapari (Shina et al., 1981), Mancha (Muhuyi

et al., 1982) y Nubiana (Skalet et al., 1988), y no parece estar influida por el sexo del animal utilizado como señuelo.

Los resultados fueron diferentes al utilizar un maniquí como estímulo sexual. En un estudio preliminar realizado por nuestro equipo (Poto et al., 2021) la utilización de maniquí proporcionó un comportamiento similar al obtenido con una hembra, en cuanto al número de machos que lo montaron y eyacularon, pero al profundizar en el estudio con un mayor número de días de ensayo, se apreció que la mayoría de los machos no saltaban ni eyaculaban sobre el maniquí. Solo 3 machos saltaron regularmente sobre él, mientras que 6 solo lo hicieron en una o dos ocasiones. Un macho no saltó nunca sobre el maniquí, el mismo que tampoco lo hacía al utilizar otro macho. Este ya es el primer inconveniente de este estímulo sexual, ya que lógicamente, el señuelo utilizado debería conseguir excitar a todos los machos donantes. El éxito del estudio preliminar no fue corroborado al aumentar el número de intentos. El uso de un maniquí inanimado no está extendido en la especie caprina, por lo que no existen estudios con los que comparar nuestros resultados. Aguirre Flores et al. (2005) publicaron que en ovino, el 90% de los machos jóvenes pudieron ser entrenados con éxito utilizando un maniquí, lo que mejora el porcentaje obtenido en este estudio. Estas diferencias pueden deberse al cambio de especie o también a que en su estudio incorporaron el maniquí en el momento del entrenamiento, lo que podría tener influencia en el éxito de la respuesta una vez alcanzan la madurez sexual. Sería interesante la incorporación del maniquí durante el periodo de entrenamiento de los machos jóvenes para determinar si se obtiene una mejora en los resultados obtenidos.

En cuanto al TR, éste se incrementó significativamente con respecto al obtenido al utilizar una hembra. Si consideramos el promedio de los machos que saltan, tanto con

hembra como con maniquí, la diferencia se elevó de los 17,6 s de promedio que tardaron en montar a la hembra hasta los 51,6 s que transcurrieron hasta montar al maniquí. Este incremento de tiempo indica una menor excitación por parte de los machos que puede deberse a la ausencia de estímulos olfativos provenientes del maniquí. El macho cabrío realiza la búsqueda y contacto con la hembra en estro usando señales olfatorias y pasa gran parte del tiempo olfateando el tracto genital y la orina de la misma. Las señales olfativas pueden ser transportadas al cerebro para llegar a los centros que controlan la actividad de GnRH por medio de dos vías: 1) a partir de la mucosa olfativa y el bulbo olfatorio principal, 2) o mediante el órgano vomeronasal y el bulbo olfatorio accesorio. En ovino, ambos sistemas podrían estar involucrados en el comportamiento sexual, aunque en caprino no se conocen las vías de activación de este comportamiento (Nowak et al., 2008; Delgadillo et al., 2009). Se sabe que en mamíferos las feromonas son detectadas a través del órgano vomeronasal, que se encuentra en el interior de la cavidad nasal y conecta mediante terminaciones nerviosas con el hipotálamo, donde se despiertan las sensaciones de placer (Córdova Izquierdo et al., 2002). El macho responde con una conducta conocida como *flehmen*, que se basa en olores percibidos en el órgano vomeronasal para su detección por el sistema olfatorio accesorio (Espinosa Cervantes et al., 2014). En ausencia de este estímulo olfatorio, al utilizar el maniquí se altera el comportamiento sexual normal que tendría ese macho, dando como resultado la ausencia de monta en muchos casos o en aquellos en los que finalmente ocurre, es necesario un mayor tiempo.

Existen estudios en caprino que correlacionan la excitación sexual con la probabilidad de que el macho cabrío eyacule o se afecte el TR, o incluso se vean afectados parámetros de calidad seminal. Prado et al. (2003) publi-

caron que la concentración de espermatozoides es significativamente inferior en el 7º eyaculado del día con respecto al primero, pero esta concentración se recupera en un 67 % cuando se cambia la hembra en celo por otra, mientras que Silvestre et al. (2004), en la raza MG encontraron que el cambio de hembra a partir del tercer eyaculado del día no varió los parámetros seminales, pero sí disminuyó el TR en el tercer servicio. Además, la probabilidad de que un macho eyaculara por tercera vez se multiplicaba por cuatro al cambiar la hembra en el tercer servicio. De esta manera, la excitación sexual que provocaba el cambio de hembra sí influiría, tanto en el TR como en la posibilidad de obtener eyaculado, e incluso en algún caso afectaría a la concentración espermática. Aplicado al uso del maniquí, podríamos inferir que la menor excitación ocasionada por éste con respecto a la que proporciona una hembra fue la responsable del aumento en el TR y la disminución en la concentración espermática detectados en este estudio.

Al considerar el promedio del TR de todos los machos cuando se utiliza la hembra, este fue de 35,1 s, pero esta diferencia se debe al macho en estudio y la variabilidad en los tiempos de reacción que presentan entre ellos, no al estímulo sexual utilizado.

El volumen de eyaculado y la concentración total de espermatozoides fueron también significativamente inferiores al utilizar el maniquí con respecto al uso de la hembra. Esto también podría estar relacionado con el nivel de excitación del macho. Existen estudios, sobre todo en el hombre, que correlacionan una mayor excitación sexual con algunos parámetros de calidad seminal. Por ejemplo, en humanos, Pound et al. (2002) correlacionaron positivamente el tiempo de excitación sexual con la concentración espermática y Elzanaty y Malm (2008) encontraron mayor concentración espermática, motilidad total y progresiva en muestras seminales recogidas

en casa, frente a aquellas obtenidas en la clínica, lo que podría relacionarse con el nivel de excitación obtenido en cada uno de estos lugares. Recientemente, Stimpfel *et al.* (2021) también encontraron concentraciones de espermatozoides significativamente inferiores y menor motilidad en muestras obtenidas en clínica, pero no diferencias en el número de espermatozoides totales, volumen seminal o morfología.

Estudios en reproducción humana y bovina coinciden en que una mayor excitación sexual contribuiría a aumentar la calidad del eyaculado. La explicación fisiológica sería que ocurre una mayor vascularización de las glándulas que producen el líquido seminal, las vesículas seminales y la próstata, favoreciéndose una eyaculación completa que se traduciría en el aumento del número de espermatozoides del eyaculado y del volumen de este (Rivera y Trujillo, 1990; Instituto Marqués, 2019).

Los parámetros de MI y % MOT no fueron diferentes al utilizar ambos estímulos sexuales, por lo que parece que estos factores son intrínsecos al ejemplar y dependientes de factores como la edad (Roca *et al.*, 1991b; Galián *et al.*, 2021), la temperatura ambiental (Pérez, 1992) o el estado general del macho (Delgadillo, 2004) y no del grado de excitación del macho, y por tanto, tampoco del estímulo sexual.

Sería interesante estudiar si los resultados obtenidos al utilizar el maniquí podrían ser mejorados si se utilizara junto algún fluido biológico (fluido folicular cargado de estrógenos, orina de hembra o incluso semen de otro macho) que influyera en la excitación de los machos donantes.

Conclusiones

La recogida de semen de machos cabríos puede realizarse utilizando como estímulo sexual una hembra u otro macho, sin afectar a la calidad seminal ni a la libido. La utilización

de un maniquí que simula una hembra caprina no consiguió igualar la libido de la mayoría de los machos donantes. El TR, volumen de eyaculado y concentración de espermatozoides en el eyaculado al usar un maniquí fue inferior a los obtenidos cuando el estímulo sexual era una hembra o un macho. Esto puede deberse a la falta de estímulo olfativo que no estimularía el órgano vomeronasal, inhibiéndose buena parte de la excitación sexual. En un futuro sería interesante estudiar si la utilización de fluidos biológicos sobre el maniquí o la incorporación del mismo durante el periodo de entrenamiento en la recogida seminal de los machos jóvenes mejorarían los resultados de recolección de semen caprino con este método.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por Fondos Europeos de Desarrollo Regional, FEDER 1420 – 26. Con el proyecto titulado: Los recursos genéticos animales resilientes al cambio climático. Mejora y diversificación de productos alimenticios derivados y obtenidos de forma biosostenible.

Referencias bibliográficas

- Acosta J., López Z., Valdés M. (2007). Efecto del benzoato de estradiol en la población folicular de cabras no cíclicas. *Ciencia y Tecnología Ganadera* 1: 49-54.
- Aguirre Flores V., Vázquez Rosales R., Orihuela Trujillo A. (2005). Entrenamiento de carneros para recolección de semen mediante vagina artificial, utilizando como estímulo objetos inanimados. *Veterinaria México* 36(1): 105-111.
- Arieta-Román R.D.J., Fernández-Figueroa J.A., Menchaca-Peña J. (2014). Métodos de extracción de semen bovino. *REDVET, Revista Electrónica de Veterinaria* 15(5): 1-8.

- Cabodevila J., Catena M. (2012). Evaluación de semen bovino congelado. Disponible en: https://www.engormix.com/ganaderia/inseminacion-artificial-ganado-carne/evaluacion-semen-bovino-congeleado_a29765/ (Consultado: 19 octubre 2020).
- Córdova Izquierdo A., Nava Noriega J.R., Pérez Gutiérrez J.F. (2002). Importancia de las feromonas en la reproducción animal. *Medicina Veterinaria* 19(7): 99-107.
- Cortee J.M. (1974). Viabilité des spermatozoïdes de bouc conservés et congelés avec ou sans leur plasma séminal: effet du glucose. *Annales de biologie animale, biochimie, biophysique* 14: 741-745.
- Cortés S. (2003). Efecto de la conservación sobre la fisiología espermática de semen caprino. Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid, Madrid, España.
- Delgadillo J.A. (2004). Características anatómicas y funcionales del sistema reproductor del macho. En: *Reproducción Ovina y Caprina* (Ed. Aisen E.G.), pp. 1-9. Intermédica. Buenos Aires, Argentina.
- Delgadillo J.A., Gelez H., Ungerfeld R., Hawken P.A., Martin G.B. (2009). The 'male effect' in sheep and goats- revisiting the dogmas. *Behavioural Brain Research* 200(2): 304-314. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2009.02.004>.
- 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, de 20 de octubre de 2010, pp. 33-79.
- Elzanaty S., Malm J. (2008). Comparison of semen parameters in samples collected by masturbation at a clinic and at home. *Fertility and Sterility* 89(6): 1718-1722. <https://doi.org/10.1016/j.fertnstert.2007.05.044>.
- Espinosa Cervantes R., Córdova Izquierdo A., Soto González R. (2014). Comportamiento sexual en ovinos y caprinos. *Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente* 13(26): 99-116.
- Galián S., Peinado B., Poto A., Almela L. (2021). Comportamiento sexual del macho cabrío murciano granadino en distintas edades. *Archivos de Zootecnia* 70(269): 152-158. <https://doi.org/10.21071/az.v70i270.5467>.
- Galián S. (2022). Optimización y mejora de la inseminación artificial en la raza caprina Murciano-Granadina. Tesis Doctoral. Universidad de Murcia. Murcia, España.
- García Y. (2018). Efectos adversos de los estrógenos endógenos en hembras caninas. Degree Thesis. Faculty of Veterinary Sciences UNCPBA. Tandil, Argentina.
- Gómez M. (2020). Evaluación de protocolos de sincronización de celos con progesterona y benzoato de estradiol para inseminación artificial a tiempo fijo en ovinos. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de La Plata, Buenos Aires, Argentina.
- González de Bulnes A. (2013). Actualización en sistemas de manejo reproductivo. XXXVIII Congreso Nacional SEOC, 18-20 de septiembre, Málaga, España. pp. 90-99.
- Instituto Marqués (2019). La excitación sexual aumenta la calidad del eyaculado. Disponible en: <https://institutomarques.com/noticias/noticias-2019/la-excitacion-sexual-aumenta-la-calidad-del-eyaculado/> (Consultado: 15 febrero 2022).
- MAPA (2021). https://www.mapa.gob.es/es/ganaderia/temas/zootecnia/Programa%20de%20Mejora%20de%20la%20Raza%20Murciano_Granadina.%20Definitivo._tcm30-114417.pdf (Consultado: 17 enero 2022).
- Maxwell W.M.C., Evans G. (1990). *Inseminación Artificial de Ovejas y Cabras*. Ed. Acribia. Madrid, España. 204 pp.
- Muhuyi W., Drobnis, E.Z., Nelson E.A., Lin T.Y. (1982). Season, breed and age influences on production and freezability of dairy goat semen. *Proceeding 3rd. International Conference on Goat Production and Disease*, 10-15 junio, Tucson, Arizona, USA.
- Nowak R., Porter R.H., Blache D., Dwyer C.M. (2008). Behaviour and the welfare of the sheep. En: *The Welfare of Sheep*. (Ed. Dwyer C.M.), pp. 81-134. Springer-Verlag. New York, USA. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8553-6_3.

- Pérez B. (1992). Estudio de los parámetros de valoración del rendimiento reproductivo en macho cabrío de las razas Verata y Malagueña. Tesis Doctoral. Universidad Complutense, Madrid, España.
- Poto A, Peinado B., Lorenzo M., Domínguez M.C., Gergatz E., Göker E., Bali Pap A. (1995). Inseminación artificial en caprino. Aportaciones en ganado de raza Murciano-Granadina. Mundo Ganadero 12: 46-50.
- Poto A., Peinado B., Rosique M., Martínez M., Barba C. (2000). Comportamiento del cerdo chato murciano frente maniquí en la sala de extracción de semen. Estudio preliminar de la libido. Archivos de Zootecnia 49(186): 87-93.
- Poto A., Almela L., Galián S., Peinado B. (2021). Diversas metodologías en la extracción de semen caprino y su influencia en el bienestar animal. Tierras Caprino 33: 50-53.
- Pound N., Javed M.H., Ruberto C., Shaikh M.A., Del Valle A.P. (2002). Duration of sexual arousal predicts semen parameters for masturbatory ejaculates. Physiology & Behavior 76(4-5): 685-689. [https://doi.org/10.1016/S0031-9384\(02\)00803-X](https://doi.org/10.1016/S0031-9384(02)00803-X).
- Prado V., Orihuela A., Lozano S., Pérez-León I. (2003). Effect on ejaculatory performance and semen parameters of sexually-satiated male goats (*Capra hircus*) after changing the stimulus female. Theriogenology 60(2): 261-267. [https://doi.org/10.1016/S0093-691X\(02\)01373-0](https://doi.org/10.1016/S0093-691X(02)01373-0).
- Real Decreto 53/2013, de 1 de febrero, por el que se establecen las normas básicas aplicables para la protección de los animales utilizados en experimentación y otros fines científicos, incluyendo la docencia. Boletín Oficial del Estado, núm. 34, de 8 de febrero de 2013, pp. 11370-11421.
- Rivera M., Trujillo L.E. (1990). Evaluación de algunas características del eyaculado en toros Holstein. Revista Facultad Nacional de A.gronomía Medellín 43(1-2): 3-27.
- Roca J., Martínez E., Vázquez J.M., Ruiz S., Coy P. (1991a). Influence of season on testicle size and libido in male goats from the Mediterranean area. Animal Production 52: 317-321. <https://doi.org/10.1017/S0003356100012836>.
- Roca J., Martínez E., Vázquez J.M., Ruiz S., Coy P. (1991b). Influencia de la edad sobre los parámetros reproductivos de machos cabríos de raza Murciano-Granadina. Archivos de Zootecnia 40: 173-179.
- Shina N.K., Wani G.M., Sahni K.L. (1981). Effect of seasons and age on seminal attributes of Jamunapari buck. Indian Veterinary Journal 58(12): 963-965.
- Silva-Molano R., Loaiza-Echeverri AM (2007). Piómetra en pequeños animales. Revista Veterinaria Y Zootecnia 1(2): 71-86.
- Silvestre M.A., Salvador I., Sánchez J.P., Gómez E.A. (2004). Effect of changing female stimulus on intensive semen collection in young Murciano-Granadina male goats. Journal of Animal Science 82(6): 1641-1645. <https://doi.org/10.2527/2004.8261641x>.
- Skalet L.H., Rodrigues H.D., Goyal H.O., Maloney M.A, Vig M.M, Noble R.C. (1988). Effects of age and season on the type and occurrence of sperm abnormalities in Nubian bucks. American Journal of Veterinary Research 49(8): 1284-1289.
- Stimpfel M., Jancar N., Vrtacnik-Bokal E. (2021). Collecting semen samples at home for IVF/ICSI does not negatively affect the outcome of the fresh cycle. Reproductive Biomedicine Online 42(2): 391-399. <https://doi.org/10.1016/j.rbmo.2020.09.021>.
- Wulster-Radcliffe M.C., Williams M., Stellflug J.N., Lewis G.S. (2001). Artificial vagina vs. a vaginal collection vial for collecting semen from rams. Journal of Animal Science 79: 2964-2967. <https://doi.org/10.2527/2001.79122964x>.
- Zubieta M. (1990). Evolución y valoración de la actividad funcional en machos reproductores caprinos durante su desarrollo. Tesis Doctoral. Universidad de Zaragoza. Zaragoza, España.

(Aceptado para publicación el 4 de diciembre de 2023)

Variantes del gen *KIT* y su relación con el vellón gris y blanco, así como ojos azules (fenotipo BEW) en alpacas

Carola Melo-Rojas*, P. Walter Bravo-Matheus, José Carlos Arias-Flores y Celso Zapata-Coacalla

Laboratorio de Genética. Escuela Profesional de Medicina Veterinaria Canchis. Universidad San Antonio Abad del Cusco. Cusco-Perú

Resumen

La alpaca (*Vicugna pacos*) presenta siete colores básicos y hasta 21 tonalidades para la industria textil. El manto de color más abundante es el blanco debido a un gen dominante y el gris es de interés para la industria de la moda. Por otro lado, los ojos azules (BEW-blue eyed white) que presentan algunas alpacas son una característica indeseable por estar considerada como un defecto genético; sin embargo, está presente en alpacas y llamas. El gen *KIT*, se ha asociado con el color gris y blanco en diferentes especies animales. En este estudio se analizó los 21 exones, incluyendo fragmentos de regiones intrónicas del gen *KIT* en 303 alpacas, 12 vicuñas y 3 guanacos. Se identificaron 6 SNPs no sinónimos, de estos un cambio de glicina por arginina en la posición aminoacídica 126 (c.376G>A) estuvo asociado fuertemente con el color gris y el fenotipo BEW ($P < 0,00001$). Un 95,2 % de alpacas grises y el total de alpacas con ojos azules fueron heterocigotas, el resto de animales analizados fueron homocigotos para el alelo de tipo salvaje. De igual manera, el cambio de valina por leucina en la posición aminoacídica 323 (c.967C>G) y el cambio de adenina por guanina en la posición +17 3'UTR mostraron asociación con el color blanco ($P < 0,001$) en alpacas mayormente heterocigotas. Este trabajo confirma que el gen *KIT* está asociado a las alpacas grises, blancas, así como al fenotipo BEW.

Palabras claves: Camélido, pigmentación, asociación, fibra.

Gen *KIT* variants and its relation to grey, white, and blue eyes (BEW phenotype) in alpacas

Abstract

The alpaca (*Vicugna pacos*) presents a variety of seven basic colors and up to 21 colors for the textile industry. The most abundant color coat is white because of a dominant gene and gray is of interest to the fashion industry. On the other hand, blue-eyed in some alpacas are undesirable traits because it is considered a genetic defect; however, they are frequently present in alpacas and llamas. The *KIT* gene has been associated with gray and white color in different animal species. In this study, the 21 exons, including fragments of intronic regions of the *KIT* gene were analyzed in 303 alpacas, 12 vicuñas and 3 guanacos. Six non-synonymous SNPs were identified, of these a change of glycine to arginine at amino acid position 126 (c.376G>A) was strongly associated with gray color and BEW phenotype ($P < 0.00001$).

* Autor para correspondencia: carola.melo@unsaac.edu.pe

Cita del artículo: Melo-Rojas C., Bravo-Matheus P.W., Arias-Flores J.C., Zapata-Coacalla C. (2024). Variantes del gen *KIT* y su relación con el vellón gris y blanco, así como ojos azules (fenotipo BEW) en alpacas. ITEA-Información Técnica Económica Agraria 120(2): 168-178. <https://doi.org/10.12706/itea.2024.002>



95.2 % of the gray and all blue-eyed alpacas were heterozygous, the rest of the animals analyzed were homozygous for the wild-type allele. Similarly, the change of valine to leucine at amino acid position 323 (c.967C>G) showed an association with white color ($P < 0.0001$) in mostly heterozygous alpacas. This work confirms that the *KIT* gene is associated with gray and white alpacas, as well as blue eyes.

Keywords: Camelid, pigmentation, association, fiber.

Introducción

La alpaca, uno de los cuatro camélidos andinos, ha sido seleccionada por su fibra de gran valor para la industria, el cual presenta una gran gama de colores, y si bien es cierto que la fibra blanca posee más demanda, existe un creciente interés por la fibra de color natural con el fin de evitar el uso de sustancias químicas en su teñido. Por lo tanto, una mejor comprensión de los mecanismos genéticos para estos fenotipos permitiría a los criadores seleccionar mejor el color deseado y criar eficientemente para esta característica (Jones et al., 2019). Si bien la pigmentación en los mamíferos está controlada por la síntesis de eumelanina (pigmentos negro/marrón) y feomelanina (pigmentos rojos/amarillos); en caso de camélidos, la genética de la herencia del color es compleja. Los resultados de predictibilidad para el color de vellón son bajos, por lo que el color de pelaje es de herencia poligénica (McGregor, 2006). Las alpacas de color gris suelen tener dos tipos de manchas en el vellón, blancas y oscuras (café a negro). Las manchas blancas se encuentran en cabeza, cuello y patas, y en caso de las manchas oscuras suelen encontrarse a lo largo del vellón (Figura 1). La mayoría de las veces, el vellón al abrirlo tiene mezcla de fibras blancas y negras, lo que le da el color gris (Paul, 2006). Este mismo autor, propuso que el vellón gris es el resultado de un alelo diluyente dominante que actúa sobre el pigmento de las fibras negras y marrones, así como alelos menores de manchas blancas que producen la característica cara, cuello y patas blancas de las alpacas grises



Figura 1. Alpaca gris con manchas negras a lo largo del vellón.

Figure 1. Grey alpaca with black stains along the fleece.

(tipo esmoquin). Por otro lado, algunas alpacas blancas presentan ojos azules, también denominado ojo zarco o fenotipo blanco de ojos azules (fenotipo BEW; Figuras 2.1 y 2.2), con iris ocular azulado y con frecuencia sordera (Gauly et al., 2005). De igual manera, la gran mayoría de alpacas blancas presentan una capa blanca, pero algunos animales presentan manchas marrones en el vellón (Gauly et al., 2005).

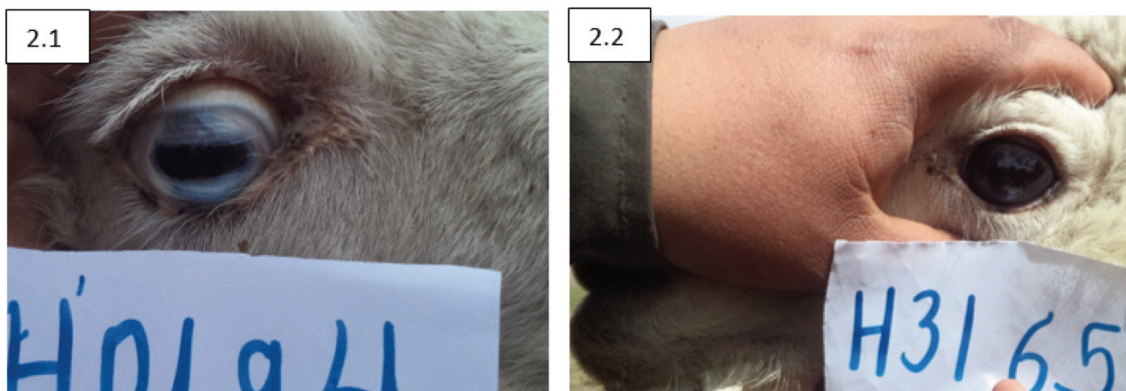


Figura 2. 2.1. Alpaca con fenotipo BEW y ojo completamente pigmentado. 2.2. Alpaca con pigmentación parcial de ojo.

Figure 2. 2.1. Alpaca with BEW phenotype and completely pigmented eye. 2.2. Alpaca with partial eye pigmentation.

Munyard (2011) en un trabajo sobre la expresión génica diferencial entre los colores de la fibra de alpaca encontró una expresión baja del gen *KIT* en animales blancos. Así mismo, la presencia del fenotipo BEW, en alpacas blanca, fue atribuido al gen *KIT* (Jackling et al., 2014). Jones et al. (2019) y Tan et al. (2022) también atribuyeron al gen *KIT* la responsabilidad de este fenotipo siendo un polimorfismo presente en el exón 3 (c.376) el cual se encuentra en estado heterocigótico y es responsable del color gris. Por su parte Pallotti et al. (2023) indican que la variante 982G>C (p.Val 328 Leu) en estado heterocigoto está asociada al color blanco.

El gen *KIT* codifica el receptor de la tirosina quinasa c-kit, el cual tiene la función de participar en la migración de melanocitos desde la cresta neural a lo largo de la vía dorsolateral para colonizar la piel (Besmer et al., 1993). La proteína KIT consiste en un dominio extracelular con cinco hebillas similares a inmunoglobulina, región transmembrana, un dominio yuxtamembrana y una división de dominio TK, que se divide en adenosina región de unión a trifosfato (ATP) y una región fosfotransferasa mediante una inserción de ci-

nasa hidrófila (Yarden et al., 1987; Hanks et al., 1988; Pawson, 2002). Un gran número de mutaciones en el gen *KIT* afectan a la pigmentación y fueron descritos en humanos (Fleischman et al., 1991; Spritz et al., 1992), ratones (Chabot et al., 1988; Geissler et al., 1988), cerdos (Pielberg et al., 2002), vacunos (Fontanesi et al., 2010), caballos (Haase et al., 2007; Dürig et al., 2017), gatos (Cooper et al., 2006), perros (Wong et al., 2013), burros (Haase et al., 2015), zorros (Yan et al., 2013) y alpacas (Jones et al., 2019; Tan et al., 2022; Pallotti et al., 2023). El objetivo de este estudio fue analizar la asociación entre alpacas de color con el gen *KIT*, así como el fenotipo BEW, incluyendo una muestra pequeña de vicuñas y guanacos.

Material y métodos

Material animal y extracción de ácido nucleico

Se estudió una muestra de 303 alpacas no relacionadas (115 blancos, 29 negros, 44 marrones, 11 LF o light fawn, 83 grises, 21 alpa-

cas blancas con fenotipo BEW uni o bilateral), 12 vicuñas y 3 guanacos para examinar la asociación del gen *KIT* con el color del vellón. Se trabajó con animales de la región sur del Perú. Las muestras de sangre fueron colectadas en tubos al vacío con EDTA. La sangre se almacenó en congelación a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta su manipulación. El ADN (ácido desoxirribonucleico) se extrajo de la sangre utilizando el kit Purelink Genomic mini kit (Qiagen) de acuerdo con el protocolo del fabricante. La calidad y cantidad de ADN se evaluaron con el fluorómetro Qubit 4.0 (Invitrogen).

Diseño de cebadores, amplificación y secuenciación

Los cebadores de la PCR (reacción en cadena de la polimerasa) para amplificar las regiones de codificación e intrónicas del gen *KIT* se diseñaron con el diseñador Ion Ampliseq 6.0.1 para Ion Torrent New Generation (Life Technologies, www.ampliseq.com). Un total de 23 amplicones que van desde 166 pb a 369 pb cubrieron el 100 % de la secuencia diana. Los cebadores se suministraron en dos grupos, con una concentración de 100 nM cada uno (Life Technologies, Carlsbad, CA, EE.UU.). La lista de cebadores se encuentra en el complemento 1 del Material Complementario. La PCR se realizó en un volumen total de 20 μL , que contenía 10 μL de QIAGEN Taq PCR Master Mix; 2,4 μL de mezcla de cebadores (concentración final de 0,5 μM en la PCR); 6,6 μL de agua Milli-Q y 1 μL de ADN molde. Se utilizó un único programa de PCR: desnaturalización a $95\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 30 s, 40 ciclos de desnaturalización a $95\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 30 s, recocido a $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 30 s y extensión a $72\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 45 s, y una extensión final a $72\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 5 min. Para el análisis genético se utilizó el genoma de referencia de alpaca VicPac3.1 y VicPac2.0.1. La biblioteca de secuenciación se preparó con el kit de biblioteca Ion AmpliSeq

versión 2.0 de acuerdo con los protocolos del fabricante. La biblioteca amplificada se diluyó a 10 pM y se usaron 25 μL para la preparación de plantilla de acuerdo con el protocolo de Ion PGM Template OT2 200 Kit utilizando el kit Ion PGM Template OT2 200. La biblioteca amplificada clonalmente se enriqueció en Ion OneTouch ES. La secuenciación se realizó en una máquina secuenciación masiva Ion Torrent utilizando el kit Ion PGM Sequencing 200 v2 y un chip Ion 540. Al usar Torrent Suite (versión 3.6.) los archivos de formato de llamada de variante (VCF) se cargaron en Ion Reporter V4.0 (Thermo Fisher Scientific, 2021) para la anotación de variante.

Análisis de variantes

Las variantes de secuencia del gen *KIT* para cada muestra se identificaron utilizando el Torrent Suite Variant Caller (TSVC; v5.8) y las herramientas de software GATK (versión 4.2.2.0; Broad Institute, 2023) se utilizaron para la llamada de genotipos. El VCF resultante se anotó adicionalmente utilizando el software en línea Ion Reporter (Thermo Fisher Scientific, 2021). Las secuencias se alinearon utilizando el software Bosque 2.0.2 (Ramírez-Flandes y Ulloa, 2008).

Análisis estadístico

Se usó el programa Beagle 4.1 para hacer la imputación de las etiquetas no genotipadas, el archivo de resultados se procesó con plink v1.90b4.7 utilizando filtros MAF de 0,05; MIND 0,5; HWE 0,001 y GENO 0,2. Se filtraron las 98 variantes mediante los criterios de frecuencia alélica menor, de equilibrio de Hardy-Weinberg y de genotipo faltante. Por último, se realizó la prueba de asociación con el software PLINK 1.07 para el color del vellón. Las variantes se analizaron con el ajuste del valor *P* por el método de Holm-Bonferroni.

Resultados

Se amplificó un total de 6.930 nucleótidos que corresponde al 100 % de la región codificante y regiones parciales de intrones. En la región codificante se identificaron 33 SNPs, además de un SNP en la región 5'UTR –15 pares de bases antes del inicio de la región codificante (–15)– y un SNP localizado en la región 3'UTR –17 pares de bases después de la región codificante (+17)–. De los 33 polimorfismos encontrados (Tabla 1) sólo 6 fueron no sinónimos y los otros 27 fueron sinónimos. Uno de los polimorfismos es propio de la vicuña (c.2630A>G). Además, 51 SNPs fueron identificados en regiones intrónicas (Complemento 2).

De los 6 SNPs no sinónimos, la variante c.376G>A ubicada en el exón 3 fue asociada al color gris ($P < 0,000004$), y al fenotipo BEW ($P < 0,0000001$). Este genotipo se presentó en estado heterocigoto tanto en animales con fenotipo BEW uni o bilateral como en grises (Figuras 3.1, 3.2 y 3.3; Complemento 3).

La variante c.967C>G ubicada en el exón 6 mostró asociación al color blanco ($P < 0,00001$). La variante c.+17A>G ubicada en la región 3'UTR también mostró asociación al color blanco ($P < 0,00004$) mayoritariamente en estado heterocigoto (Tabla 2). El resto de SNPs no estuvieron asociados al fenotipo a todos los colores analizados (Tabla 2).

Ninguna de las muestras analizadas presentaba el genotipo 376A/A y en caso de animales de color blanco sólo uno que no presentaba ojo zarco tenía el genotipo 376G/A, el resto de los animales blancos fueron de genotipo 376G/G (Tabla 3).

Discusión

El gen *KIT* ha sido implicado en variaciones de pigmentos en una variedad de especies (Jackling et al., 2014). El resultado del presente

estudio sugiere que el genotipo 376G/A es responsable del fenotipo gris en alpacas, así como en el fenotipo de ojos azules (BEW) en estado heterocigoto. Resultados similares fueron reportados por Jones et al. (2019) en alpacas grises australianas y de fenotipo BEW. De igual manera, Tan et al. (2022) en alpacas alemanas y suizas.

En alpacas, se sugirió un alelo común entre el fenotipo de color gris y las alpacas BEW (Paul, 2006). Un trabajo realizado a nivel molecular (Jackling et al., 2014) utilizando microsatélites indicaron una asociación entre el alelo *BEW1* y el vellón gris en 11 de 13 animales grises. En la misma línea, el genotipo 376G/A ha sido reportado del 100 % de las alpacas de color gris, en estado heterocigoto (Jones et al., 2019). En el presente trabajo, el 95,2 % (79 de 83) alpacas grises presentaron este genotipo. Los resultados son robustos para utilizar los SNPs como marcadores para el color gris. Aunque no fue del 100 % esta pequeña diferencia porcentual podría deberse a dos razones principales. Primero, por las pequeñas poblaciones de alpacas de color gris que además no es preferida por la industria textil, por tanto, su menor importancia por parte de los propietarios. Segundo, la mayoría de los propietarios de alpacas no tienen un macho gris de buena calidad y utilizan alpacas macho blancos para empadrear a sus hembras grises.

Otro aspecto importante y sobresaliente de este estudio, es que ninguna de las alpacas grises vivas era homocigota, es decir, 376A/A, planteándose la letalidad embrionaria en alpacas grises con genotipo en estado homocigoto. Este es un hallazgo que apoya los postulados previos de Paul (2006), Jackling et al. (2014) y Tan et al. (2022), los cuales sugieren un efecto letal en las alpacas grises. Esta característica también ha sido reportada en otras especies animales donde una mutación del gen *KIT* produce resultados letales y subletales (Russell, 1979; Silvers, 1979; Nocka et al., 1990).

Tabla 1. SNPs identificados en la región codificante.
 Table 1. SNPs identified in the coding region.

SNP	Localización	Cambio aminoacídico	Dominio proteínico
c.-15G>A	5'UTR	–	–
c.141C>T	Exón 2	Sinónimo	–
c.156C>T	Exón 2	Sinónimo	–
c.240G>A	Exón 2	Sinónimo	–
c.324T>C	Exón 2	Sinónimo	–
c.376A>G	Exón 3	p.Gly126Arg	–
c.423G>A	Exón 3	Sinónimo	–
c.534G>A	Exón 3	Sinónimo	–
c.840G>A	Exón 5	Sinónimo	–
c.866C>T	Exón 5	p.Met289Thr	Dominio IG-like
c.967C>G	Exón 6	p.Val323Leu	Dominio IG-like
c.999G>T	Exón 6	Sinónimo	–
c.1068G>A	Exón 6	Sinónimo	–
c.1119C>T	Exón 7	Sinónimo	–
c.1122A>G	Exón 7	Sinónimo	–
c.1146A>G	Exón 7	Sinónimo	–
c.1173G>A	Exón 7	Sinónimo	–
c.1239A>G	Exón 8	Sinónimo	–
c.1265C>T	Exón 8	p.Ala422Val	Dominio IG-like
c.1377A>G	Exón 8	Sinónimo	Dominio IG-like
c.1485C>T	Exón 8	Sinónimo	–
c.1632G>A	Exón 10	Sinónimo	–
c.1716C>T	Exón 11	Sinónimo	–
c.1758T>C	Exón 11	Sinónimo	–
c.1812G>C	Exón 12	Sinónimo	Dominio proteína quinasa
c.1830G>A	Exón 12	Sinónimo	Dominio proteína quinasa
c.1845C>T	Exón 12	Sinónimo	Dominio proteína quinasa
c.2307T>C	Exón 16	Sinónimo	Dominio proteína quinasa
c.2330T>C	Exón 16	p.Val777Ala	Dominio proteína quinasa
c.2630A>G	Exón 20	p.Arg877Lys	Dominio proteína quinasa
c.2715C>T	Exón 20	Sinónimo	Dominio proteína quinasa
c.2721C>T	Exón 20	Sinónimo	Dominio proteína quinasa
c.2790C>T	Exón 21	Sinónimo	Dominio proteína quinasa
c.2874C>T	Exón 21	Sinónimo	–
c.+17A>G	3'UTR	–	–

UTR: región no traducida.

Tabla 2. Distribución de genotipos para los SNPs no sinónimos entre los diferentes fenotipos de color.
 Table 2. Distribution of genotypes for non-synonymous SNPs among the different color phenotypes.

SNP	Alelo	Fenotipo en alpacas						Camélidos silvestres	
		Blanco	Negro	Café	LF	Gris	BEW	Vicuña	Guanaco
-15A>G	G/G	76	41	11	3	11	20	3	3
	A/G	28	29	4	0	43	13	5	0
	A/A	18	3	16	2	3	0	0	0
c.376G>A	A/A	0	0	0	0	0	0	0	0
	A/G	1	0	0	0	79	21	0	0
	G/G	114	29	49	11	4	0	12	3
c.866C>T	C/C	73	20	35	6	10	0	0	3
	T/C	21	15	1	1	1	10	0	0
	T/T	18	7	1	1	2	33	0	0
c.967C>G	C/C	38	19	31	9	7	0	0	0
	G/C	69	19	8	4	9	16	0	3
	G/G	18	5	1	1	2	27	0	0
c.1265C>T	C/C	76	19	39	4	10	0	0	0
	C/T	29	20	7	10	3	1	1	3
	T/T	1	1	2	0	1	0	0	0
c.2330T>C	T/T	76	20	32	9	12	0	0	0
	T/C	4	0	0	3	0	0	0	0
	C/C	0	0	0	0	0	0	0	0
c.2630A>G	A/A	0	0	0	0	0	0	1	0
	A/G	0	0	0	0	0	0	0	0
	G/G	0	0	0	0	0	0	0	0
c.+17A>G	G/G	47	18	32	3	6	0	0	0
	G/A	80	22	8	10	3	14	0	1
	A/A	20	5	3	1	1	25	0	2

LF: Color crema o light fawn en inglés; BEW: Fenotipo de ojos azules u ojo zarco.

Tabla 3. Fenotipos y genotipos de los animales muestreados para la variante c.376A>G
 Table 3. Phenotypes and genotypes of the animals sampled for the c.376A>G variant.

Especie y fenotipo	N° de muestras genotipadas	A/A (%)	G/A (%)	G/G (%)
Alpaca gris	83	0	79 (95,18)	4 (4,82)
Alpaca blanca	115	0	1 (0,87)	114 (99,13)
Alpaca negra	29	0	0	29 (100)
Alpaca café	44	0	0	44 (100)
Alpaca LF	11	0	0	11 (100)
Ojo zarco o BEW	21	0	21 (100)	0
Vicuña	12	0	0	12 (100)
Guanaco	3	0	0	3 (100)
Total	318	0	101 (31,76)	217 (68,24)



Figura 3. 3.1 y 3.2. Alpaca con ambos ojos pigmentados (Ojo zarco bilateral), dicho animal presenta el genotipo 376G/A heterocigoto. 3.3. Alpaca con un solo ojo pigmentado (Ojo zarco unilateral) cuyo genotipo 376G/A es heterocigoto.

Figure 3. 3.1 and 3.2. Alpaca with both pigmented eyes (Bilateral black-eyed), this animal presented the genotype 376G/A heterozygous. 3.3. Alpaca with only one pigmented eye (Unilateral black-eyed) genotype 376G/A is heterozygous.

En el caso del fenotipo BEW, u ojos azules, los resultados de este estudio son del 100 % con el genotipo 376G/A en estado heterocigoto, indicando que el gen *KIT* está implicado en esta condición. Este resultado coincide con los informes de Jones et al. (2019) y Jackling et al. (2014). Además, indican que el fenotipo BEW sería por un efecto acumulativo de la hipopigmentación mutante del gen *KIT*. Sin embargo, los trabajos mencionados no indican si la pigmentación azul de los ojos en las alpacas analizadas estuvo presente en uno y/o ambos ojos. En el presente estudio, la pigmentación azul en un solo ojo o en ambos estaban en estado heterocigoto, lo que también indica la dominancia para esta característica de pigmentación. Una segunda consideración es que las muestras de ojos azules fueron tomadas de alpacas blancas que tenían este fenotipo.

En referencia al color blanco, los resultados del presente estudio reiteran el reporte de Pallotti et al. (2023) quien sugiere la relación del gen *KIT* con el color blanco. La posición de la variante 967C/G se localiza en el dominio Ig-like, una región en la que mutaciones suelen resultar en la hiperactivación del receptor (Ray et al., 2008). En el presente estudio la posición nucleotídica es diferente (c.967C>G versus c.982G>C) a la que reporta Pallotti et al. (2023). Esta posición diferente probablemente se deba a los transcritos usados como referencia. Además, se encontró que existe una asociación estadística con el SNP c.+17A>G. Esto constituye el primer reporte de un polimorfismo localizado en la región 3'UTR con implicancia en el color del vellón.

Conclusiones

La caracterización del gen *KIT* en alpacas blancas y grises, así como el fenotipo BEW expresó numerosos polimorfismos, la mayoría sinónimos. Sólo un genotipo, 376G/A en es-

tado heterocigoto es responsable de estos los fenotipos gris y BEW. Así mismo, los genotipos 967C/G y +17A/G en estado heterocigoto resultaron significativos para el color blanco. La identificación del fenotipo BEW es también de gran valor y dará margen para una crianza planificada, así como para evitar tener fenotipos grises que segreguen crías de otros colores.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad San Antonio Abad del Cusco por su apoyo financiero gracias a Proyectos vía CANON. También se agradece a los productores alpaqueros por su colaboración con muestras de sus ejemplares.

Material complementario

El material complementario de este artículo se puede consultar en la URL <https://doi.org/10.12706/itea.2024.002>

Referencias bibliográficas

- Besmer P., Manova K., Duttlinger R., Huang E.J., Packer A., Gyssler C., Bachvarova R.F. (1993). The kit-ligand (steel factor) and its receptor c-kit/W: pleiotropic roles in gametogenesis and melanogenesis. *Development* 119 (Supplement): 125-137. <https://doi.org/10.1242/dev.119.Supplement.125>.
- Broad Institute (2023). Software GATK. Disponible en <https://gatk.broadinstitute.org/hc/en-us> (consultado: febrero 2023)
- Chabot B., Stephenson D.A., Chapman V.M., Besmer P., Bernstein A. (1988). The proto-oncogene *c-kit* encoding a transmembrane tyrosine kinase receptor maps to the mouse *W* locus. *Nature* 335: 88-89. <https://doi.org/10.1038/335088a0>

- Cooper M.P., Fretwell N., Bailey S.J., Lyons L.A. (2006). *White spotting* in the domestic cat (*Felis catus*) maps near *KIT* on feline chromosome B1. *Animal Genetics* 37(2): 163-165. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2052.2005.01389.x>
- Dürig N., Jude R., Holl H., Brooks S.A., Lafayette C., Jagannathan V., Leeb T. (2017). Whole genome sequencing reveals a novel deletion variant in the *KIT* gene in horses with white spotted coat colour phenotypes. *Animal Genetics* 48(4): 483-485. <https://doi.org/10.1111/age.12556>
- Fleischman R.A., Saltman D.L., Stastny V., Zneimer S. (1991). Deletion of the c-kit protooncogene in the human developmental defect piebald trait. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 88(23): 10885-10889. <https://doi.org/10.1073/pnas.88.23.10885>
- Fontanesi L., Tazzoli M., Russo V., Beever J. (2010). Genetic heterogeneity at the bovine *KIT* gene in cattle breeds carrying different putative alleles at the *spotting* locus. *Animal Genetics* 41(3): 295-303. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2052.2009.02007.x>
- Gauly M., Vaughan J., Hogreve S.K., Erhardt G. (2005). Brainstem auditory-evoked potential assessment of auditory function and congenital deafness in llamas (*Lama glama*) and alpacas (*L. pacos*). *Journal of Veterinary Internal Medicine* 19(5): 756-760. <https://doi.org/10.1111/j.1939-1676.2005.tb02757.x>
- Geissler E.N., Ryan M.A., Housman D.E. (1988). The dominant-white spotting (*W*) locus of the mouse encodes the *c-kit* proto-oncogene. *Cell* 55(1): 185-192. [https://doi.org/10.1016/0092-8674\(88\)90020-7](https://doi.org/10.1016/0092-8674(88)90020-7)
- Haase B., Brooks S.A., Schlumbaum A., Azor P.J., Bailey E., Alaeddine F., Mevissen M., Burger D., Poncet P.A., Rieder S., Leeb T. (2007). Allelic heterogeneity at the equine *KIT* locus in dominant white (*W*) horses. *PLoS Genetics* 3(11): e195. <https://doi.org/10.1371/journal.pgen.0030195>
- Haase B., Rieder S., Leeb T. (2015). Two variants in the *KIT* gene as candidate causative mutations for a dominant white and a white spotting phenotype in the donkey. *Animal Genetics* 46(3): 321-324. <https://doi.org/10.1111/age.12282>
- Hanks S.K., Quinn A.M., Hunter T. (1988). The protein kinase family: conserved features and deduced phylogeny of the catalytic domains. *Science*: 241(4861): 42-52. <https://doi.org/10.1126/science.3291115>
- Jackling F.C., Johnson W.E., Appleton B.R. (2014). The genetic inheritance of the blue-eyed white phenotype in alpacas (*Vicugna pacos*). *Journal of Heredity* 105(6): 941-951. <https://doi.org/10.1093/jhered/ess093>
- Jones M., Sergeant C., Richardson M., Groth D., Brooks S., Munyard K. (2019). A non-synonymous SNP in Exon 3 of the *KIT* gene is responsible for the classic grey phenotype in alpacas (*Vicugna pacos*). *Animal Genetics* 50(5): 493-500. <https://doi.org/10.1111/age.12814>
- Mcgregor B.A. (2006). Production, attributes and relative value of alpaca fleeces in southern Australia and implications for industry development. *Small Ruminant Research* 61: 93-111. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2005.07.001>
- Munyard K.A. (2011). Inheritance of white colour in alpacas: Identifying the genes involved. Publication No. 11/074, Rural Industries Research and Development Corporation, Kingston, Australia. 44 pp.
- Nocka K., Tan J.C., Chiu E., Chu T.Y., Ray P., Traktman P., Besmer P. (1990). Molecular bases of dominant negative and loss of function mutations at the murine c-kit/white spotting locus: W37, Wv, W41 and W. *The EMBO Journal* 9(6): 1805-1813. <https://doi.org/10.1002/j.1460-2075.1990.tb08305.x>
- Pallotti S., Antonini, M., Napolioni V., Renieri C. (2023). Whole-genome sequencing of alpaca revealed variants in *KIT* gene potentially associated with the white coat phenotype. *Animal Genetics* 54(6): 816-817. <https://doi.org/10.1111/age.13366>
- Paul E. (2006). Colour review. Australian Alpaca Association National Conference, 19-20 de agosto, Adelaide, Australia, pp. 144-147.
- Pawson T. (2002). Regulation and targets of receptor tyrosine kinases. *European Journal of Cancer* 38 Suppl 5: S3-S10. [https://doi.org/10.1016/s0959-8049\(02\)80597-4](https://doi.org/10.1016/s0959-8049(02)80597-4)

- Pielberg G., Olsson C., Syvänen A.C., Andersson L. (2002). Unexpectedly high allelic diversity at the *KIT* locus causing dominant white color in the domestic pig. *Genetics* 160(1): 305-311. <https://doi.org/10.1093/genetics/160.1.305>
- Ramírez-Flandes S., Ulloa O. (2008). Bosque: integrated phylogenetic analysis software. *Bioinformatics* 24(21): 2539-2541. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btn466>
- Ray P., Krishnamoorthy N., Ray A. (2008). Emerging functions of c-kit and its ligand stem cell factor in dendritic cells. *Cell Cycle* 7(18): 2826-2832. <https://doi.org/10.4161/cc.7.18.6752>
- Russell E.S. (1979). Hereditary anemias of the mouse: a review for geneticists. *Advances in Genetics* 20: 357-459. [https://doi.org/10.1016/S0065-2660\(08\)60549-0](https://doi.org/10.1016/S0065-2660(08)60549-0).
- Silvers W.K. (1979). The coat colors of mice: a model for mammalian gene action and interaction. Springer-Verlag New York, EEUU. 382 pp. <https://doi.org/10.1007/978-1-4612-6164-3>
- Spritz R.A., Holmes S.A., Ramesar R., Greenberg J., Curtis D., Beighton P. (1992). Mutations of the *KIT* (mast/stem cell growth factor receptor) proto-oncogene account for a continuous range of phenotypes in human piebaldism. *American Journal of Human Genetics* 51(5): 1058-1065.
- Tan K., Roy M., Manz E., Wagner H., Zanolari P., Drögemüller C., Lühken G. (2022). The *KIT*: c.376G>A variant in German and Swiss alpacas (*Vicugna pacos*) with different coat colors. *Animal Genetics* 53(5): 718-720. <https://doi.org/10.1111/age.13231>
- Wong A.K., Ruhe A.L., Robertson K.R., Loew E.R., Williams D.C., Neff M.W. (2013). A *de novo* mutation in *KIT* causes white spotting in a subpopulation of German Shepherd dogs. *Animal Genetics* 44(3): 305-310. <https://doi.org/10.1111/age.12006>
- Yan S.Q., Hou J.N., Bai C.Y., Jiang Y., Zhang X.J., Ren H.L., Sun B.X., Zhao Z.H., Sun J.H. (2014). A base substitution in the donor site of intron 12 of *KIT* gene is responsible for the dominant white coat colour of blue fox (*Alopex lagopus*). *Animal Genetics* 45(2): 293-296. <https://doi.org/10.1111/age.12105>
- Thermo Fisher Scientific (2021). Ion Reporter Software. Disponible en <https://ionreporter.thermofisher.com/ir/> (consultado: noviembre 2021)
- Yarden Y., Kuang W.J., Yang-Feng T., Coussens L., Munemitsu S., Dull T.J., Chen E., Schlessinger J., Francke U., Ullrich A. (1987). Human proto-oncogene c-kit: a new cell surface receptor tyrosine kinase for an unidentified ligand. *The EMBO Journal* 6(11): 3341-3351. <https://doi.org/10.1002/j.1460-2075.1987.tb02655.x>

(Aceptado para publicación el 16 de enero de 2024)

Rentabilidad del compostaje del alperujo como una alternativa bioeconómica

David Polonio^{1,2,*}, Anastasio J. Villanueva^{3,2} y José A. Gómez-Limón²

¹ Agencia de Gestión Agraria y Pesquera de Andalucía (AGAPA). Av. Menéndez Pidal s/n, 14004, Córdoba, España.

² WEARE-Water, Environmental, and Agricultural Resources Economics Research Group, Facultad de Derecho y CC. EE. y EE., Universidad de Córdoba. Puerta Nueva s/n, 14002, Córdoba, España.

³ Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera (IFAPA). Centro IFAPA Camino de Purchil, Apdo. 2027, 18004, Granada, España.

Resumen

La bioeconomía circular está muy presente en la agenda política actual, como consecuencia de la preocupación de la sociedad por el medio ambiente. Este nuevo paradigma se presenta como una oportunidad para el sector del olivar y de los aceites de oliva, dada la gran cantidad de subproductos que genera y su potencial de valorización. Entre las alternativas existentes para la valorización del alperujo y el hojín producido en las almazaras, el compostaje se presenta como una alternativa técnicamente viable, a pesar de lo cual su implantación es escasa. El objetivo de este estudio es analizar la rentabilidad financiera del compostaje de subproductos de la almazara, identificar los principales factores que la determinan y realizar un análisis de sensibilidad de estos. Para ello, se ha analizado la inversión necesaria y los costes de explotación de la actividad de compostaje, arrojando como resultado un margen comercial negativo (-3,64 €/t de compost), considerando la situación actual. No obstante, el margen comercial pasa a ser positivo (+9,52 €/t de compost) al no considerar el coste de oportunidad relativo a la venta del alperujo a la extractora. El análisis de sensibilidad indica que el precio de dicha venta, el precio del combustible y el precio del estiércol son los principales factores limitantes para la rentabilidad de la actividad. Asimismo, se incluye un análisis pormenorizado del efecto de la distancia a la extractora sobre el coste de producción del compost, obteniéndose que para distancias superiores a los 54 km el margen comercial es positivo.

Palabras clave: Bioeconomía, economía circular, valorización, subproductos, almazara, compost.

Profitability of olive mill pomace composting as a bioeconomy alternative

Abstract

The circular bioeconomy is top-ranked among the priorities of the political agenda due to society's concern for the environment. This new paradigm is presented as an opportunity for the olive oil sector due to the large quantities of by-products generated and their potential for valorization. Among the existing alternatives for valorizing olive pomace and olive leaves produced in olive mills, composting is pre-

* Autor para correspondencia: pg2pobad@uco.es

Cita del artículo: Polonio D., Villanueva A.J., Gómez-Limón J.A. (2024). Rentabilidad del compostaje del alperujo como una alternativa bioeconómica. ITEA-Información Técnica Económica Agraria 120(2): 179-199. <https://doi.org/10.12706/itea.2024.004>



sented as a technically feasible alternative, although its implementation is scarce. This study aims to analyze the financial profitability for olive mills of by-products composting, identify the main factors that determine this profitability, and conduct a sensitivity analysis regarding these factors. For this purpose, the investment and operating costs required for the composting activity have been assessed, determining that, under the current situation, the commercial margin of the activity is negative ($-\text{€}3.64/\text{t}$ of compost). Without considering the sale price of olive pomace to the extractor industry (which represents an opportunity cost for other valorization alternatives, like composting), the commercial margin is estimated to be positive ($+\text{€}9.52/\text{t}$ of compost). The sensitivity analysis has shown that fuel price, the sale price of the olive pomace to the extractor industry, and the manure price are the main limiting factors for the profitability of the composting valorization alternative. A detailed analysis of the effect of the distance to the pomace oil extraction industry on the cost of the compost produced was also carried out, showing that the commercial margin is positive for distances greater than 54 km.

Keywords: Bioeconomy, circular economy, valorization, by-products, olive mill, compost.

Introducción

En la última década la bioeconomía circular está apareciendo en la agenda política con una creciente intensidad, tanto a nivel internacional (OECD, 2018) y de la Unión Europea (EC, 2020a), como a nivel nacional (MITECO, 2020) y autonómico (p. ej., CAPDR, 2018), con el fin de dar respuesta a las demandas de la sociedad sobre un desarrollo económico más respetuoso con el medio ambiente. La bioeconomía circular (BEC) integra los conceptos de bioeconomía y de economía circular en un modelo económico sostenible ambientalmente (Berbel *et al.*, 2021). Dentro de la BEC se circunscriben todas aquellas actividades económicas con base biológica que, a su vez, aplican consecuentemente los principios de circularidad en el proceso productivo, los cuales en esencia se refieren al uso eficiente de los recursos naturales y a la valorización de los residuos (Casillas-González *et al.*, 2022). Así, un elemento fundamental de este paradigma productivo es el cambio en la conceptualización de los “residuos” (flujos inservibles del proceso productivo) por el de “subproductos”, rechazando que estos sean “un problema a resolver” (tradicional gestión para su eliminación a mínimo coste), para pasar a ser “una oportunidad a aprovechar” para maximizar la generación de riqueza y empleo gracias a su valorización.

El sector del olivar y de los aceites de oliva está en disposición de aprovechar esa oportunidad, habida cuenta de que presenta una abundante producción de subproductos, a razón de 7 kg por cada kg de aceite de oliva producido (Polonio *et al.*, 2022). Estos subproductos se producen fundamentalmente en la fase industrial, incluyendo alperujo, hueso y hojín, producidos en una ratio de 4,5-5,0 kg/kg de aceite de oliva, la mayor parte de los cuales corresponden a alperujo. En este sentido, cabe señalar que España es el primer país productor de aceites de oliva, con una producción media anual superior a los 1,6 millones de toneladas (Vilar, 2022), cifra que da idea de la potencial relevancia de la BEC en este sector.

Asimismo, deben tenerse en cuenta diferentes vectores de cambio que incrementarán la importancia de las actividades BEC asociadas al sector oleícola en España. En primer lugar está la tendencia creciente en la superficie de olivar, con incrementos anuales superiores al 1 % en el periodo 1984-2015 (Berbel y Delgado-Serrano, 2017), así como la intensificación de su producción (Guerrero-Casado *et al.*, 2021), circunstancias que están provocando un incremento en la generación de estos subproductos. En segundo lugar, debe señalarse la tendencia a acortar la campaña de recolección de aceituna, lo que está ge-

nerando una fuerte presión en el modelo tradicional de valorización del alperujo mediante las extractoras de aceite de orujo, en la medida que la capacidad logística de estas para gestionar este subproducto está al límite (Vilar et al., 2020). Finalmente, cabe sumar los problemas estructurales del actual modelo de valorización, donde buena parte del alperujo (aproximadamente el 40 %) es gestionado en plantas de cogeneración, cuya viabilidad está condicionada por el precio de la energía, especialmente del gas natural. Episodios como la reciente paralización de este tipo de plantas por la subida del precio del gas (Diario ABC, 2022), no vienen sino a demostrar la debilidad estructural de las extractoras de aceite de orujo y el notable riesgo de ruptura de todo el ciclo de valorización, riesgo que se traslada al conjunto del sector oleícola, en la medida que la imposibilidad de gestionar estos subproductos podría provocar la paralización de la actividad productiva de las almazaras.

De lo comentado anteriormente, se evidencia cómo la valorización de los subproductos del sector oleícola exhibe un elevado potencial de generación de riqueza y empleo, lo cual es especialmente relevante en este sector considerando los problemas de rentabilidad que presenta (Parras et al., 2021). Este potencial se explica no solo por la elevada cantidad de biomasa producida como subproductos actualmente y por su tendencia creciente, sino también porque existe un escaso desarrollo de las alternativas de gestión asociadas a un mayor valor añadido, prevaleciendo actualmente aquellas situadas en la base de la "pirámide de valor" de la biomasa, especialmente las relacionadas con el aprovechamiento energético (Berbel y Posadillo, 2018). Además, gran parte del valor generado se obtiene fuera del sector almarazero, dado que este encomienda la gestión de la práctica totalidad de sus subproductos (especialmente alperujo) al sector extractor (Sanz et al., 2023).

Existe una amplia variedad de alternativas disponibles de valorización de los subproductos de las almazaras. Básicamente, se pueden distinguir aquellas asociadas a su aprovechamiento energético (generación de energía eléctrica y térmica, gasificación, etc.), agrario (alimentación animal y compostaje) e industrial (extrayendo compuestos bioactivos para el sector farmacéutico, cosmético y alimentario), aunque son los dos primeros los que presentan un mayor nivel de desarrollo e implementación (Villanueva y La Cal, 2023). Entre las alternativas de valorización que están más desarrolladas, mostrando una probada viabilidad técnica, destaca el compostaje de alperujo (Álvarez de la Puente, 2010). Si bien hace tiempo que representa una alternativa viable para las almazaras de cara a valorizar sus propios subproductos, se viene observando cómo el número de almazaras que compostan su alperujo es muy escaso. Por ejemplo, en Andalucía, principal región productora a nivel mundial, se compostan solo el 1,5 % del alperujo producido (Sanz et al., 2023). Entre las razones para la reducida expansión de esta alternativa se pueden enumerar factores específicos, como las elevadas necesidades de espacio requeridas para su implementación o la necesidad de disponibilidad de estiércol en zonas cercanas a la almazara, así como factores generales asociados a obstáculos burocráticos y de índole normativa, la aversión al riesgo asociado al cambio o la relativa mayor dificultad de gestión (en comparación con la alternativa imperante de gestión externalizada). A ello podría unirse que es posible que la alternativa no ofrezca niveles de rentabilidad significativos. Sin embargo, no existen estudios científico-técnicos que estimen su rentabilidad privada, más allá de estimaciones de costes a escala experimental (Tortosa et al., 2012) o aproximaciones generales (Álvarez de la Puente et al., 2010), cuyos resultados no presentan el nivel de detalle necesario para una evaluación rigurosa de la rentabilidad como factor limitante para la implementación de esta alternativa de valorización.

En este sentido, el presente estudio pretende cubrir estas lagunas del conocimiento, teniendo como objetivo analizar detalladamente la rentabilidad privada del compostaje de subproductos de almazara (alperujo y hojín). Este análisis permitirá identificar los principales factores que determinan dicha rentabilidad privada y que pueden ser limitantes para su implementación, realizando un análisis de sensibilidad de estos. Los resultados de este estudio presentan importantes implicaciones políticas y sectoriales, especialmente de cara a mejorar la sostenibilidad económica y ambiental del sector oleícola. Si bien el estudio se centra en Andalucía, por ser la principal zona productora de aceite a nivel mundial, el interés del trabajo excede de este ámbito geográfico, ya que la mayor parte de los resultados obtenidos pueden extrapolarse a otras regiones productoras.

Material y métodos

El compostaje del alperujo: ingeniería del proceso

El proceso de compostaje es un proceso aeróbico de descomposición biológica y estabilización de sustratos orgánicos bajo ciertas condiciones, obteniéndose un producto final que es estable, libre de patógenos y semillas de malas hierbas, y cuya aplicación en el suelo es beneficiosa (Moreno y Mormeneo, 2008).

Existen varios sistemas para realizar el compostaje, que se diferencian básicamente en los procesos para el control de la aireación de la masa de materia orgánica. Según el sistema de aireación, se distinguen tres categorías: sistemas abiertos, cerrados y semicerrados. Los sistemas abiertos suelen predominar, especialmente por su facilidad de gestión. Entre ellos, destaca el sistema abierto de pilas o montones dinámicos (*windrow*), por presentar menores costes productivos y adaptarse

mejor a las condiciones de entrada discontinua de materia prima, como es el caso del alperujo. Los menores costes asociados a este sistema resultan, fundamentalmente, de unas necesidades menores de inversión y de un menor consumo de energía, utilizándose en ocasiones maquinaria habitualmente disponible en cualquier almazara, como son el tractor y la pala de volteo (Álvarez de la Puente, 2010). En este sistema, el material se dispone en largas pilas (cubiertas o no) y la aireación se produce por convección natural a partir de volteos periódicos. Debido a su idoneidad, este es el sistema analizado en este trabajo.

La producción de alperujo y de hojín de una almazara representa el 81 % y el 9 % de la cantidad de aceituna procesada (Polonio et al., 2022). El alperujo u orujo graso húmedo es el subproducto producido en las almazaras tras el proceso de extracción de aceite, mientras que el hojín se refiere a las hojas y ramas de pequeño calibre que se acumulan tras la limpieza de la aceituna a su llegada a la almazara. El aprovechamiento *in situ* de estos dos subproductos es el objetivo que persiguen las almazaras que realizan su compostaje. De esta manera se consigue valorizar estos subproductos como alternativa al procedimiento habitual de envío del alperujo a las extractoras, el cual, en el caso de las almazaras más alejadas de éstas, puede llegar a suponer un coste más que una valorización. Así, la valorización en la propia almazara de estos subproductos permite obtener un fertilizante comercializable, el compost de alperujo, cuya aplicación tiene efectos positivos en las propiedades bioquímicas (p. ej., cantidad de materia orgánica), químicas (macro y micronutrientes) y físicas (p. ej., capacidad de retención de agua) de los suelos agrícolas (García-Ruiz et al., 2012).

Existen varios parámetros técnicos que resultan clave en la elaboración de compost a partir de alperujo. Uno se refiere a la porosidad de la mezcla, que permite la aireación

de ésta de manera que haya disponibilidad de oxígeno para los microorganismos involucrados en el proceso de compostaje. Para asegurar una porosidad adecuada se requiere normalmente la adición de un material estructurante, sirviendo para ello el hojín, dada su disponibilidad en la almazara (Montemurro et al., 2009). Otro parámetro fundamental es la humedad de la mezcla. Considerando que el alperujo suele presentar un elevado contenido de humedad (en torno al 62 %), durante el proceso de compostaje se producirá un desecado de la masa hasta alcanzar unas pérdidas de humedad en torno al 50 % del peso inicial (Arvanitoyannis y Kassaveti, 2007). Finalmente, el tercer pará-

metro crítico se refiere a la relación carbono/nitrógeno (C/N). En este sentido, resulta conveniente adicionar estiércol para reducir la relación C/N al objeto de optimizar los procesos biológicos del compostaje y, además, mejorar las propiedades del producto final como fertilizante (aumento del contenido de N). En el presente trabajo se ha considerado el empleo de estiércol de ovino, por sus buenas características y por haber sido testado ampliamente en el compostaje de alperujo (Gómez-Muñoz et al., 2012).

La Figura 1 muestra el diagrama del itinerario técnico del proceso de compostaje de alperujo y hojín considerado. Estos subpro-

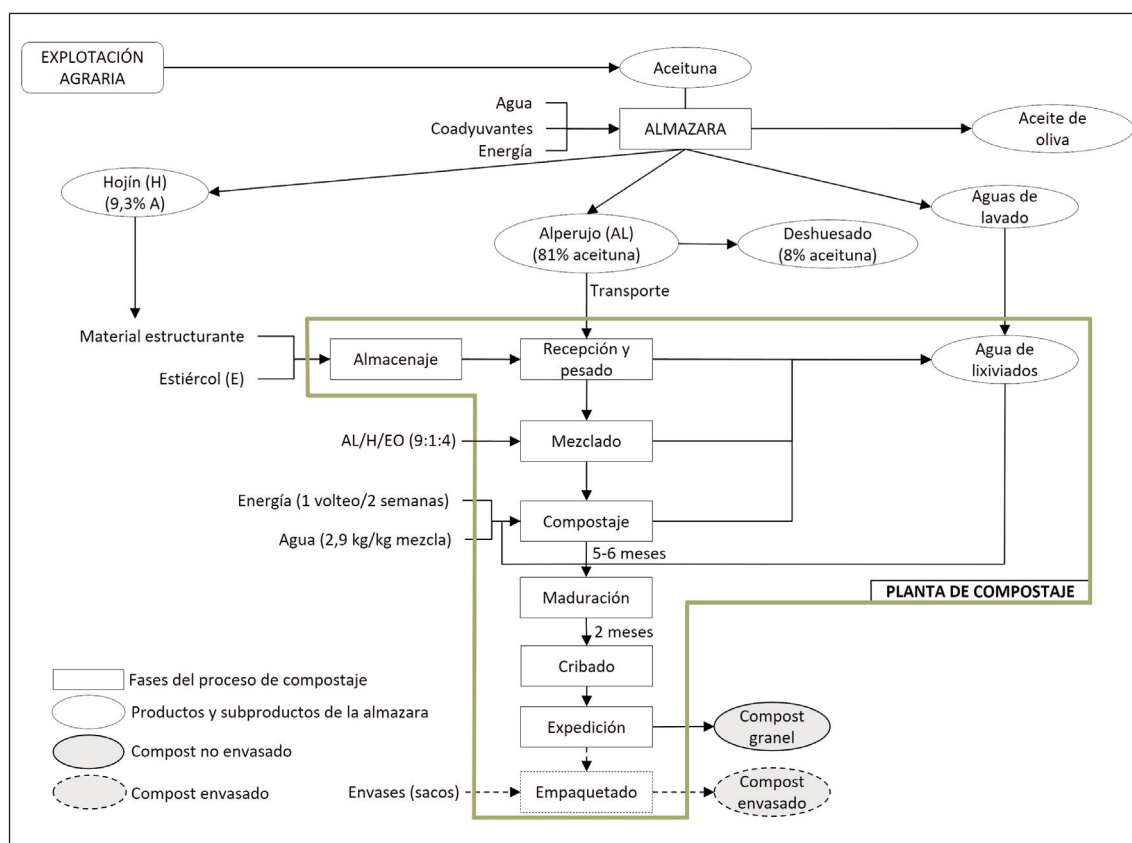


Figura 1. Esquema del proceso de compostaje.
 Figure 1. Outline of the composting process.

ductos junto con el estiércol se pesan y, a continuación, se mezclan en una relación alperujo/hojín/estiércol de 9/1/3,7 (González et al., 2017). Posteriormente, la masa pasa a la zona de compostaje, donde permanece entre 5 y 6 meses realizándole 1 volteo cada 2 semanas y aportándole una media de 2,9 kg de agua por cada kg de masa inicial (aunque esta cantidad es variable según la pluviometría). Seguidamente la masa permanece 2 meses en proceso de maduración, sin volteos ni incorporación de agua, para finalmente cribarla, obteniéndose como resultado el compost disponible para su comercialización a granel o envasado. Durante todo el proceso el agua de los lixiviados se recoge en una balsa y se recircula a la masa según las necesidades de ésta.

Como puede inferirse del itinerario técnico descrito, para realizar el proceso de compostaje de alperujo y hojín la almazara debe disponer de unas instalaciones adecuadas para ello. Las instalaciones consideradas en el presente trabajo, que se asumen que sería necesario construir constituyendo un activo fijo (inmovilizado) para la almazara, son: (i) zona de recepción, almacenaje y mezclado, en la que se almacenan los distintos productos que se van a mezclar con el alperujo (hojín y estiércol) y se produce la descarga de los camiones; (ii) zona de compostaje, en la que se realiza la mayor parte del proceso de compostaje; (iii) balsa de lixiviados, que recoge los lixiviados de las zonas de compostaje y recepción; y (iv) zona de cribado, expedición y empaquetado, consistente en una nave industrial para el afino y cribado del compost y su posterior ensacado (si bien, en las almazaras cooperativas se asume que la mayor parte del compost será expedido a granel)¹.

Análisis de rentabilidad: método de cálculo y fuentes de información

Para analizar la rentabilidad financiera de la producción de compost de alperujo se han estimado tanto los costes como los ingresos de la actividad, a partir de los cuales se determina el margen comercial como indicador de rentabilidad de esta alternativa de valorización.

Para el cálculo de los costes de producción, se ha considerado la tradicional estructuración basada en costes fijos y variables. Los costes fijos (o costes de estructura) son los derivados de inversiones en activos fijos (no se consumen en un único ciclo productivo) y que se caracterizan por ser independientes de los niveles de producción. Por su parte, los costes variables son aquellos que, como las materias primas, la energía, el coste de personal, etc., se pueden ajustar en el corto plazo en función del volumen de producción.

Para nuestro caso de estudio, los *costes fijos* se han estimado considerando la inversión necesaria para el establecimiento de las instalaciones correspondientes. Para la realización de estos cálculos, se ha considerado una almazara andaluza de tamaño medio (procesado anual de 5.000 t de aceituna, valor promedio de las almazaras en Andalucía).

En una almazara con esta dimensión media se considera que se producen anualmente 4.050 t de alperujo y 468 t de hojín, (según lo estimado por Polonio et al., 2022). Para llevar a cabo el compostaje de estas cantidades de subproductos es necesario el aporte de 1.667 t de estiércol de ovino, dando como resultado final 3.324 t de compost. Además, teniendo en cuenta el tamaño de la almazara

¹ Se asume que la almazara posee espacio en instalaciones anexas o cercanas a la misma para la ubicación de las instalaciones, cuestión usual en las almazaras que producen compost procedente de su propio alperujo.

tipo considerada, es necesario disponer de unas instalaciones con las siguientes características (González *et al.*, 2017): 12.817 m² de zona de recepción y de compostaje, 1.563 m³ de volumen de la balsa de lixiviados; 625 m² de lámina de agua de esta balsa y 600 m² de nave de almacenamiento.

Para estimar la inversión inicial en activos fijos necesaria se han considerado diversos presupuestos obtenidos a partir de una revisión bibliográfica, seleccionándose finalmente el de Vega (2011), por ser el más completo respecto de la estimación del coste de buena parte de las instalaciones, y el de Lozano *et al.* (2017) específicamente para la nave de cribado, expedición y empaquetado. Las principales partidas incluidas en el presupuesto son: movimientos de tierra, solera, canalizaciones, cerramiento, balsa, maquinaria, grupo de bombeo y riego, nave de almacenamiento y seguridad y salud.

El estudio se ha realizado para la campaña oleícola 2021/22, por lo que los costes de inversión se han actualizado hasta septiembre de 2022 (*i. e.* final de campaña). Para ello, se han seguido los criterios establecidos en el Real Decreto 1359/2011. En particular, las fórmulas utilizadas son las relacionadas con las estructuras de hormigón armado y pretensado, las de obras de modernización y transformación en regadíos y conducciones de derivados plásticos y las de obras de edificación con alto componente de materiales metálicos e instalaciones. Para la actualización de la mano de obra asociada a la construcción de instalaciones, se ha utilizado el índice nacional de mano de obra en construcción publicado por el Instituto Nacional de Estadística (INE).

Una vez actualizados los presupuestos al final de la campaña 2021/22, se han obtenido las cuantías de las inversiones necesarias de las distintas instalaciones, proporcionalmente a la superficie de la zona de compostaje y al tamaño de la balsa de lixiviados. Para calcular las amortizaciones correspondientes se han

utilizado los coeficientes de amortización lineales medios legalmente permitidos por el Ministerio de Hacienda y Función Pública.

Teniendo en cuenta las inversiones necesarias para las instalaciones, los costes fijos se han estimado sumando los siguientes conceptos:

1. La amortización de las inversiones realizadas en activos fijos.
2. La renta de la tierra, calculada utilizando los datos de la renta de la tierra de un terreno rural de tierra de labor de secano en Jaén, proporcionados por la Consejería de Agricultura, Agua, Pesca y Desarrollo Rural de la Junta de Andalucía (CAPADR), actualizada a septiembre de 2022 con el IPC general.
3. El mantenimiento de las instalaciones, estimado aplicando para ello un 5 % del coste de inversión (Carrión, 2017).
4. Los costes de seguros de las instalaciones, gestión y administración, estimados a tanto alzado en base a la experiencia de los expertos consultados.

Por su parte, considerando la ingeniería del proceso descrita en el apartado anterior, los costes variables estimados han sido los siguientes (Proietti *et al.*, 2016; Renkow y Rubin, 1998):

1. Consumo de alperujo. El coste del alperujo utilizado se ha calculado como coste de oportunidad. El empleo del alperujo para compostaje supone un coste de oportunidad, en la medida que éste puede ser vendido a la industria extractora para la extracción de aceite de orujo de oliva crudo. Si bien cabe señalar que el precio del alperujo ha sido con frecuencia cero en el histórico de campañas, en las campañas más recientes dicha industria está pagando un precio moderado por el mismo. Este precio depende de varios factores endógenos del proceso productivo en almazara, en concreto de la cantidad

de aceite y huesecillo que presente el alperujo y la distancia de la almazara a la planta extractora². La estimación de este coste de oportunidad se realizó a partir de una encuesta a almazaras realizada en enero de 2023 (n = 52) a la que se aplicó el test de Tukey para eliminar valores atípicos, obteniendo un dato medio de precio pagado por las extractoras de 10,8 €/t de alperujo y una distancia media entre la almazara y la extractora de 33 km.

Con el objetivo de estudiar la variable precio de remuneración por el alperujo frente a la distancia a la extractora más cercana, a partir de las observaciones recogidas en la encuesta, se ha realizado una regresión polinomial de grado 2 entre ambas variables, obteniéndose la siguiente ecuación:

$$y = 7 \cdot 10^{-7} \cdot x^2 - 2 \cdot 10^{-4} x + 1,66 \cdot 10^{-2} \quad [1]$$

donde y representa el precio de remuneración por el alperujo y x la distancia de la almazara a la extractora más cercana. El ajuste muestra un R^2 de 0,26, lo cual se considera aceptable.

2. Consumo de estiércol. El coste de adquisición del estiércol (18 €/t) se ha estimado a partir de consultas a empresas suministradoras del mismo en Andalucía y a la Asociación Nacional de Criadores de Ovino Segureño (ANCOS). Para el transporte se ha considerado un coste de 6 €/t hasta una distancia de 10 km.
3. Consumo de combustible (gasóleo B empleado por el tractor con la pala cargadora), estimado considerando un tractor de 100 CV y los costes unitarios estimados por el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA). El coste medio del gasóleo B para la campaña 2021/22 (1,28 €/l) se ha estimado a partir de las consultas realizadas sobre precios de carburantes en estaciones de servicio del Ministerio para la Transición Ecológica y Reto Demográfico (MITECO).
4. Coste de mano de obra directa. Para estimar el coste de la mano de obra relacionada con el compostaje se ha utilizado el Convenio Colectivo de las Industrias del Aceite de la Provincia de Jaén, considerando la categoría profesional de 'obrero' y una experiencia de 7 años. El coste incluye los seguros sociales. Las horas de trabajo se han calculado considerando que a la planta de compostaje llegan 74 t diarias de subproductos, que la masa se voltea una vez cada dos semanas durante 6 meses y contabilizando el transporte del alperujo y el hojín desde la almazara a la zona de compostaje. Para todo ello se considera (Sánchez *et al.*, 2006): (i) un rendimiento de volteo de 42 m³/h, (ii) una distancia a la zona de compostaje de 0,5 km, (iii) una velocidad del tractor de 20 km/h, y (iv) 8 h de trabajo diarias durante todos los días de la semana. Las horas de trabajo totales ascienden a 2.018.
5. Costes de mantenimiento y reparación de la maquinaria, estimados considerando un tractor de 100 CV, siguiendo las estimaciones del MAPA antes comentadas.
6. Coste de energía eléctrica, que incluye el consumo asociado a la planta de compostaje y el del sistema de riego. El consumo eléctrico de la planta se ha calculado en base a la superficie y a los datos de luminarias aportados por Moreno (2018). En el caso del riego, se considera el consumo de

² El precio del alperujo pagado por la extractora depende también de factores exógenos a la almazara, en particular el precio del aceite de orujo y el mercado de la energía (concretamente, precio del gasóleo, electricidad y, en su caso, gas natural), dado que en buena medida determinan los precios de venta de los principales productos obtenidos por la extractora.

una bomba de 4,5 kW funcionando durante 60 h al año. El precio del kWh se ha estimado a partir de la tarifa 3.0 TD de Enesa publicada en noviembre de 2022, que establece un precio de 0,2771 €/kWh para los 6 períodos de consumo. En el coste eléctrico se incluye el impuesto de electricidad y el coste de la potencia contratada.

7. Coste de analíticas para el control de la producción de compost. Se ha estimado la realización de 3 analíticas anuales al compost elaborado.

A partir de las estimaciones de costes fijos y variables arriba comentadas, se ha estimado el coste anual del proceso de compostaje como suma de ambos componentes. Los resultados de estas estimaciones se discutieron con técnicos de almazaras que compostan alperujo, quienes validaron los cálculos realizados.

El cálculo del margen comercial arriba comentado se ha complementado con la estimación del valor actual neto (VAN) y la tasa interna de rentabilidad (TIR) correspondiente al proyecto de inversión necesario para desarrollar la valorización del alperujo mediante su compostaje. Así, mientras el anterior indicador (margen comercial) cuantifica la ganancia/pérdida contable del proceso productivo, estos dos indicadores de rentabilidad (VAN y TIR) consideran los flujos de caja generados por el proyecto de inversión, teniendo en cuenta el momento en que estos se realizan. Por este motivo, su cálculo permite analizar de forma más precisa la rentabilidad financiera del proceso de compostaje. Para la estimación de estos dos indicadores se han considerado los siguientes parámetros de la inversión: (i) una duración del proyecto de 25 años (vida útil del activo fijo que requiere mayor inversión: la solera), (ii) una tasa de actualización del 6 %, acorde al reducido riesgo del proyecto, (iii) una tasa media de inflación anual del 3 %, que afecta por igual a cobros y pagos, y (iv) un valor de liquidación del proyecto equivalente al valor contable de la inversión a la finalización de este (año 25).

Finalmente, se ha realizado un análisis de sensibilidad de las principales variables que influyen en el coste del proceso de compostaje. Para ello se han medido las elasticidades del coste de elaboración del compost en función de las siguientes variables: precio del gasóleo B, distancia de la almazara a la planta de compostaje, distancia de transporte del estiércol desde el punto de adquisición, precio del estiércol, precio de remuneración de la tractora por el alperujo y distancia de la almazara a la tractora. Este análisis de sensibilidad ha permitido identificar los factores clave para la viabilidad del compostaje *in situ* del alperujo.

Resultados

Análisis de rentabilidad financiera del compostaje del alperujo

La Tabla 1 muestra la estimación de la inversión inicial necesaria para el establecimiento de la planta de compostaje, desglosada por partidas presupuestarias. La inversión total estimada asciende a 847.852 euros. Por partidas, destacan por su importancia la solera de hormigón (52,1 %) y la nave de almacenamiento (15,8 %). La aplicación de los coeficientes medios de amortización supone un coste de amortización anual de 34.144 euros.

La Tabla 2 presenta los costes e ingresos de explotación de la planta de compostaje, así como su margen comercial. Los costes totales se estiman en 206.020 euros anuales, representando los fijos el 19,5 %, mientras que los costes variables suponen el 80,5 %. Aproximadamente tres cuartas partes de los costes totales se corresponden con el consumo de alperujo (coste de oportunidad por no llevarlo a la tractora, 21,2 %); el consumo de estiércol (19,4 %); el consumo de combustible (19,1 %), especialmente derivado del proceso de volteo de la masa; y el coste de mano de obra directa (15,2 %).

Tabla 1. Inversión necesaria para el establecimiento de la planta de compostaje de alperujo y coeficientes de amortización.

Table 1. Investment required for the olive pomace composting plant and depreciation coefficients.

Concepto	Valor (€)	(%)	Coefficiente de amortización anual (%)
Movimiento de tierras	51.425	7,2	1,3
Solera	371.293	52,1	4,0
Canalizaciones	14.557	2,0	6,7
Cerramientos	13.304	1,9	6,7
Balsa de lixiviados	47.317	6,6	6,7
Maquinaria	62.382	8,8	7,7
Grupo de bombeo y riego	31.661	4,4	6,7
Nave de almacenamiento	112.664	15,8	2,0
Seguridad y salud	7.878	1,1	3,3
<i>Subtotal</i>	<i>712.480</i>	<i>100,0</i>	
Costes generales (13 %)	92.622		
Beneficio industrial (6 %)	42.749		
Total	847.852		

Teniendo en cuenta que se producen 3.324 toneladas anuales de compost, el proceso tiene un coste final de 61,98 €/t de compost. Este coste se reduce a 48,82 €/t, en caso de no considerar el coste de oportunidad de venta del alperujo.

Por su parte, los ingresos obtenidos del compostaje de alperujo y hojín son básicamente los relativos a la venta del compost obtenido. Se ha estimado un precio de venta de 58,33 €/t, promedio obtenido de las consultas a cooperativas que producen compost a partir de alperujo. De estos cálculos se estima un margen comercial negativo de -3,64 €/t. Los valores del VAN y de la TIR obtenidos para el correspondiente proyecto de inversión resultan igualmente negativos (-621.932 € y -2,2 %, respectivamente), denotando que la construcción y puesta en marcha de una planta de compostaje de alperujo no resulta rentable bajo estas condiciones.

En caso de no considerar el citado coste de oportunidad (o que el precio del alperujo sea cero, como ha ocurrido en campañas pasadas o como ocurre en el caso de algunas almazaras: p. ej., aquellas muy alejadas de las extractoras), se obtiene un margen comercial positivo de 9,52 €/t. Asimismo, considerando este escenario donde los flujos de caja anteriores a la realización del proyecto son nulos, el VAN y la TIR de la inversión en la planta de compostaje propuesta resultan favorables, en la medida que el primero es positivo (VAN = 147.188 €) y la segunda es superior al coste de oportunidad del capital considerado (TIR = 7,5 % > 6 %). Se evidencia con ello que en el probable caso que el precio de venta del alperujo baje en un futuro (bajada del precio del aceite de orujo e incremento de los costes de transporte), la rentabilidad del compostaje se incrementaría hasta hacer la actividad viable financieramente.

Tabla 2. Costes, ingresos y margen comercial de la planta de compostaje de alperujo.
 Table 2. Operating costs, income, and trade margin for the olive pomace composting plant.

Concepto	Valor absoluto (€)	(%)	Valor unitario (€/t)
Costes			
<i>Fijos</i>			
Amortización de las inversiones en activos fijos	34.144	16,6	
Renta de la tierra	395	0,2	
Mantenimiento de las instalaciones	1.583	0,8	
Costes de seguros	3.000	1,5	
Costes de gestión y administración	1.000	0,5	
<i>Total costes fijos</i>	<i>40.122</i>	<i>19,5</i>	<i>12,07</i>
<i>Variables</i>			
Consumo del alperujo (coste de oportunidad)	43.740	21,2	
Consumo de estiércol	39.906	19,4	
Consumo de combustible	39.422	19,1	
Coste de mano de obra directa	31.269	15,2	
Costes de mantenimiento y reparación de la maquinaria	7.869	3,8	
Coste de energía eléctrica	3.339	1,6	
Coste de analíticas para el control de la producción	354	0,2	
<i>Total costes variables</i>	<i>165.898</i>	<i>80,5</i>	<i>49,91</i>
Total costes	206.020	100,0	61,98
Ingresos			
Venta del compost	193.910	100,0	58,33
Total ingresos	193.910	100,0	58,33
Margen comercial	-12.109		-3,64

Análisis de sensibilidad de costes

Los resultados del apartado anterior muestran que la mayor parte del coste de producción del compost se relaciona con los costes variables de explotación (80,5 % del coste total). Por este motivo, parece oportuno analizar el impacto diferencial de diversos pará-

metros considerados para la estimación de los costes variables de producción, al objeto de determinar cuáles de ellos son más determinantes de la viabilidad del compostaje de los subproductos de las almazaras. En este sentido, se ha considerado de interés analizar la influencia individual de los siguientes pa-

rámetros: (i) precio de venta del alperujo, (ii) distancia de la almazara a la extractora, (iii) precio del estiércol, (iv) precio del gasóleo B, (v) distancia almazara a planta compostaje, y (vi) distancia de transporte del estiércol.

El impacto normalizado de estos parámetros sobre el coste de producción del compost puede obtenerse mediante el concepto de

elasticidad, que permite cuantificar la sensibilidad de una variable (en nuestro caso, el coste total de producción) ante cambios en otra de la cual depende (en nuestro caso, el valor de un parámetro determinante de los costes variables). Matemáticamente, la elasticidad del coste de producción a calcular se corresponde con la siguiente fórmula:

$$\text{Elasticidad del coste producción} = \frac{\text{Variación porcentual coste producción}}{\text{Variación porcentual parámetro analizado}} = \frac{\frac{\Delta \text{ coste producción}}{\text{Coste de referencia}}}{\frac{\Delta \text{ valor del parámetro}}{\text{Valor de referencia}}} \quad [2]$$

La Tabla 3 muestra la elasticidad del coste de producción obtenida para cada uno de los parámetros analizados. El análisis de estos resultados pone de manifiesto que los principales parámetros que afectan al coste del compostaje y que constituyen los factores clave para la viabilidad del proceso son: el precio de venta del alperujo a la extractora, el precio del combustible (gasóleo B), y el precio de adquisición del estiércol.

De los valores de elasticidad obtenidos, puede estimarse el impacto de un aumento potencial del 10 % en el valor de cada uno

de los parámetros clave sobre el coste del compostaje, considerando invariables el resto de los parámetros (*i. e.*, condición *ceteris paribus*). Así, por ejemplo, en el caso de incrementar el precio del gasóleo B en un 10 %, el coste del compostaje se incrementaría en 1,19 €/t ($0,1914 \times 10 \% \times 61,98 \text{ €/t}$). En el caso de que el incremento del 10 % afecte al precio de venta del alperujo, el coste se incrementaría en 1,32 €/t ($0,2123 \times 10 \% \times 61,98 \text{ €/t}$). Finalmente, en el caso de incrementar el precio del estiércol en ese mismo 10 %, el coste del compost aumentaría en 0,90 €/t ($0,1457 \times 10 \% \times 61,98 \text{ €/t}$).

Tabla 3. Elasticidad del coste de producción compost de alperujo respecto de los principales parámetros que lo determinan.

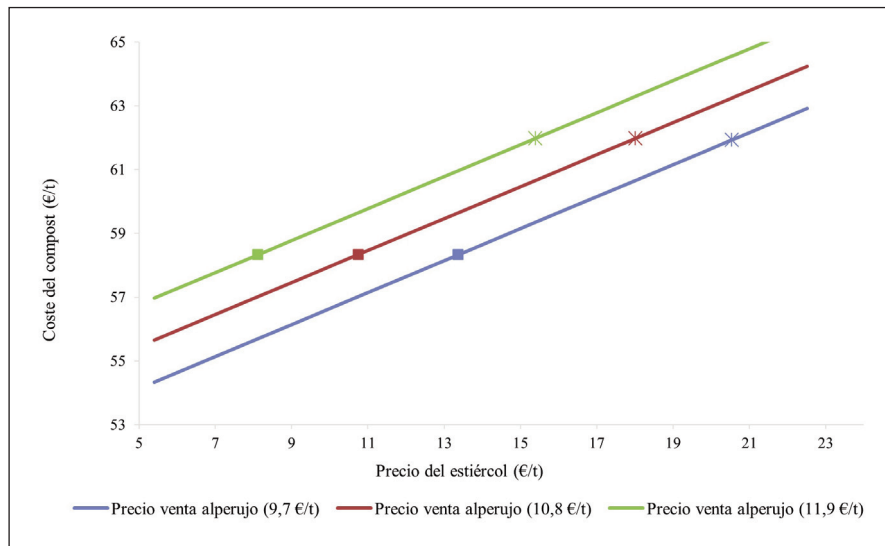
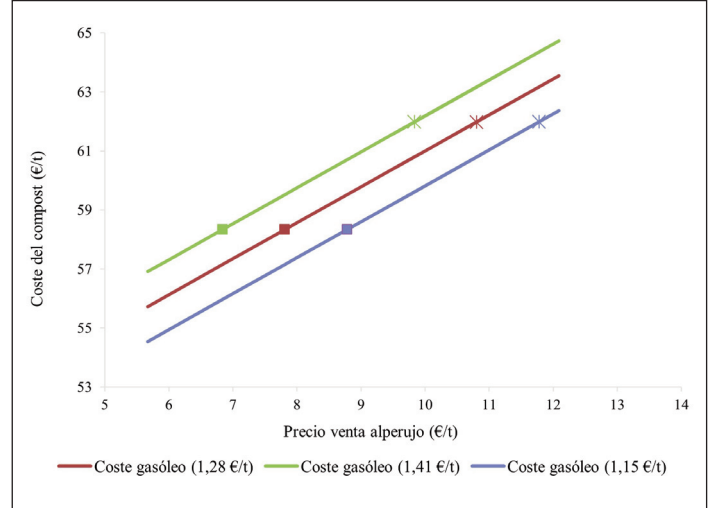
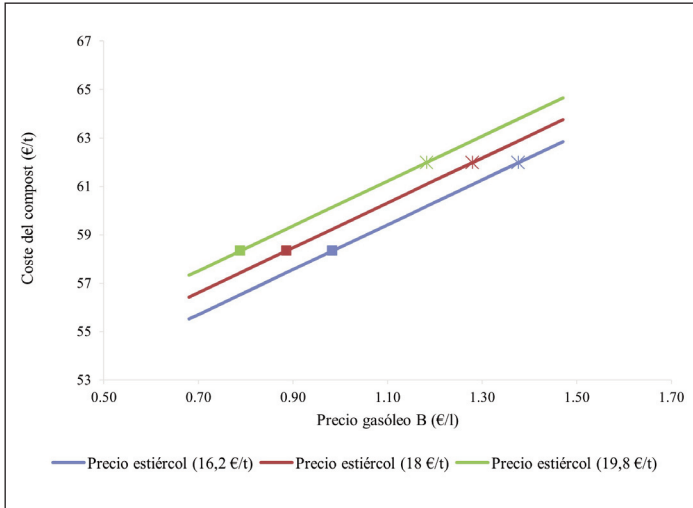
Table 3. Elasticity of the composting cost in function of the main parameters affecting it.

Parámetro	Elasticidad	Porcentaje de variación para conseguir la viabilidad
Precio del gasóleo B	0,1914	-30,7
Distancia de almazara a la planta de compostaje	0,0055	-
Distancia de transporte del estiércol	0,0480	-
Precio del estiércol	0,1457	-40,3
Precio de venta del alperujo	0,2123	-27,7
Distancia de la almazara a la extractora	-0,1000	65,8

El análisis de sensibilidad del coste del compostaje ante las variaciones de los parámetros analizados también puede visualizarse de forma gráfica, tal y como se muestra en la Figura 2, donde se representan los resultados

de estimaciones de variaciones de estos tres parámetros tomados dos a dos.

En la Figura 2 se indica como referencia el nivel de coste calculado en la Tabla 2 (61,98 €/t) (puntos señalizados con asterisco), así como



Nota: Los cuadrados muestran los valores a partir de los cuales el margen comercial es positivo; los asteriscos muestran los valores para los cuales el coste y el margen comercial es el de la Tabla 2.

Figure 2. Análisis de sensibilidad del coste del compost de alperujo en función de los parámetros clave. Figure 2. Sensitivity analysis of the cost of composting olive pomace in function of the key parameters.

los niveles a partir de los cuales se haría positivo el margen comercial (puntos señalizados con cuadrado), que se corresponden con un coste de producción de compost de 58,33 €/t. Así, por ejemplo, se visualiza (ver serie representada en color rojo) cómo para que el margen comercial de la producción de compost no sea negativo, el precio del gasóleo B debería reducirse un 30,7 %, hasta alcanzar los 0,89 €/l; o reducirse el precio de venta del alperujo un 27,7 %, hasta los 7,81 €/t; o disminuir el precio del estiércol un 40,3 % hasta alcanzar 10,75 €/t.

El resto de las series (en colores verde y azul) muestran escenarios que consideran variaciones de ± 10 % respecto de la situación de referencia de los tres parámetros más determinantes para el coste del compost. Así, por ejemplo, se puede observar cómo al variarse el precio de referencia del estiércol (18,0 €/t) hasta 16,2 €/t o 19,8 €/t, las modificaciones necesarias en el precio del gasóleo para conseguir un margen comercial positivo varían igualmente hasta 0,98 €/l o 0,79 €/l, respectivamente.

Cabe realizar un análisis más pormenorizado respecto del precio de venta del alperujo a la extractora. Este depende de varios factores, fundamentalmente de: (i) la distancia a la extractora (a mayor distancia el precio es menor ya que el transporte lo suele pagar la extractora); (ii) el contenido de hueso y aceite del alperujo; y (iii) el precio de mercado del aceite de orujo de oliva crudo. De hecho, en los casos en que la distancia a la extractora es elevada, el contenido de hueso y/o aceite es reducido y el precio del aceite de orujo es bajo, el precio a pagar por la extractora puede llegar a ser cero, e incluso requerir un cobro por el servicio de retirada del alperujo de la almazara.

Se realiza aquí un análisis complementario centrado en el primero de los parámetros, *i. e.* distancia entre extractora y almazara, manteniendo el resto *ceteris paribus*. La Fi-

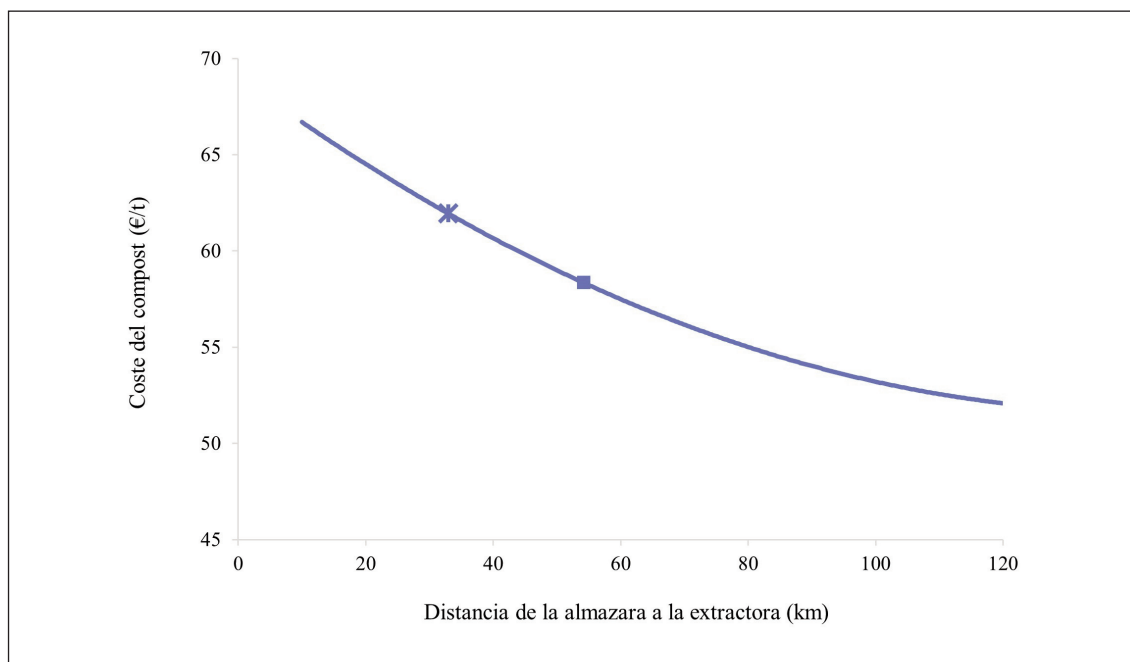
gura 3 muestra cómo afecta la distancia entre la almazara y la extractora al coste de producción de compost, estimaciones realizadas sobre la base de la relación establecida por la ecuación (1).

Como puede observarse en la Figura 3, un incremento del 66 % en la distancia entre la almazara y la extractora (de 33 a 54 km, *i. e.* desde el punto indicado con asterisco hasta el indicado con cuadrado) supondría reducir el coste de compostaje en un 5,9 % (pasando de 61,98 a 58,33 €/t), como consecuencia de la reducción del precio del alperujo en un 27,7 % –de 10,8 a 7,8 €/t–, alcanzándose un margen comercial cero. A partir de este umbral de 54 km, el margen comercial positivo aumenta, lo cual explica que en los casos en que las almazaras estén alejadas de las extractoras más allá de este umbral la alternativa de compostaje pueda ser viable.

Discusión

Contrastación de los resultados

Los resultados obtenidos pueden corroborarse observando la situación actual de la valorización del alperujo, en la medida en que la mayoría de las plantas de compostaje de alperujo operativas se localizan en zonas periféricas respecto del denominado ‘eje del olivar’, que es donde se sitúan la práctica totalidad de extractoras. Esto ocurre, por ejemplo, en la zona del Valle de los Pedroches de Córdoba y en la Sierra de Cádiz. En el caso del Valle de los Pedroches, la cooperativa Oliverera de los Pedroches (OLIFE), ubicada en el término municipal de Pozoblanco, realiza compostaje y la extractora con extracción química más cercana se encuentra a una distancia de 91 km, concretamente en el municipio de Villa del Río. Según el modelo de costes descrito en los apartados anteriores, OLIFE tiene unos costes de producción de 53,93 €/t



Nota: el cuadrado muestra el valor a partir del cual el margen comercial es positivo; el asterisco muestra el valor para el cual el coste y el margen comercial es el de la Tabla 2.

Figura 3. Coste del compost de alperujo en función de la distancia de la extractora a la almazara.

Figure 3. Cost of olive pomace compost in function of the distance from the olive pomace oil plant to the olive mill.

compost y unos ingresos de 58,33 €/t compost, presentando un margen comercial positivo de 4,4 €/t compost, que puede llegar a 7,02 €/t compost si la cooperativa se acoge a ayudas y dispone de maquinaria propia. En el caso de la Sierra de Cádiz, la Cooperativa Agrícola N^a Sra. de los Remedios-Picasat, ubicada en Olvera, tiene la extractora más cercana a una distancia de 68 km (extractora de Fuente de Piedra), lo que supone un coste de producción de compost de 56,42 €/t compost y un margen comercial de 1,92 €/t compost, que puede llegar a 4,53 €/t compost si la cooperativa cuenta con subvención y maquinaria propia.

En ambos casos, la rentabilidad del compostaje de alperujo se ve favorecida, además,

por la existencia de una alta disponibilidad de estiércol, que abarata y reduce su coste de transporte.

Rentabilidad financiera y económica del compostaje del alperujo

Los resultados evidencian la falta de rentabilidad financiera (desde una perspectiva privada) del compostaje de los subproductos de almazara, explicando en buena medida la escasa implementación de esta alternativa de valorización frente a la tradicional alternativa de venta a la extractora. No obstante, debe comentarse que el compostaje del alperujo es un proceso que, formando parte del nuevo paradigma de la economía circular,

genera diversas externalidades positivas. Entre ellas cabe destacar la mitigación del cambio climático derivado de la fijación de carbono en el suelo y la reducción en las emisiones de gases de efecto invernadero (Madejón *et al.*, 2020), ambas motivadas por el uso del compost como sustituto de otros fertilizantes de síntesis, cuya producción requiere de grandes cantidades de energía, normalmente procedente de fuentes fósiles (Boldrin *et al.*, 2009; Favoino y Hogg, 2008). En este sentido, Gómez-Muñoz *et al.* (2012) estiman que aplicaciones duraderas (concretamente de 16 años) de compost de alperujo en plantaciones de olivar podrían incrementar el carbono orgánico del suelo en 30 t/ha. De hecho, si se reconociese este secuestro de carbono dentro del Régimen de Comercio de Derechos de Emisión de la Unión Europea (ETS por sus siglas en inglés), este uso de compost de alperujo podría generar importantes ingresos para el sector del olivar, habida cuenta de que el precio medio por tonelada de carbono durante el año de análisis alcanzó los 80 €/t CO₂-eq (European Commission, 2023). Además, cabe añadir otros beneficios ambientales difíciles de cuantificar monetariamente, como aquellos relacionados con la mayor fertilidad del suelo, mejoras en la capacidad de retención de agua, menores emisiones de contaminantes de agua (p. ej., nitrógeno) y el incremento de la biodiversidad del suelo por la mayor actividad microbiana (García-Ruiz *et al.*, 2012; Gómez-Muñoz *et al.*, 2012).

Todas estas externalidades positivas benefician al conjunto de la sociedad, pero no son remuneradas por el mercado (no están internalizadas en el precio de venta del compost). Si estas fuesen valoradas monetariamente y se integrasen en el análisis de rentabilidad, a buen seguro se evidenciaría que esta alternativa de valorización es rentable económicamente para el conjunto de la sociedad. En este sentido, la generación de estas externalidades podría justificar, desde una perspectiva pública, la conveniencia de que el apoyo

de las administraciones a este tipo de actividad no sólo cubriese parte de los costes de inversión (como en el resto de las inversiones productivas en el medio rural), sino que también cubriese parte de los costes de explotación, al objeto de hacer viable la producción de compost y con ello la generación de estos beneficios públicos. En todo caso, la posibilidad de subvencionar la actividad corriente de compostaje de alperujo requeriría basarse en estudios de valoración de las externalidades positivas generadas, al objeto de garantizar que la implementación de estas subvenciones supone realmente una mejora del bienestar social (*i. e.*, las subvenciones requeridas son menores que el bienestar asociado a la producción de externalidades) (Villanueva *et al.*, 2018).

Factores clave para la rentabilidad financiera relativos a los costes

Asimismo, sobre la estimación general de costes y márgenes del compostaje del alperujo, existen algunas circunstancias que influyen en los cálculos realizados y conviene discutir.

En primer lugar, es común que las almazaras cuenten con maquinaria (tractor y pala acoplada) que no se usa de manera continua, y que puede ser utilizada para los procesos de volteo, produciéndose, en estos casos, un ahorro sobre la inversión inicial del 9 %.

En segundo lugar, es igualmente importante tener en cuenta que este tipo de proyectos pueden tener apoyo por parte de las administraciones públicas, gracias a las líneas de subvenciones del segundo pilar de la PAC destinadas a favorecer el desarrollo rural. En Andalucía, durante el período 2007-2011 se apoyó el 50 % de la inversión en plantas de compostaje ejecutadas, hasta un tope máximo de 100.000 euros. Estas subvenciones para nuestro caso de estudio supondrían un ahorro del 12 % sobre la inversión.

Así, en el caso que se diesen las dos circunstancias anteriores, las estimaciones recogidas en la Tabla 2 se verían significativamente modificadas, ya que el coste de producción del compost se reduciría hasta 59,36 €/t (apenas un 4 %), si bien el margen permanecería en negativo (-1,03 €/t). Los indicadores del VAN y de la TIR resultantes para este escenario resultan igualmente negativos (-416.358 € y -0,3 %, respectivamente). De hecho, para que esta alternativa de valorización resultase rentable en los términos actuales, las subvenciones disponibles deberían incrementarse hasta cubrir el 66 % de inversión total.

Además, cabe señalar que en almazaras certificadas para producción ecológica, la obtención de compost de alperujo permite a sus socios sustituir la adquisición de productos autorizados para fertilizar el suelo, lo que normalmente les supone un elevado coste (Álvarez de la Puente *et al.*, 2010), por el uso del compost de producción propia. De la observación de parte de las actuales plantas de compostaje se deduce que este beneficio ha sido clave en muchos casos para adoptar la decisión empresarial de abordar la inversión para la elaboración de compost en la propia almazara. Dos claros ejemplos de ello son las cooperativas comentadas previamente de OLIFE y N^a Sra. de los Remedios-Picasat.

Factores clave para la rentabilidad financiera relativos a los ingresos

En un escenario de elevada inflación y de crisis energética no parece muy probable que se produzca una bajada del precio de los combustibles o del precio de venta del alperujo como para que el margen comercial de la actividad de compostaje pase a ser positivo. Sin embargo, sí parecen mucho más factibles escenarios de incremento de los precios del compost. Esta plausibilidad está motivada por varias tendencias sostenidas en los últimos años:

- Incremento de la superficie en producción ecológica y, por tanto, de la necesidad de fertilizantes orgánicos aptos para dicha producción. Así, cabe señalar que durante el período 2006-2022, la superficie en producción ecológica en Andalucía se ha incrementado un 151 %, pasando de 537.269 a 1.346.123 ha, de las cuales 117.237 ha son de olivar (el 7,3 % de la superficie total de este cultivo). En este sentido, alcanzar la meta definida dentro de la “Estrategia de la Granja a la Mesa” (EC, 2020b) por la cual al menos un 25 % de la superficie agraria debe gestionarse bajo este sistema de producción, reforzará de seguro esta tendencia expansiva.
- Incremento general del precio de los fertilizantes, tanto de síntesis como orgánicos. En particular, según el MAPA, entre enero de 2017 y enero de 2023, el precio de las enmiendas orgánicas se ha incrementado un 36 %.
- Incremento de la demanda de fertilizantes orgánicos, tanto para mitigar los impactos de la agricultura sobre el cambio climático reduciendo las emisiones de N₂O (Aguilera *et al.*, 2013), como para reducir la contaminación por nitratos en zonas vulnerables sustituyendo a los abonos nitrogenados sintéticos (Gomes *et al.*, 2023).

Considerando escenarios de incremento del precio del compost, mientras el resto de los parámetros permanecen como en la actualidad, debe señalarse que la alternativa de compostaje de subproductos de almazara se viabilizaría con incrementos de este superiores al 6,2 % (cuando precio del compost se iguala al coste de producción: 61,98 €/t).

Limitaciones del análisis realizado

Conviene reconocer las limitaciones del presente trabajo de cara a alumbrar investigaciones venideras. En cuanto a la influencia de

los factores clave en el coste del compostaje, en el futuro sería necesario desarrollar un modelo que permitiese analizar de manera conjunta la influencia que ejercen todos los factores en el coste. Dicho modelo debería tener en cuenta las relaciones entre las diferentes variables, por ejemplo, teniendo en cuenta la interrelación entre los mercados alimentarios, energéticos y de insumos agrarios. En este sentido cabe apuntar cómo el incremento de los costes energéticos repercute en el incremento del coste del estiércol, no sólo por su transporte, sino también porque repercute en el coste de todos los fertilizantes (químicos y orgánicos).

Conclusiones

Los resultados obtenidos de la presente investigación indican que la alternativa de compostaje como valorización actual de los principales subproductos del proceso de obtención del aceite de oliva (alperujo y hojín), no es rentable para la mayoría de las almazaras, lo que justifica su escasa implementación en la actualidad, a pesar del éxito técnico de las experiencias realizadas hasta la fecha (Álvarez de la Puente *et al.*, 2010).

Esta alternativa de valorización comienza a ser rentable en almazaras situadas a cierta distancia de la extractora de aceite de orujo más cercana, en las que existe disponibilidad cercana de estiércol y/o existe una demanda local importante de compost como fertilizante para la producción ecológica. También podría serlo si el precio del compost se incrementase, lo que desde un punto de vista prospectivo es probable, habida cuenta de la actual evolución de la superficie en producción ecológica y del precio de los abonos orgánicos que ésta requiere.

El trabajo se ha basado en un análisis económico desde la perspectiva privada (costes y beneficios empresariales), sin tener en cuenta

externalidades positivas del proceso. Considerar elementos como la fijación de carbono o la reducción en la emisión de gases de efecto invernadero como consecuencia de la reducción en el consumo de fertilizantes de síntesis en un análisis económico desde una perspectiva pública, incrementaría notablemente la rentabilidad (social) de la valorización de los subproductos de almazara mediante compostaje. Estos resultados podrían justificar el apoyo de las administraciones a los costes de explotación del compostaje, como incentivo que permitiría la mejora del bienestar social, a la par que hacer viable esta alternativa de valorización de forma generalizada.

Agradecimientos

Esta investigación está enmarcada dentro del proyecto OLEACIRC "Bioeconomía circular en el sector del olivar: análisis técnico-económico de alternativas innovadoras de valorización de subproductos para mejorar la sostenibilidad sectorial" (ref. PP.AVA23.INV2023 02.042 de la Convocatoria de Investigación IFAPA 2022).

Referencias bibliográficas

- Aguilera E., Lassaletta L., Sanz-Cobena A., Garnier J., Vallejo A. (2013). The potential of organic fertilizers and water management to reduce N₂O emissions in Mediterranean climate cropping systems. A review. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 164: 32-52. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2012.09.006>.
- Álvarez de la Puente J.M. (2010). Manual de compostaje para agricultura ecológica. Consejería de Agricultura y Pesca, Junta de Andalucía, Sevilla, España. 49 pp.
- Álvarez de la Puente J.M., García Ruiz R., Jáuregui Arana J., Martín Pérez A. (2010). Compostaje de alperujos en Andalucía. *Fertilidad de la Tierra* 41: 12-14.

- Arvanitoyannis I.S., Kassaveti A. (2007). Current and potential uses of composted olive oil waste. *International Journal of Food Science & Technology* 42: 281-295. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2006.01211.x>
- Berbel J., Borrego-Marín M.M., Gómez-Limón J.A., Villanueva A.J., Cátedra M., Capote C. (2021). Factores habilitantes y limitantes para el éxito de iniciativas de bioeconomía circular en Andalucía. *Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible. Junta de Andalucía, Sevilla, España*. 98 pp.
- Berbel J., Delgado-Serrano M.M. (2017). La economía y la bioeconomía en el sector del olivar y del aceite. En: *Economía y comercialización de los aceites de oliva. Factores y perspectivas para el liderazgo español del mercado global* (Eds. Gómez-Limón J.A. y Parras M.), pp. 397-412. *Cajamar Caja Rural, Almería, España*. pp. 397-412.
- Berbel J., Posadillo A. (2018). Review and analysis of alternatives for the valorisation of agro-industrial olive oil by-products. *Sustainability* 10: 237. <https://doi.org/10.3390/su10010237>
- BOE (Boletín Oficial del Estado) (2011). Real Decreto 1359/2011, de 7 de octubre, por el que se aprueba la relación de materiales básicos y las fórmulas-tipo generales de revisión de precios de los contratos de obras y de contratos de suministro de fabricación de armamento y equipamiento de las Administraciones Públicas. *Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado, Madrid*.
- Boldrin A., Andersen J.K., Møller J., Christensen T.H., Favoino E. (2009). Composting and compost utilization: accounting of greenhouse gases and global warming contributions. *Waste Management & Research* 27: 800-812. <https://doi.org/10.1177/0734242X09345275>
- CAPDR (Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural) (2018). *Estrategia andaluza de bioeconomía circular*. *Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural, Junta de Andalucía, Sevilla, España*. 354 pp.
- Carrión F. (2017). *Optimización del coste de aplicación de agua en riego por aspersión y goteo*. Tesis Doctoral, Universidad de Castilla-La Mancha, Albacete, España. 166 pp.
- Casillas-González A.C., Pérez-Camacho M.N., García-López M., Cátedra-Cerón M.M., Capote C., Martín-Jiménez I., Villanueva A.J. (2022). Estrategias de bioeconomía circular. Un análisis comparativo a nivel europeo. *ITEA-Información Técnica Económica Agraria* 118: 613-630. <https://doi.org/10.12706/itea.2022.016>
- Diario ABC (2022). "El precio de la energía obliga a parar al 40% del sector orujero". *Noticia publicada el 25/07/2022*. Disponible en: <https://sevilla.abc.es/agronoma/noticias/cultivos/aceites-de-oliva/energia-parar-sector-orujero/>
- EC (European Commission) (2020a). *Circular Economy Action Plan: for a cleaner and more competitive Europe*. *European Commission, Brussels*. 28 pp.
- EC (European Commission) (2020b). *A Farm to Fork Strategy for a fair, healthy and environmentally-friendly food system*. COM(2020) 381 final. *European Commission, Brussels*. 20 pp.
- EC (European Commission) (2023). *Report on the functioning of the European carbon market in 2022*. COM(2023) 654 final. *European Commission, Brussels*. 56 pp.
- Favoino E., Hogg D. (2008). The potential role of compost in reducing greenhouse gases. *Waste Management & Research* 26: 61-69. <https://doi.org/10.1177/0734242X08088584>.
- García-Ruiz R., Ochoa M.V., Hinojosa M.B., Gómez-Muñoz B. (2012). Improved soil quality after 16 years of olive mill pomace application in olive oil groves. *Agronomy for Sustainable Development* 32: 803-810. <https://doi.org/10.1007/s13593-011-0080-7>.
- Gomes E., Antunes I.M.H.R., Leitão B. (2023). Groundwater management: Effectiveness of mitigation measures in nitrate vulnerable zones – a Portuguese case study. *Groundwater for Sustainable Development* 21: 100899. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2022.100899>
- Gómez-Muñoz B., Hatch D.J., Bol R., García-Ruiz R. (2012). The compost of olive mill pomace: From a waste to a resource. Environmental benefits of its application in olive oil groves. En: *Sustainable development. Authoritative and leading edge content for environmental management* (Ed. Curkovic S), pp. 459-484. *IntechOpen, London, UK*. <https://doi.org/10.5772/48244>

- González P.J., Jaúregui J., Ortiz M.J., Aguirre I. (2017). Calculadora de plantas de compostaje en pilas dinámicas. En: *Reciclando los residuos para mejorar los suelos y el medioambiente. V Jornadas de la Red Española de Compostaje* (Eds. López R. y Cabrera F.), pp. 34-38. Red Española de Compostaje, Sevilla, España.
- Guerrero-Casado J., Carpio A.J., Tortosa F.S., Villanueva A.J. (2021). Environmental challenges of intensive woody crops: The case of super high-density olive groves. *Science of the Total Environment* 798: 149212. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149212>
- Lozano D., Ayuso J., López M. (2017). Proyecto de ejecución de planta de compostaje de alperujo en Campillos (Malaga). Universidad de Cordoba, Cordoba, España. 184 pp.
- Madejón E., Lozano L., Panettieri M., Moreno B., Benítez E. (2020). Compost de alperujo como fertilizantes de olivar de secano. En: *Compostaje Webinars 2020* (Eds. Gómez Sánchez MÁ, González Hernández AI, Morales Corts MR y Pérez Sánchez R), pp. 102-106. Red Española de Compostaje, Madrid, España.
- MITECO (Ministerio para la Transición Ecológica y Reto Demográfico) (2020). *España Circular 2030. Estrategia Española de Economía Circular*. Ministerio para la Transición Ecológica y Reto Demográfico, Madrid, España. 65 pp.
- Montemurro F., Diacono M., Vittì C., Debiase G. (2009). Biodegradation of olive husk mixed with other agricultural wastes. *Bioresource Technology* 100: 2969-2974. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.01.038>
- Moreno J., Mormeneo R. (2008). *Compostaje*. Mundi-Prensa, Madrid, España. 570 pp.
- Moreno R. (2018). Estudio de los consumos eléctricos de una almazara y sistema de riego. Proyecto Fin de Carrera, Universidad de Jaén, Jaén, España. 193 pp.
- OECD (Organization for Economic Cooperation and Development) (2018). *Meeting Policy Challenges for a Sustainable Bioeconomy*. OECD Publishing, Paris. 195 pp.
- Parras M., Torres-Ruiz F.J., Gómez-Limón J.A., Ruz A., Vega-Zamora M., Parra-López C., Sayadi S., Colombo S. (2021). Estrategias para una oleicultura jiennense más competitiva. Diputación Provincial de Jaén, Jaén, España. 119 pp.
- Polonio D., Villanueva A.J., Gómez-Limón J.A. (2022). Cuantificación de los recursos biomásicos del sector oleícola en Andalucía: Una aproximación actualizada. *C3-Bioeconomy: Circular and Sustainable Bioeconomy* 3: 7-34. <https://doi.org/10.21071/c3b.vi3.14172>.
- Proietti P., Calisti R., Gigliotti G., Nasini L., Regni L., Marchini A. (2016). Composting optimization: Integrating cost analysis with the physical-chemical properties of materials to be composted. *Journal of Cleaner Production* 137: 1086-1099. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.07.158>
- Renkow M., Rubin A.R. (1998). Does municipal solid waste composting make economic sense? *Journal of Environmental Management* 53: 339-347. <https://doi.org/10.1006/jema.1998.0214>
- Sánchez A., Espinosa D., Olmedo M. (2006). Estudio de alternativas de diseño de plantas de compostaje en almazaras ecológicas de tamaño reducido. Consejería de Agricultura, Pesca, Agua y Desarrollo Rural, Junta de Andalucía, Sevilla, España. 122 pp.
- Sanz A., Parra T., Polonio D., Manrique T. (2023). Estimación de índices e indicadores relacionados con los recursos biomásicos procedentes de las almazaras y las entamadoras del olivar. *Simposium Expoliva*, 10-13 mayo, Jaén, España.
- Tortosa G., Albuquerque J.A., Ait-Baddi G., Cegarra J. (2012). The production of commercial organic amendments and fertilisers by composting of two-phase olive mill waste ("alperujo"). *Journal of Cleaner Production* 26: 48-55. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.12.008>
- Vega M. (2011). Viabilidad de plantas de compostaje, y potencial uso agrícola del compost de alperujo producido, en almazaras del grupo Oleoestepa. Aplicación al caso de Arbequisur S.C.A. Universidad de Sevilla, Sevilla, España. 140 pp.
- Vilar J., Caño S., Raya I., Moreno L., Velasco M.M. (2020). El sector de procesado del alperujo. Posibilidades de un potencial colapso financiero y

- operativo. Asociación Nacional de Empresas de Aceite de Orujo, Sevilla, España. 74 pp.
- Vilar J. (2022). Producción mundial de aceites de oliva. En: Informe anual de coyuntura del sector oleícola (Ed. Parras M), pp. 62-67. Cátedra Caja Rural AOVES de Jaén, Jaén, España.
- Villanueva A.J., Granado-Díaz R., Gómez-Limón J.A. (2018). La producción de bienes públicos por parte de los sistemas agrarios. UCOPress, Editorial Universidad de Córdoba, Córdoba, España. 273 pp.
- Villanueva A.J., La Cal J.A. (2023). Valorización de subproductos del sector oleícola: coyuntura actual e innovaciones futuras. Symposium Expoliva 2023 10-13 mayo, Jaén, España.
- (Aceptado para publicación el 29 de enero de 2024)

PREMIOS DE PRENSA AGRARIA 2024 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 2024 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 2024. 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)

<input type="checkbox"/>	Cargo a cuenta corriente (rellenar la domiciliación bancaria)
<input type="checkbox"/>	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 un fichero de titularidad privada cuyo responsable y único destinatario es AIDA, con domicilio en Avenida Montañana, no 930, 50059 - Zaragoza.
- Solo serán solicitados aquellos datos estrictamente necesarios para prestar adecuadamente los servicios solicitados, pudiendo ser necesario recoger datos de contacto de terceros, tales como representantes legales, tutores, o personas a cargo designadas por los mismos.
- Todos los datos recogidos cuentan con el compromiso de confidencialidad, con las medidas de seguridad establecidas legalmente, y bajo ningún concepto son cedidos o tratados por terceras personas, físicas o jurídicas, sin el previo consentimiento del socio, tutor o representante legal, salvo en aquellos casos en los que fuere imprescindible para la correcta prestación del servicio.
- Una vez finalizada la relación entre la Asociación y el socio, los datos seguirán archivados y conservados mientras sean necesarios para dar cumplimiento a las obligaciones legales o, en su defecto, serán devueltos íntegramente al socio (o autorizado legal) o suprimidos si así se solicita por su parte.
- Los datos que facilito serán incluidos en el Tratamiento denominado Socios de AIDA, con la finalidad de gestión del alta de socio, la gestión del servicio contratado, pago de cuotas, contacto, etc., y todas las gestiones relacionadas con los socios y manifiesto mi consentimiento.
- Tiene derecho a acceder a sus datos personales, a solicitar su rectificación, cancelación y oposición, indicándolo por escrito a AIDA con domicilio en Avenida Montañana, no 930, 50059 – Zaragoza, o al correo electrónico de la Asociación: administracion@aidaitea.org.
- Los datos personales serán cedidos por AIDA a las entidades que prestan servicios a la misma siempre que sea estrictamente necesario para llevar a cabo los servicios ofrecidos por la Asociación. Igualmente, sus datos serán cedidos si existe una obligación legal.

Nombre y apellidos del Socio:

DNI:

Representante legal (si lo hubiere):

DNI:

En _____, a ___ de _____ de 20__

FIRMA DEL SOCIO:

NORMAS PARA LOS AUTORES

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 120

Número 2

Junio 2024

itea

información técnica económica agraria
www.aida-itea.org

REVISTA DE LA ASOCIACIÓN INTERPROFESIONAL PARA EL DESARROLLO AGRARIO

